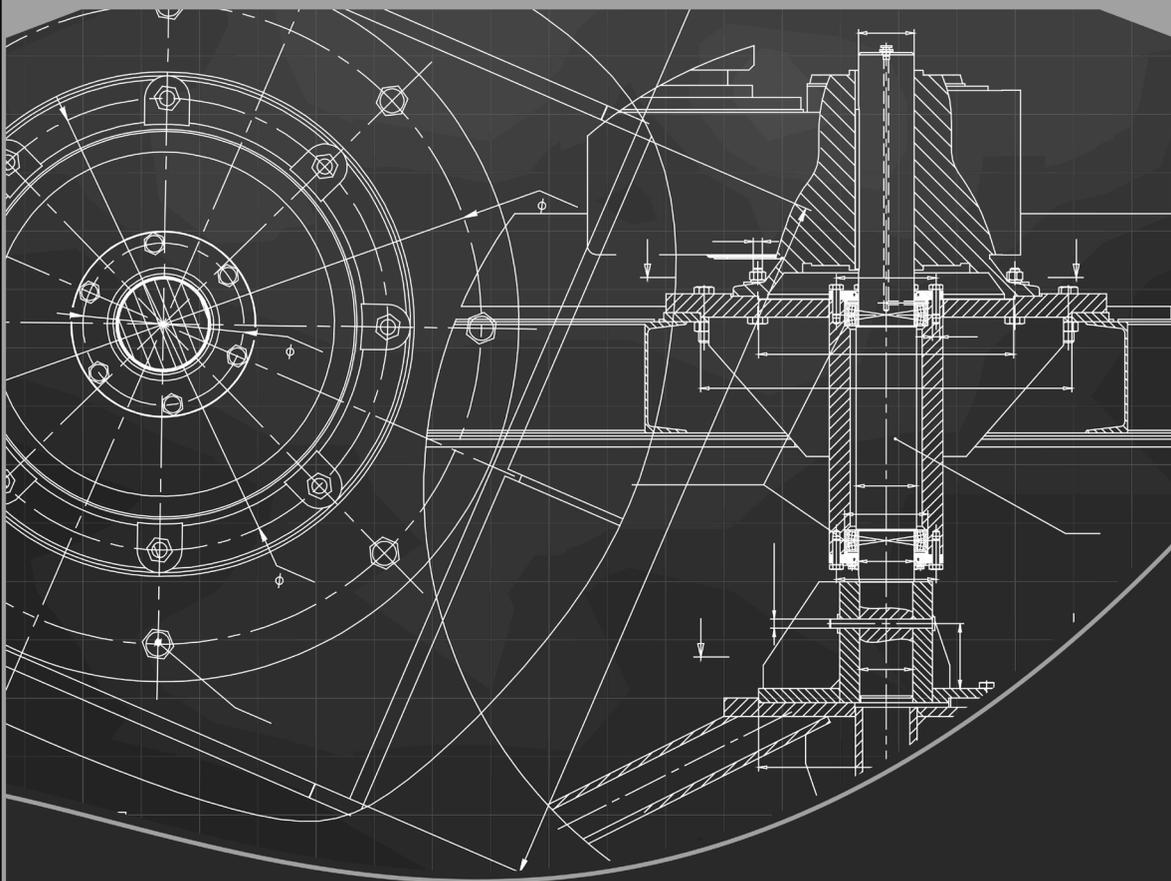


Engenharia mecânica:

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

2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora

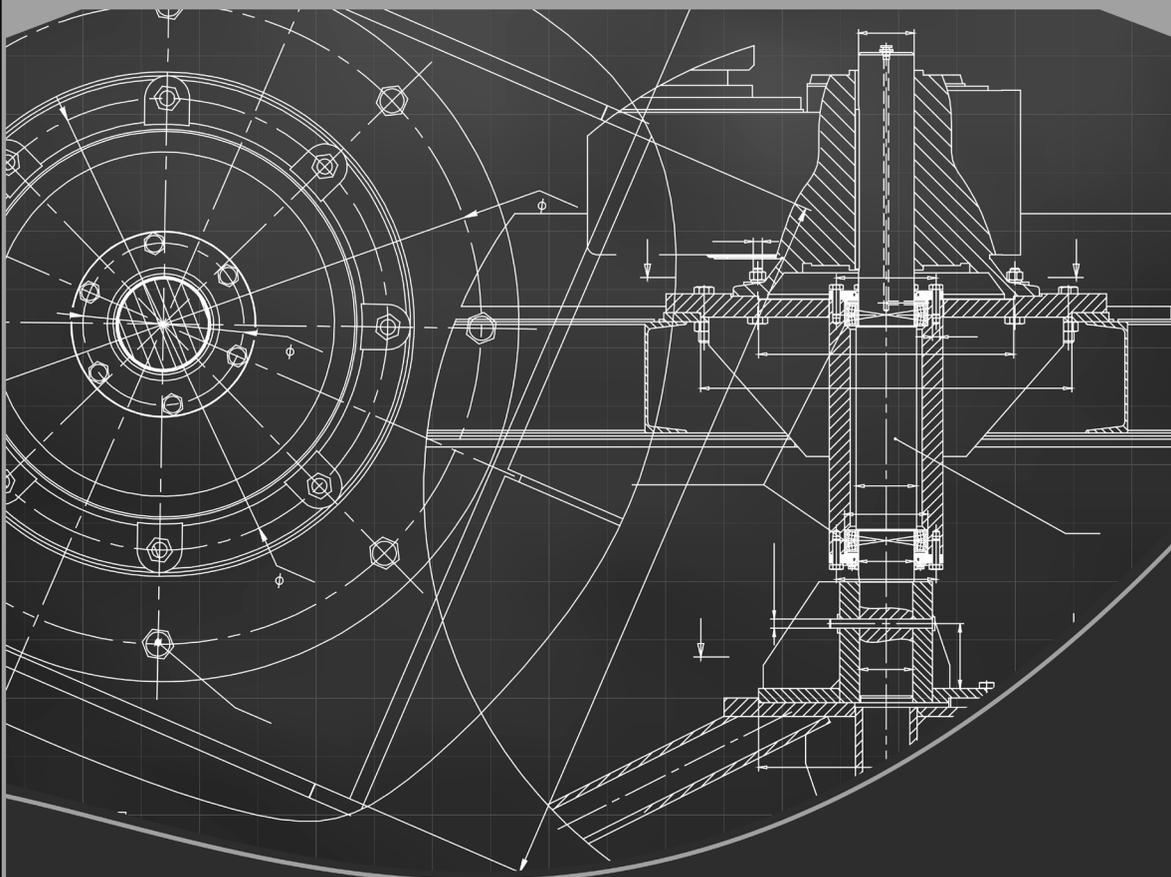
Ano 2021

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 Cremona

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

Data de aceite: 01/06/2021

Data de submissão: 07/03/2021

Enéas Carlos de Oliveira Silva

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Recife – PE
<http://lattes.cnpq.br/5968682154600734>

Eduardo José Silva

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Recife – PE
<http://lattes.cnpq.br/3546466947253424>

Thiago Batista David

Centro Universitário Estácio do Recife
Recife – PE
<http://lattes.cnpq.br/2742652536623661>

Moisés Euclides da Silva Junior

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Recife – PE
<http://lattes.cnpq.br/9524894169629954>

Oscar Olimpio de Araujo Filho

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Recife – PE
<http://lattes.cnpq.br/6740759499723367>

RESUMO: Entre as diversas ligas de alumínio, destacam-se as da série 7XXX, aplicadas principalmente em componentes estruturais de aeronaves, pois apresentam níveis mais elevados de resistência e dureza. Assim este trabalho consistiu na fabricação e caracterização da liga de alumínio AA7013, fabricada via metalurgia do pó. Os pós foram processados através da

moagem de alta energia (MAE) durante 0,5, 1,0 e 2,0 horas e em seguida caracterizados por microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia de energia dispersiva (EDS), difração de raios-X (DRX) e por fim granulometria por Difração a Laser. Após a caracterização dos pós, eles foram consolidados através de compactação uniaxial a frio, seguida de uma sinterização por fase sólida. Por fim, foi realizada a caracterização microestrutural do sinterizado através de MO e MEV, a composição química do material foi analisada através da técnica de EDS, e em seguida o material foi submetido ao ensaio de microdureza vickers, possibilitando o estudo da propriedade de dureza obtida nos corpos de prova. A liga de Al AA7013 processada por MAE durante 2h apresentou um ganho de 353,68% de dureza na seção superficial e 339,58% na seção transversal, quando comparado com o material consolidado da liga de Al AA1100 sem moagem.

PALAVRAS-CHAVE: Metalurgia do pó, moagem de alta energia, liga aa7013.

MANUFACTURING ALUMINUM ALLOY AA7013 THROUGH OF POWDER METALLURGY TECHNIQUES

ABSTRACT: Among the various aluminum alloys, those of the 7XXX series stand out, mainly applied to structural components of aircraft, as they have higher levels of strength and hardness. So this work consisted in the manufacture and characterization of the aluminum alloy AA7013, manufactured via powder metallurgy. The powders were processed through high energy grinding (MAE) for 0.5, 1.0 and 2.0 hours and then characterized by scanning electron

microscopy (SEM), dispersive energy spectroscopy (EDS), ray diffraction -X (DRX) and finally Laser Diffraction granulometry. After the characterization of the powders, they were consolidated through cold uniaxial compaction, followed by sintering by solid phase. Finally, the microstructural characterization of the sinter was carried out using OM and SEM, the chemical composition of the material was analyzed using the EDS technique, and then the material was subjected to the vickers microhardness test, enabling the study of the obtained hardness property in the specimens. The Al AA7013 alloy processed by MAE for 2h showed a gain of 353.68% of hardness in the surface section and 339.58% in the cross section, when compared with the consolidated material of the Al AA1100 alloy without grinding.

KEYWORDS: Powder metallurgy, mechanical alloying, aa7013 alloy.

1 | INTRODUÇÃO

O aumento no consumo de alumínio é a prova de que este metal significa na indústria moderna. O alumínio segue o ferro/aço entre os metais de maior consumo anual, sendo o mais importante dos metais não ferrosos. Dentre as características físico-químicas, destaca-se o seu baixo peso específico, comparado com outros metais de grande consumo, resistência à corrosão e alta condutibilidade elétrica/térmica (ABAL, 2007).

Um dos motivos que torna o alumínio tão atrativo, é o fato de poder combinar-se com a maioria dos metais de engenharia, formando ligas a partir destas combinações para obtenção de características tecnológicas. Dentre essas, destacam-se as ligas da série 7XXX (Al, Zn). Ligas em que o zinco (Zn) é o principal elemento de liga, mas outros elementos de liga são adicionados, como cobre (Cu) e o magnésio (Mg), é utilizada principalmente em todos os segmentos da indústria aeronáutica (fuselagem de aeronaves, motores, etc), pois oferece uma maior resistência à corrosão e maior resistência mecânica.

O alumínio e suas ligas atualmente são processados por técnicas de metalurgia com aplicações no setor industrial em grande escala (BARBOSA, 2014; CHIAVERINI, 2001). A metalurgia do pó é um processo de fabricação que consiste na manufatura de peças a partir da combinação e consolidação de pós metálicos. Este método é bastante competitivo, principalmente em comparação aos processos convencionais de fabricação metalúrgica, possuindo um baixo custo tecnológico e econômico, utiliza o aproveitamento máximo de matéria-prima (acima de 95%) e obtenção de peças em grandes quantidades com formas complexas, obtenção de economia de custos e qualidade do produto final.

O processo de Moagem de Alta Energia (MAE), é uma técnica de processamento do pó totalmente em estado sólido que envolve soldagem, fraturas e ressoldas, permite a produção de materiais homogêneos através da mistura de pós elementares em um moinho de bolas de alta energia. O tamanho das partículas em moagem de alta energia é variável, entre 1 e 200 μm . Este tamanho diminui exponencialmente com tempo de moagem (SURYANARAYANA, 2001).

A MAE começa com a mistura na proporção adequada dos pós de partida, em seguida a mistura é carregada em um recipiente (jarra) de moagem e nela é adicionada

esferas de aço (corpos de moagem) (SURYANARAYANA, 2001). No decorrer do sistema de MAE, os movimentos das esferas gerarão colisões em alta velocidade entre elas e os pós, formando, assim, compactos de pós. À medida que o tempo de moagem aumenta, há o aumento desses compactos, ou seja, a soldagem das partículas dos pós. Simultaneamente a soldagem, e devido à repetição dos impactos, ocorre deformação plástica nos compactos, com o passar do tempo esses se tornam encruados, dessa forma, são levados ao fenômeno de fratura frágil ou falha por fadiga (Zhang, 2004).

A Compactação dos pós é responsável pela definição da forma desejada (geometria) e densificação da mistura. A compactação é feita colocando-se o pó em cavidades de matrizes montadas em prensas de compressão, particularmente fabricadas para a técnica de metalurgia do pó, da qual é comprimido à determinadas pressões de acordo com o tipo de pó que seja utilizado e com características finais desejadas nas peças sinterizadas (CHIAVERINI, 1986).

O presente trabalho consiste em fabricar ligas de alumínio AA7013, utilizando o processo de fabricação por metalurgia do pó. Os pós foram misturados e homogeneizados através de técnicas de moagem de alta energia, submetidos a uma compactação uniaxial, obtendo forma e dimensionamento (compactado verde), e por fim a consolidação final, através da sinterização por fase sólida (sob condições controladas de temperatura), consolidando o material, promovendo assim, uma maior rigidez, dureza e resistência mecânica dos materiais processados.

2 | METODOLOGIA

Este capítulo tem o objetivo de descrever de forma clara e sucinta todos os materiais e procedimentos utilizados na fabricação da liga de alumínio AA7013. Inicialmente foi selecionada a composição das ligas a serem fabricadas de acordo com o ASM *Handbook* (1992), de posse dos percentuais referentes a cada elemento das ligas, os pós elementares foram separados e em seguida pesados em uma balança analítica. Posteriormente esses pós foram submetidos a moagem de alta energia (MAE) através de um moinho de bolas vibratório do tipo SPEX, durante 0,5, 1,0 e 2,0 horas.

A caracterização microestrutural e química do material particulado foi realizada através das técnicas de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva (EDS), o estudo e identificação das fases geradas após a MAE foi realizado através de difração de RX.

Os pós processados por MAE e o pó da liga de alumínio puro AA1100 foram consolidados através de compactação uniaxial a frio e sinterização por fase sólida.

Para tal estudo foram fabricados três corpos de prova sinterizados para cada um dos tempo de moagem e mais 3 corpos de prova sinterizados da liga de alumínio AA1100 sem moagem, totalizando assim, 12 corpos de prova, em seguida os corpos de prova foram

submetidos ao processo de preparação metalográfica (corte, embutimento, lixamento, polimento e ataque químico). A caracterização microestrutural e química do material consolidado, foi realizada através das técnicas de microscopia ótica (MO), microscopia eletrônica de varredura (MEV) associada a espectroscopia de energia dispersiva (EDS). Finalizando o processo de caracterização do material consolidado, os corpos de prova sinterizados foram submetidos a um ensaio de microdureza *Vickers*, determinando assim a propriedade de dureza do material estudado.

2.1 Pesagem dos pós

As massas dos pós elementares foram pesadas utilizando-se uma balança analítica com precisão de 4 casas decimais, da marca SHIMADZU, modelo ATI224.

A Tabela 1 mostra a quantidade de massa (g) utilizada na moagem de alta energia para a fabricação das ligas de alumínio. A massa total calculada para processamento dos pós foi 12g + ácido esteárico (2% da massa total), totalizando 12,24g (pó).

Amostra	Tempo de Moagem	Al Puro (g)	Si (g)	Fe (g)	Cu (g)	Mn (g)	Zn (g)	Ti (g)	ACP (g)	Massa da Esfera (g)
AA7013	0,5h	11,6523	0,0723	0,0843	0,0122	0,1816	0,2410	-	0,2412	120
	1,0h	11,6523	0,0723	0,0843	0,0122	0,1816	0,2410	-	0,2412	120
	2,0h	11,6523	0,0723	0,0843	0,0122	0,1816	0,2410	-	0,2412	120

Tabela 1. Composição química das ligas de alumínio AA 7013.

Fonte: Adaptado de ASM HandBook (1992).

2.2 Processamento dos pós (MAE)

Para o processamento dos pós, utilizou-se um moinho vibratório de alta energia do tipo SPEX Figura 1, equipamento este, comumente empregado no processamento de amostras em laboratório. material foi processado durante períodos de 0,5, 1,0 e 2,0 horas, a uma velocidade de rotação de 720 rpm.



Figura 1. Moinho de bolas vibratório (SPEX).

Fonte: Silva Junior (2020).

Os pós foram colocados na jarra (recipiente de moagem) fabricada em aço inox 304L e como corpo de moagem foi utilizado esferas metálicas. A relação de massa de esfera/massa de pó foi de 10:1, ou seja, para cada 120g de esferas foram utilizadas 12g de massa dos pós.

2.3 Compactação e sinterização

Os pós processados foram submetidos a uma compactação uniaxial a frio, em numa prensa hidráulica. O tempo de aplicação da carga foi de 10 minutos a uma pressão de 40 ton. O produto resultante da compactação por apresentar alguma consistência e resistência mecânica limitada, é denominado de “compactado verde”. O material compactado ganhou forma e dimensionamento específico, obtendo diâmetro de 17,00mm e espessura de 9,15mm, conforme ilustrado na figura 2.

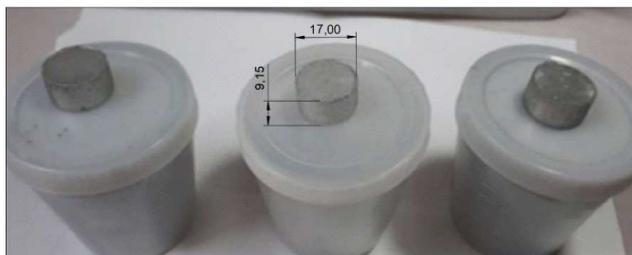


Figura 2. Amostras de compactado verde.

Fonte: Autor (2018).

Logo após a compactação, as amostras (compactado verde) foram sinterizadas num forno tipo Mufla, as amostras foram sinterizadas durante 5h a uma temperatura de 500 °C, com um taxa de aquecimento de 20 °C/min. Com o término do aquecimento o forno foi desligado e a temperatura resfriada calmamente dentro do forno até permanecer na temperatura ambiente com uma taxa de resfriamento foi de 0,459 °C/min.

2.4 Preparação metalográfica

Para a análise no microscópio ótico, foram utilizadas as amostras sinterizadas. Elas foram cortadas (particionadas) em uma “*cut-off*”, foi usado uma máquina de policorte, da marca Arotec, modelo COR 80, sendo usado como meio cortante um disco de corte abrasivo (óxido de silicato). O principal objetivo do corte foi obter para estudo as secções superficiais e transversais. Logo após processo de corte dos materiais, as amostras foram submetidas ao processo de embutimento a quente.

Com as amostras embutidas, a etapa subsequente é a de lixamento. A técnica utilizada para o lixamento foi a manual, que consiste em lixar a amostra sucessivamente

com lixa de granulometria cada vez menor. Para este trabalho foram utilizadas as lixas metalográficas com granulometrias de: 180#, 240#, 320#, 600#, 800#, 1000# e 1200#.

Após o lixamento, a próxima etapa é a do polimento, que tem como principal função eliminar os riscos e marcas da superfície. Para o polimento das amostras foi utilizada uma pasta de diamante de 3 μm e 1 μm , dando um melhor acabamento para a amostra, pano de polimento adequado. A politriz usada no polimento é da marca Arotec, modelo Aropol 2V.

Por fim, com o intuito de revelar os contrastes das fases, as amostras foram submetidas ao ataque químico, através de uma solução aquosa de ácido fluorídrico a 0,5% durante um tempo de 15 segundos, através do método de esfregação, posteriormente as amostras foram lavadas com água corrente, etanol e em seguida secadas por um jato de ar quente paralelamente a superfície atacada.

2.5 Caracterização do material consolidado

Os corpos de prova dos materiais consolidados foram submetidos a caracterização microestrutural, através das técnicas de microscopia ótica (MO), e microscopia eletrônica de varredura (MEV), a análise de composição química pontual foi realizada através do sensor de EDS acoplado ao MEV utilizado. Por fim as amostras foram submetidas ao ensaio de microdureza Vickers.

3 | RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos através do presente trabalho.

3.1 Caracterização do material particulado

A Figura 3 representa o espectro de raios – X para o Al AA 1100. No difratograma, o alumínio apresenta estrutura CFC, conforme a literatura este tipo de estrutura deve ter os valores dos índices de Miller (h, k e l) todos números pares ou ímpares (CALLISTER, 2012).

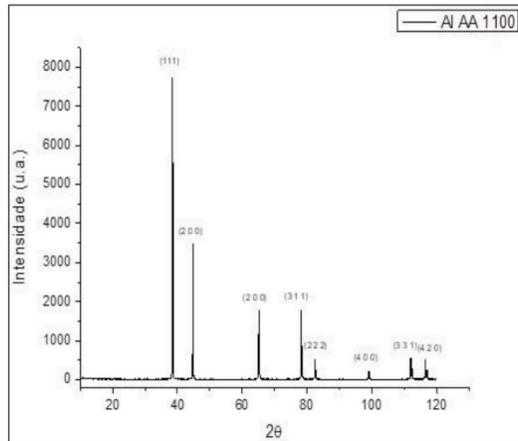


Figura 3. Espectro de DRX para o Al AA 1100.

Fonte: Autor (2018).

Na Figura 4 são apresentados os difratogramas das amostras de pós da liga de alumínio AA 7013, processadas durante 0,5, 1,0 e 2,0 horas através de moagem de alta energia. Observa-se que não houve alterações significativas nos difratogramas para os diferentes tempos de moagem. Observa-se uma variação de intensidade dos picos com relação à liga processada durante 2,0h, apesar da mudança na intensidade dos picos, os valores de ângulos de difração (2θ) da matriz em alumínio (AA 1100) são os mesmos. Eventualmente outras fases dos elementos de ligas adicionados ao AA 1100 não foram identificados, pois ficou abaixo da resolução do equipamento, inferior a 5%.

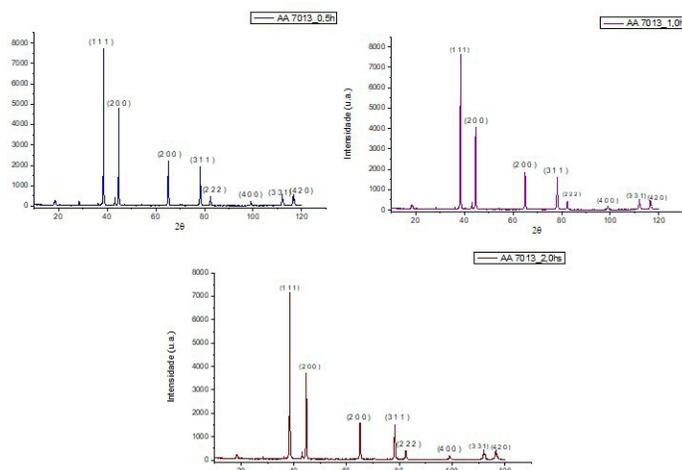


Figura 4. Espectros de DRX para a liga AA 7013 processada por 0,5h, 1,0h e 2,0h.

Fonte: Autor (2018)

A Figura 5 (a, b) apresenta as imagens de MEV do pó de Al AA 1100 (alumínio comercialmente puro), como recebido, utilizado neste trabalho.

A Figura 5 destaca a morfologia original, predominantemente esférica (grãos equiaxiais) do Al AA 1100 recebido para pesquisa obtidas por Silva (2017), sem reforço e sem sofrer o processo de moagem de alta energia (MAE). Essa morfologia é típica de material dúctil e de pó fabricado pelo método de atomização a ar, que promove a solidificação do metal em partículas finamente divididas. A Figura 6 (a,b) foram obtidas por Silva (2017) e apresenta a região analisada e o espectro de EDS do pó de Al AA 1100. A análise de EDS do AA 1100 demonstra apenas o espectro de Al na composição. É importante ressaltar que não foi identificada a presença de contaminação neste pó.

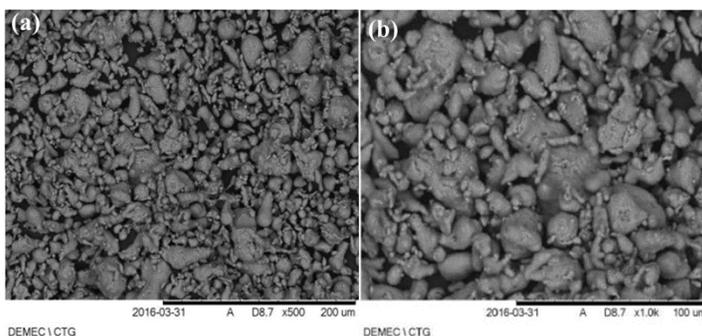


Figura 5. Imagem de MEV – Al AA 1100. (a) aumento de 500x; (b) aumento de 1000x.

Fonte: Silva (2017).

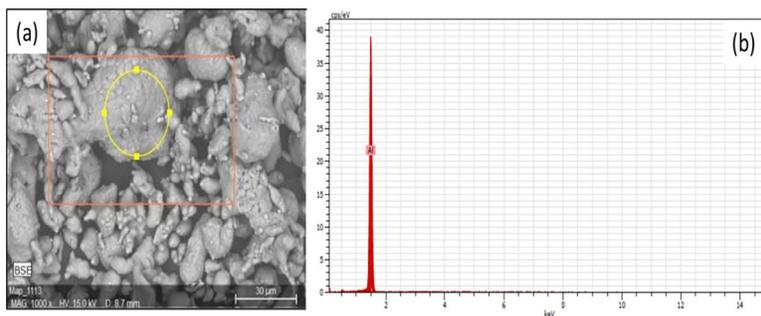


Figura 6. EDS do Al AA 1100. (a) Região analisada; (b) Espectro de EDS.

Fonte: Silva (2017).

As Figuras 7 a 9 apresentam as imagens de MEV para a liga processada AA 7013 durante o tempo de 0,5h, 1,0h e 2,0h. Para a liga de alumínio AA 7013 processada durante 0,5h no moinho de alta energia, apresenta uma morfologia irregular e achatada, Figuras 7 (a,

b). As Figuras 8 (a, b) processada durante 1,0h observa-se uma morfologia mais uniforme. A mostra processada pelo tempo de moagem de 2,0h ficou evidente que as partículas de pós ficam mais finas, deformadas com uma morfologia refinada, Figura 9 (a, b).

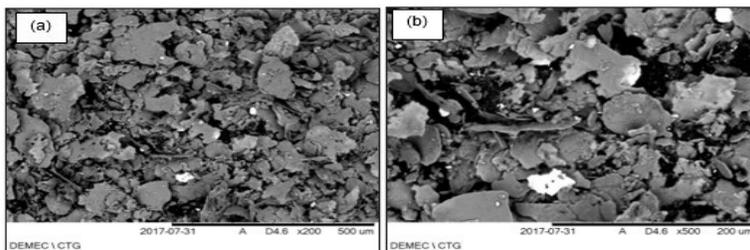


Figura 7. Imagem de MEV da liga AA 7013_0,5h. (a) Aumento de 200x; (a) aumento de 500x.
Fonte: Autor (2018)

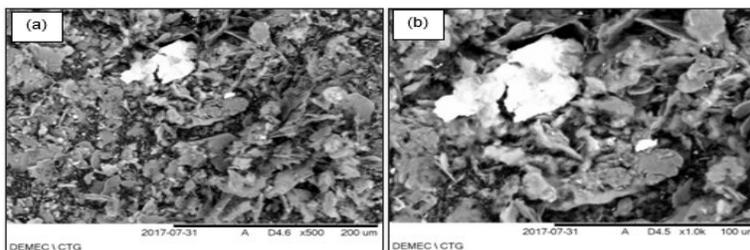


Figura 8. Imagem de MEV da liga AA 7013_1,0h. (a) Aumento de 200x; (a) aumento de 500x.
Fonte: Autor (2018).

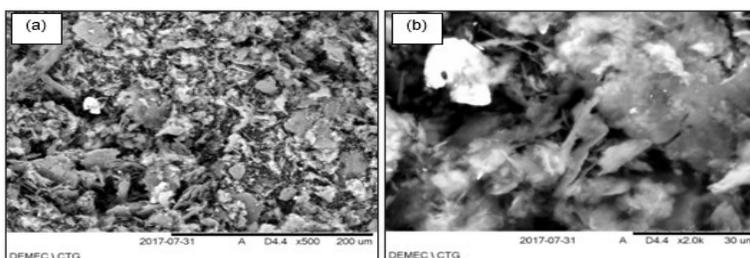


Figura 9. Imagem de MEV da liga AA 7013_2,0h. (a) Aumento de 200x; (a) aumento de 500x.
Fonte: Autor (2018).

As figuras 10 a 12 apresentam os EDS das amostras de pós processados em 0,5h, 1,0h e 2,0h por moagem de alta energia.

A análise por EDS, na Figura 10, da liga de alumínio AA 7013 processada em moinho de alta energia durante 0,5h, mostra os elementos que compõem esta liga, há o Al, Ni, Cr, Zn, Mn, Ti, Si e O. A Figura 11, processada durante 1,0h mostra elementos de Al, Zn, Fe, Mn e O; e para o tempo de 2,0h, Figura 12, há presença dos elementos Al, Zn, Cu, Ni, Fe e O.

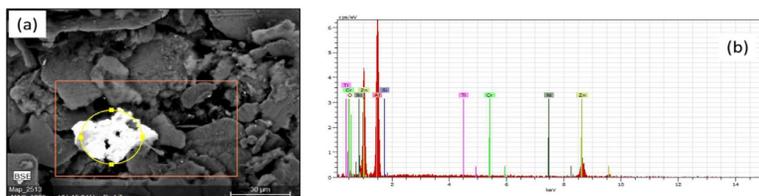


Figura 10. EDS do pó de AA 7013_0,5h. (a) Região analisada; b) Espectro de EDS.
Fonte: Autor (2018).

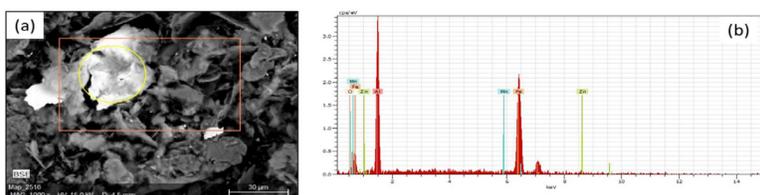


Figura 11. EDS do pó de AA 7013_1,0h. (a) Região analisada; b) Espectro de EDS.
Fonte: Autor (2018).

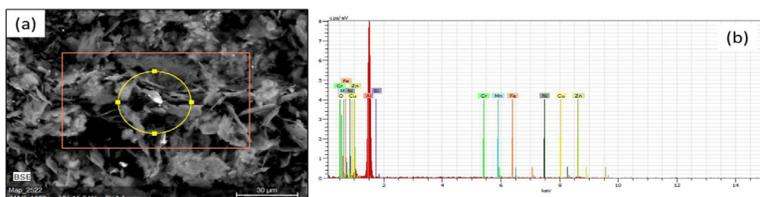


Figura 12. EDS do pó de AA 7013_2,0h. (a) Região analisada; b) Espectro de EDS.
Fonte: Autor (2018).

3.2 Caracterização do material consolidado

Foram submetidas a caracterização via Microscopia Ótica a amostra sinterizadas de Al AA 1100 e amostras sinterizadas dos pós processados por MAE da liga AA 7013.

As Figuras 13 (a, b) apresentam a amostra de Al AA 1100 sinterizada. A imagem de MO do Al AA 1100 apresenta boa homogeneidade e densificação.

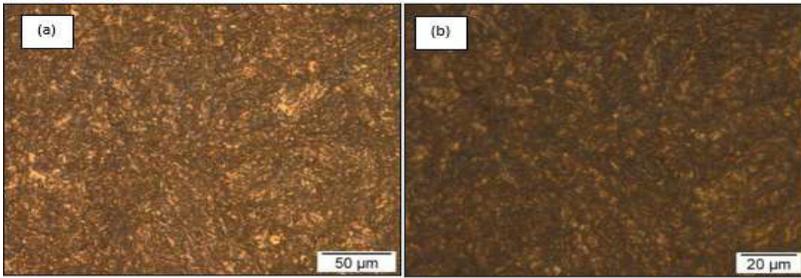


Figura 13. Imagens de MO da liga AA 1100 – seção superficial: (a) 500x; (b)1000x.

Fonte: Autor (2018)

As Figuras 14 a 16 (a, b, c, d) apresentam a amostra da liga AA 7013 (seções superficial e transversal), sinterizada e processada por moagem de alta energia durante o tempo de 0,5h, 1,0h e 2,0h com ataque HF 0,5% durante 40s. Os resultados da microscopia ótica nas amostras das ligas de Alumínio AA 7013 das seções superficiais e transversais com tempo de processamento no MAE de 0,5h, 1,0h e 2,0h com duas ampliações de 500x e 1000x. É possível observar grãos irregular e contornos de grãos bem evidenciados e definidos. Com o aumento do tempo de moagem houve um aumento no que concerne às deformações das lamelas. As imagens de MO também mostram uma boa densificação da liga, contudo nota-se a presença de poros (indicados abaixo).

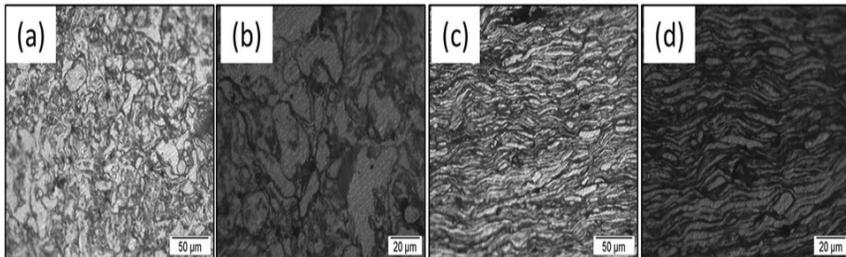


Figura 14. Imagens de MO da liga AA 7013_0,5h – seção superficial: (a) 500x; (b) 1000x; - seção transversal: (c) 500x; (d) 1000x.

Fonte: Autor (2018).

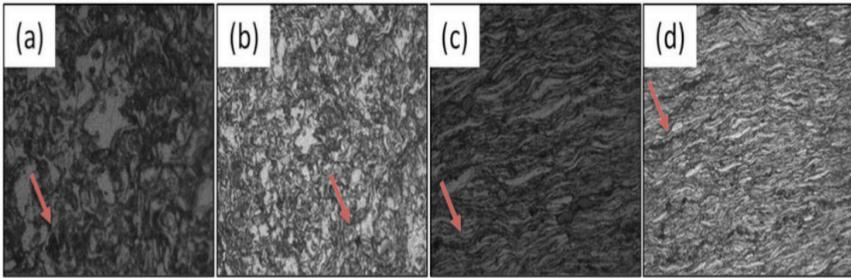


Figura 15. Imagens de MO da liga AA 7013_1,0h – seção superficial: (a) 500x; (b) 1000x; - seção transversal: (c) 500x; (d) 1000x.

Fonte: Autor (2018).

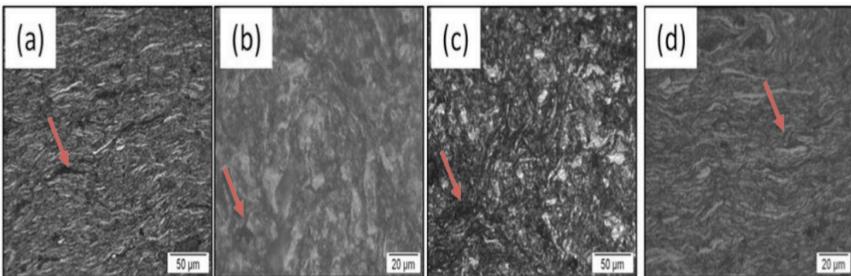


Figura 16. Imagens de MO da liga AA 7013_2,0h – seção superficial: (a) 500x; (b) 1000x; - seção transversal: (c) 500x; (d) 1000x.

Fonte: Autor (2018).

Percebemos uma distribuição bastante equilibrada do reforço na matriz (processada ao período de 0,5h, 1,0h e 2,0h) em todas as imagens da microscopia ótica (seção superficial e transversal), afirmando a assertiva de que a moagem de alta energia (MAE) é um processo eficiente para a diminuição do tamanho de partícula tanto da matriz quanto do reforço e incorporação dessa partícula de reforço na matriz metálica. Isso garante um material com menor porosidade e propriedades mecânicas superiores, coerente com a teoria das ligas produzidas via metalurgia do pó (MP).

A Figura 17 (a, b) apresentam as imagens de MEV da amostra sinterizada de alumínio AA 1100. A amostra apresenta contornos de grãos bem definidos, morfologia irregular e possui grãos maiores que 30 µm.

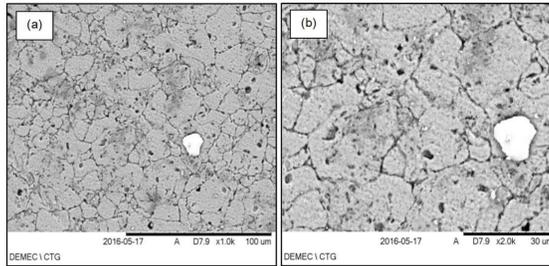


Figura 17. Imagem de MEV da amostra sinterizada Al AA 1100. (a) Aumento de 1000x; (b) Aumento de 2000x.

Fonte: Autor (2018).

A Figura 18 apresenta o EDS da amostra de Al AA 1100. O Grão branco em destaque é identificado pelo EDS como sendo um precipitado contendo picos de Al e impurezas de Fe, além de Cr e Si em menor quantidade.

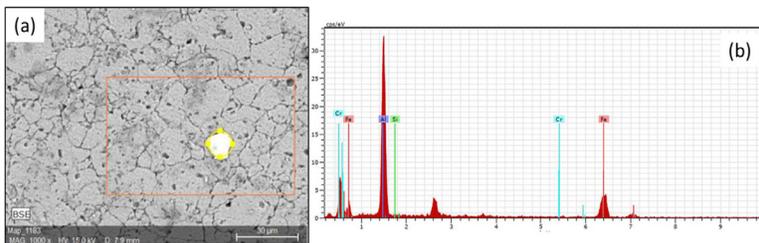


Figura 18. EDS da amostra sinterizada Al AA 1100. (a) Região analisada; (b) Espectro de EDS.

Fonte: Autor (2018).

As figuras 19 a 21 apresentam os resultados de Microscopia Eletrônica de Varredura das seções superficiais das amostras da liga de alumínio AA 7013, com tempo de processamento em MAE de 0,5h, 1,0h e 2,0h com ampliações de 1.000x e 2.000x. Observa-se grãos irregulares e alongados, com o aumento do tempo de moagem há uma maior incorporação dos elementos de liga na matriz.

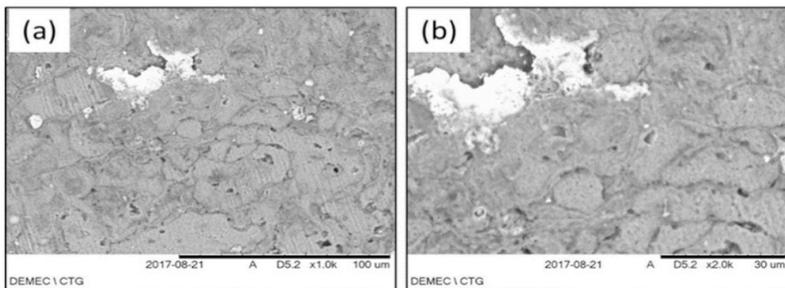


Figura 19. Imagem de MEV da amostra sinterizada AA 7013_0,5h, seção superficial. (a) Aumento de 1000x; (b) Aumento de 2000x.

Fonte: Autor (2018).

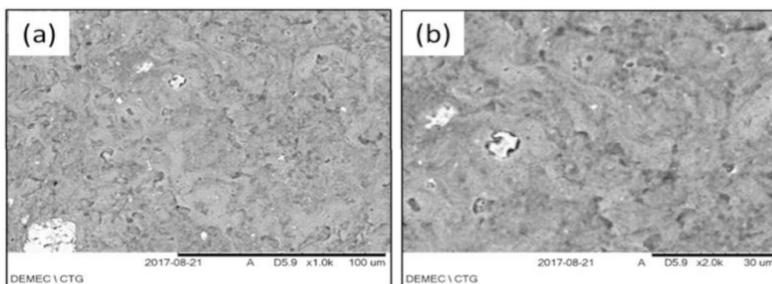


Figura 20. Imagem de MEV da amostra sinterizada AA 7013_1,0h, seção superficial. (a) Aumento de 1000x; (b) Aumento de 2000x.

Fonte: Autor (2018).

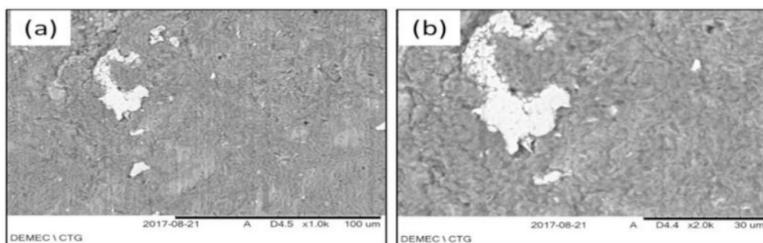


Figura 21. Imagem de MEV da amostra sinterizada AA 7013_2,0h, seção superficial. (a) Aumento de 1000x; (b) Aumento de 2000x.

Fonte: Autor (2018).

As figuras 22 a 24 apresentam os EDS da amostra da liga sinterizada processada por moagem de alta energia, AA 7013, durante o tempo de 0,5h, 1,0h e 2,0h.

É observado na análise superficial por EDS, na Figura 22 da liga do alumínio AA 7013 processada em moinho de alta energia durante 0,5h, os elementos que compõe esta

liga, além do alumínio há o Zn, Cu, Ti, Si e O. A Figura 23, a liga processada durante 1,0h mostra elementos de Al, Zn, Cu, Ti, Si, Mn e O. Para o tempo de 2,0h, Figura 24, há a presença de Al, Zn, Cu, Fe, Mn, Cr e O. A presença de oxigênio indica que houve oxidação durante o processo de moagem de alta energia.

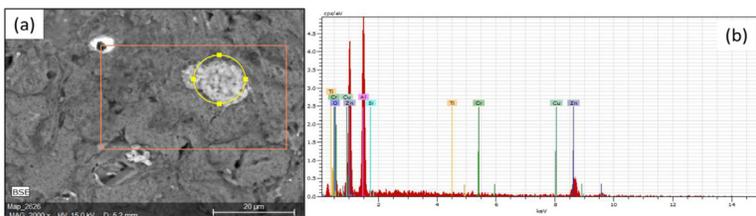


Figura 22. EDS da amostra sinterizada da liga AA 7013_0,5h, visão superficial. (a) Região analisada; (b) Espectro de EDS

Fonte: Autor (2018).

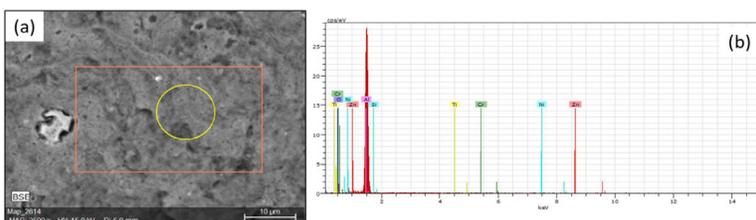


Figura 23. EDS da amostra sinterizada da liga AA 7013_1,0h, visão superficial. (a) Região analisada; (b) Espectro de EDS

Fonte: Autor (2018).

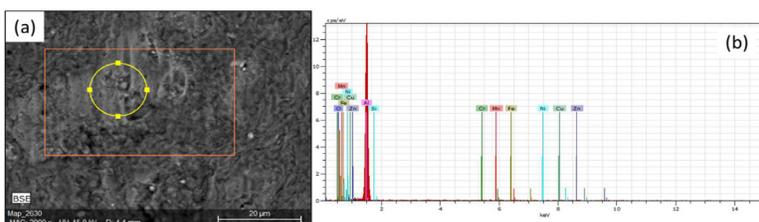


Figura 24. EDS da amostra sinterizada da liga AA 7013_2,0h, visão superficial. (a) Região analisada; (b) Espectro de EDS

Fonte: Autor (2018).

Nesta etapa do trabalho é apresentado os resultados de *microdureza Vickers*, obtidos após o ensaio das amostras das ligas de Al AA 1100, AA 7013. Durante o ensaio foi realizado 5 endentações em cada superfície (superficial e transversal), sendo aplicado uma

carga de 200 g. A Tabela 3 apresenta a evolução dos resultados de *microdureza Vickers* das ligas processadas durante 0,5h; 1,0h e 2,0h comparada ao resultado da amostra da liga de Al AA 1100 (alumínio puro), da qual foi usado como base para otimização da obtenção da liga, pois o alumínio puro necessita da combinação de elementos químicos para melhorar ou modificar suas propriedades, sendo a resistência mecânica e dureza.

Seção	SEÇÃO TRANSVERSAL				SEÇÃO SUPERFICIAL			
	AA 1100	AA 7013			AA 1100	AA 7013		
		0,5h	1,0h	2,0h		0,5h	1,0h	2,0h
MÉDIA	31,53	95,62	114,6	138,6	33,46	110,48	114,28	151,8
DESVIO PADRÃO	1,05	10,63	8,23	21,18	4,05	15,03	14,82	27,61

Tabela 3. Resultado Médio de Microdureza *Vickers* – HV – Transversal e Superficial.

Fonte: Autor (2018).

A Figura 25 apresenta a evolução dos valores médios de *Microdureza Vickers* obtidos para cada amostra nas seções transversal e superficial, das amostras processada nos tempos especificados (0,5h; 1,0h e 2,0h). Pode-se notar um comportamento bastante crescente da dureza com o aumento do tempo de moagem. O processo de moagem durante 2,0h da liga AA 7013 obteve um aumento percentual de 339,58% na seção transversal e de 353,68% na seção superficial em relação a liga Al AA 1100.

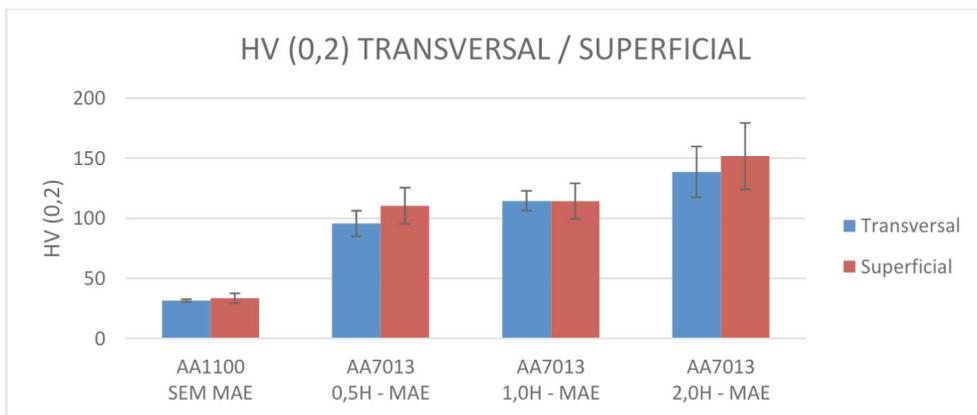


Figura 25. Evolução média da *microdureza Vickers* (HV), utilizando tempo de moagem de 0,5h; 1,0h e 2,0h (seções transversal e Superficial).

Fonte: Autor (2018).

4 | CONCLUSÃO

A fabricação das amostras da liga de alumínio AA 7013 processadas durante 0,5h, 1,0h e 2,0h, através da técnica de metalurgia do pó, tomando como a base a liga Al AA 1100. Foi executado com relativo sucesso, através da metalurgia do pó.

Os espectros de DRX dos pós processados por Moagem de Alta Energia, observou-se picos do alumínio da matriz. Foi observado que não houve alterações significativas nos difratogramas para os diferentes tipos de moagem das ligas processadas, apresentaram os mesmos valores de ângulo de difração (2θ) da matriz em alumínio (AA 1100).

Nas imagens de MEV das amostras dos pós, ficou evidente que durante o processamento de 0,5h o material particulado apresentou uma morfologia relativamente achatada e irregular, e durante o processamento de 2,0h ficou evidente a diminuição das partículas do material particulado, apresentando uma morfologia mais regular (ligeiramente arredondadas) e fina.

As imagens de EDS dos pós das ligas processadas em moagem de alta energia (MAE) mostraram de forma semi-quantitativa a presença de elementos de alumínio, zinco, cobre, níquel, manganês, ferro, titânio, cromo, silício e oxigênio, este último presente devido à oxidação na MAE.

No MEV das amostras de pós sinterizadas ficou evidente que a que houve incorporação dos elementos de ligas para as moagens de 0,5, 1,0 e 2,0 horas, cujo tempo de 2,0h teve uma melhor incorporação. As imagens de EDS confirmaram a presença dos elementos de liga de: zinco, cobre, níquel, manganês, ferro, titânio, cromo, silício e oxigênio.

Nas imagens de MO o material consolidado apresentou uma morfologia de grãos irregular e contornos de grãos bem evidenciados e definidos. Com o aumento do tempo de moagem houve um aumento no que concerne às deformações das lamelas (seção transversal). As imagens de MO também mostram uma boa densificação da liga, contudo nota-se a presença de poros.

Os resultados de dureza apresentaram-se linearmente crescente com o aumento do tempo de moagem, destacando o efeito positivo da técnica de Metalurgia do Pó utilizando MAE na produção da liga alumínio AA 7013.

O processo de moagem durante 2,0h da liga AA 7013 obteve um aumento percentual de 339,58% na seção transversal e de 353,68% na seção superficial em relação a liga Al AA 1100.

REFERÊNCIAS

ASM Handbook. **Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials**, ASM International (American Society for Metals), Materials Park, Ohio, USA, 1992. v. 2. 3470 p ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. Publicação técnica -Fundamentos e aplicações do alumínio, ABAL, p.22, 2007.

BARBOSA, C. **Metais não ferrosos e suas ligas: microestrutura, propriedades e aplicações**. Ed. E- papers. Rio de Janeiro, 2014.

CHIAVERINI, V. **Metalurgia do pó**. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, São Paulo, 2001.

SILVA JUNIOR, Moisés Euclides da. **FABRICAÇÃO DAS LIGAS DE ALUMÍNIO AA3003 E AA3303 A PARTIR DOS PÓS ELEMENTARES DE ALUMÍNIO E DE MANGANÊS ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE METALURGIA DO PÓ**. 2020. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

SILVA, T. T. L. **Manufatura e caracterização de Alumínio-Cobre (Duralumínio) fabricadas via técnicas de metalurgia do pó**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2017.

SURYANARAYANA, C. **Mechanical alloying and milling**. Progress in Materials Science, Vol. 46, p.1- 184, 2001.

ZHANG, D. L. **Processing of advanced materials using high-energy mechanical milling**, *Progress in Materials Science*, 49, 537-560, 2004.

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

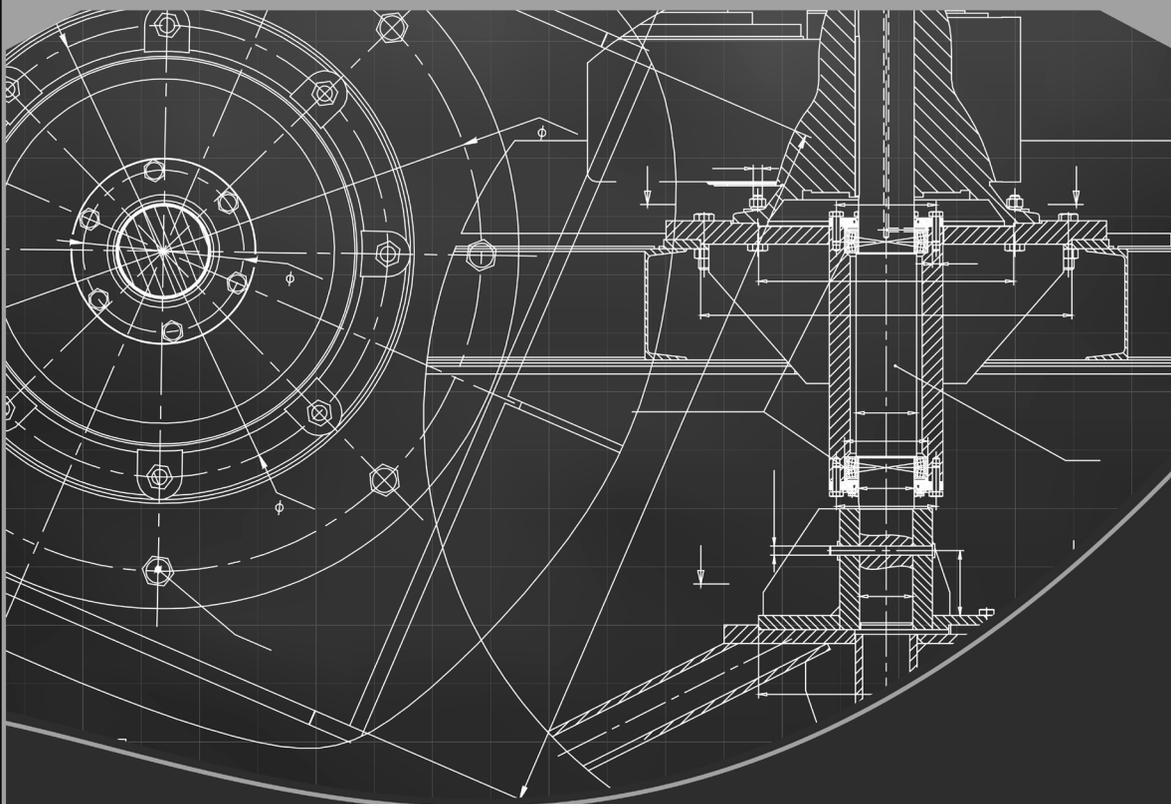
2

🌐 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

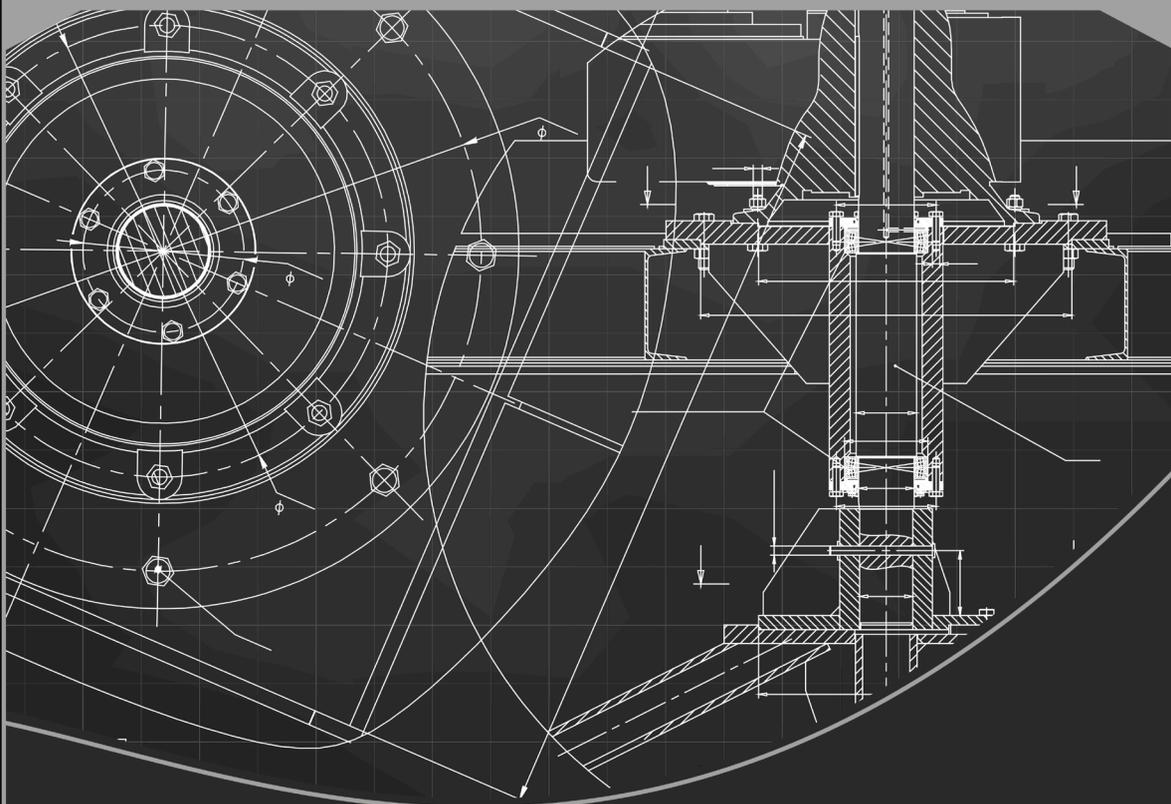
2

🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ contato@atenaeditora.com.br

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

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



Atena
Editora

Ano 2021