

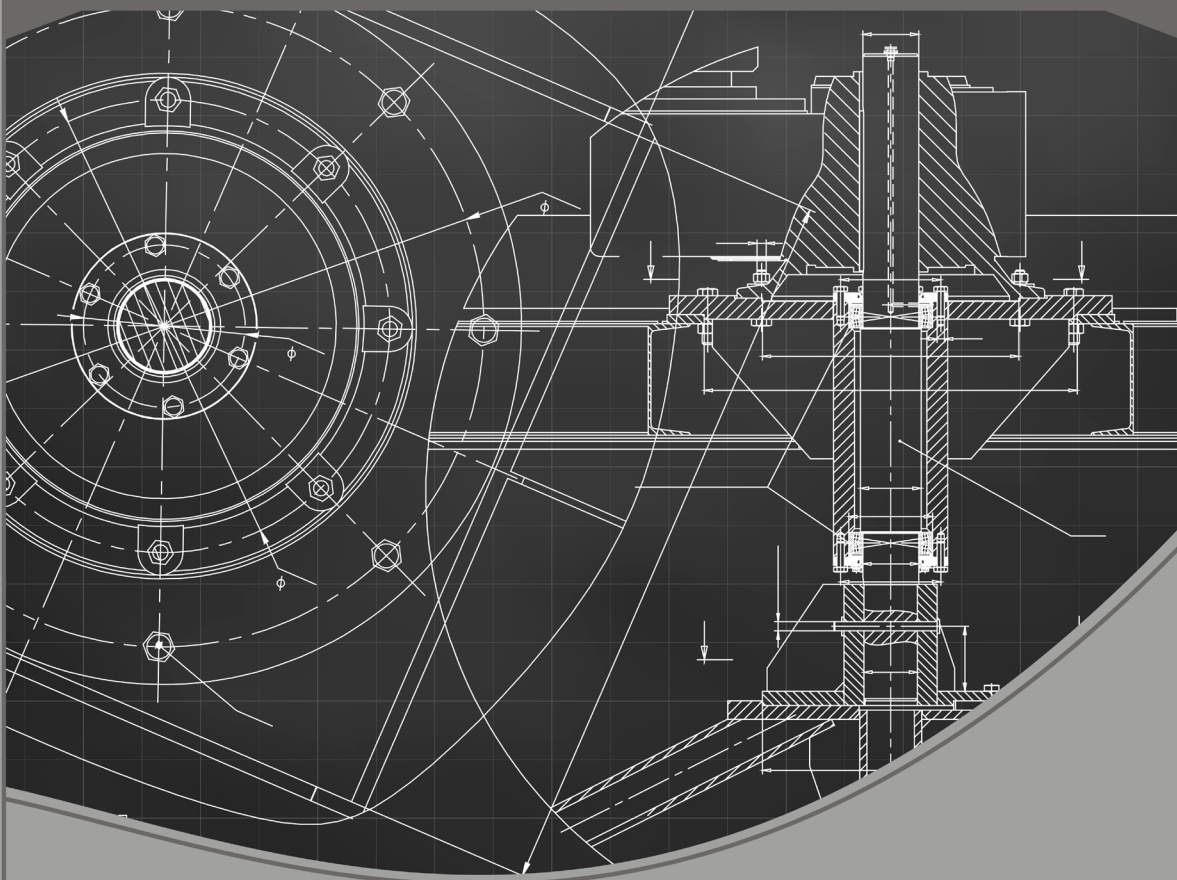
Engenharia Mecânica:

A Influência de Máquinas, Ferramentas
e Motores no Cotidiano do Homem

Henrique Ajuz Holzmann

João Dallamuta

(Organizadores)



Atena
Editora

Ano 2021

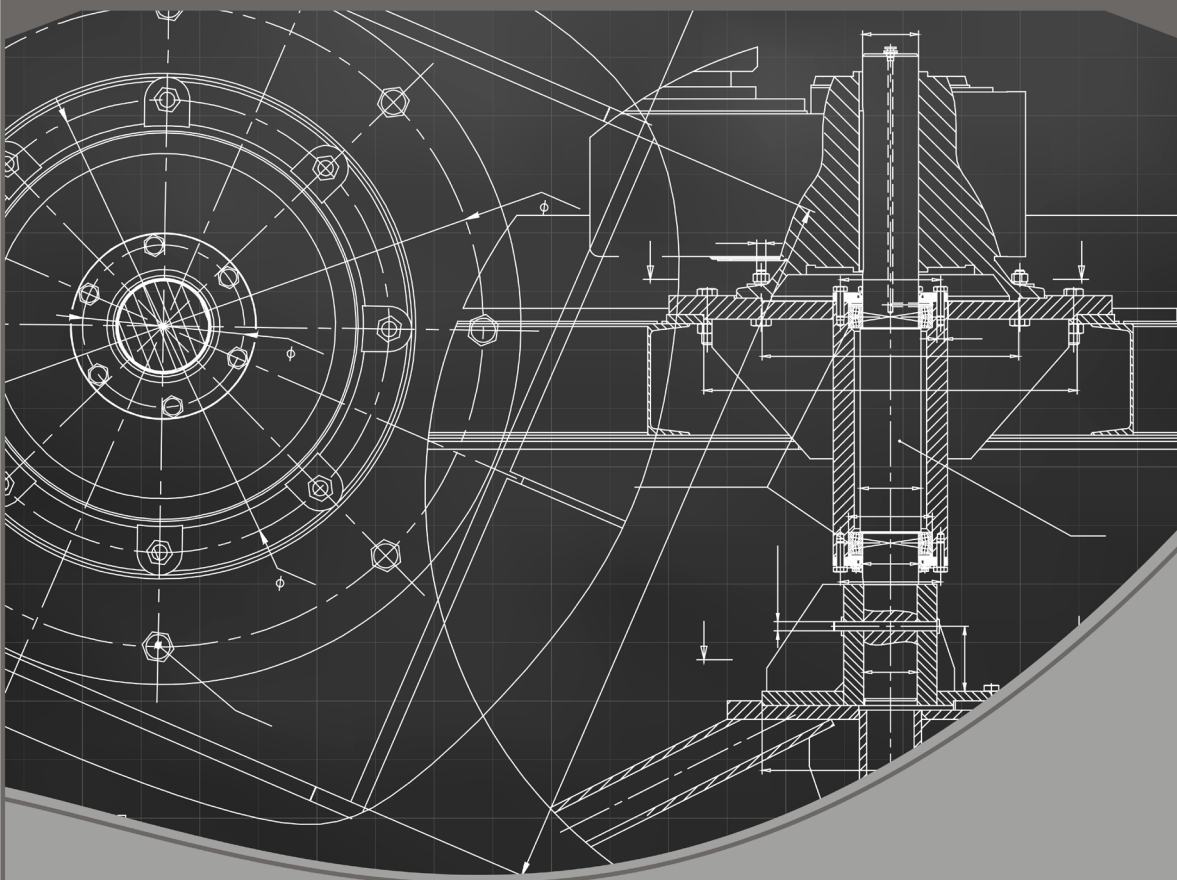
Engenharia Mecânica:

A Influência de Máquinas, Ferramentas
e Motores no Cotidiano do Homem

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
Prof^ª Dr^ª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª 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. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele 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
Prof^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^ª Dr^ª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª 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

Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª 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

Prof^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof^ª Dr^ª 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

Prof^ª Dr^ª 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

Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci 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

Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^ª Dr^ª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Prof^ª Dr^ª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof^ª Dr^ª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^ª Dr^ª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^ª Dr^ª 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
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª 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
Prof^ª 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. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Prof. Ma. 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. 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
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/UFPA
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 Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª Lívia 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
Prof^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª 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
Prof^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Prof^ª 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
Prof^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª 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

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremona
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 / 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 978-65-5706-882-3

DOI 10.22533/at.ed.823211703

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

PROPRIEDADES FÍSICAS E QUALIDADE DE COLAGEM DE PAINEL COMPENSADO
PRODUZIDO COM LÂMINAS TERMORRETIFICADAS E RESINA POLIURETANA

Danilo Soares Galdino

Cristiane Inácio de Campos

Ricardo Marques Barreiros

DOI 10.22533/at.ed.8232117031

CAPÍTULO 2..... 9

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE LIGAS DE MEMÓRIA DE FORMA EM AERONAVES NÃO
TRIPULADAS

João Gabriel Benedito Duarte

Mayara Auxiliadora Castilho Benites

Victor Leone Rabito Chaves

Edson Godoy

Vanessa Motta Chad

Márcia Moreira Medeiros

DOI 10.22533/at.ed.8232117032

CAPÍTULO 3..... 22

APLICAÇÃO DE UM MECANISMO BALANCE BAR A UM SISTEMA DE FREIO DE UM
VEÍCULO *OFF ROAD* DO TIPO BAJA

Gustavo da Rosa Fanfa

Bruno Almeida Nunes

Antonio Domingues Brasil

DOI 10.22533/at.ed.8232117033

CAPÍTULO 4..... 34

DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO ALTERNATIVO PARA
APROVECHAR LA ENERGÍA POTENCIAL DEL AGUA

Diógenes Manuel de Jesús Bustan Jaramillo

José Leonardo Benavides Maldonado

Andrea del Pilar Narváez Ochoa

DOI 10.22533/at.ed.8232117034

CAPÍTULO 5..... 48

AVALIAÇÃO TÉRMICA DE VEICULOS COM E SEM PELICULA TÉRMICA

Weverson Carlos Fortes

Maribel Valverde Ramirez

DOI 10.22533/at.ed.8232117035

CAPÍTULO 6..... 57

COMPARISON OF EXPERIMENTAL DATA AND PREDICTION MODELS OF MINIMUM
FLUIDIZATION VELOCITY FOR A RICE HUSK AND SAND MIXTURE IN FLUIDIZED BED

Fernando Manente Perrella Balestieri

Carlos Manuel Romero Luna

Ivonete Ávila

DOI 10.22533/at.ed.8232117036

CAPÍTULO 7..... 65

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA PARA AVALIAÇÃO DOS ATUAIS PROCESSOS DE SECAGEM DE GRÃOS

José Roberto Rasi

Mario Mollo Neto

Roberto Bernardo

DOI 10.22533/at.ed.8232117037

CAPÍTULO 8..... 81

IMPLEMENTAÇÃO DE UMA INTERFACE HÁPTICA PARA TESTES DE CONTROLE MOTOR. DESIGN E VALIDAÇÃO DE UMA NOVA INTERFACE MECÂNICA

Adriano Augusto Antongiovanni

Arturo Forner Cordero

DOI 10.22533/at.ed.8232117038

CAPÍTULO 9..... 100

BRAÇO ROBÓTICO UTILIZANDO SENSOR DE COR PARA SEPARAÇÃO DE OBJETOS

Airam Toscano Lobato Almeida

Gefté Alcantara de Almeida

Eduardo Garcia Medeiros

Douglas Pires Pereira Junior

Samuel Vasconcelos de Oliveira

Carlos Henrique Cruz Salgado

DOI 10.22533/at.ed.8232117039

CAPÍTULO 10..... 106

BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO DE NIÓBIO ATRAVÉS DA CONCENTRAÇÃO POR PROCESSOS MECÂNICOS E SOLUÇÕES QUÍMICAS: ESTUDO TEÓRICO APROFUNDADO

Luiz Eduardo Ortigara

Mario Wolfart Júnior

Carlos Wolz

DOI 10.22533/at.ed.82321170311

CAPÍTULO 11..... 120

ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TRANSPOSIÇÃO DE ECLUSAS PARA OS COMBOIOS PADRÃO TIETÊ

Antonio Eduardo Assis Amorim

DOI 10.22533/at.ed.82321170312

CAPÍTULO 12..... 131

DESENVOLVIMENTO DE UM CÓDIGO COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DE VIBRAÇÃO POR CAPTURA DE IMAGEM

Giovanni Luiz Fredo

Paulo Rogério Novak

DOI 10.22533/at.ed.82321170313

SOBRE OS ORGANIZADORES	142
ÍNDICE REMISSIVO.....	143

CAPÍTULO 10

BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO DE NIÓBIO ATRAVÉS DA CONCENTRAÇÃO POR PROCESSOS MECÂNICOS E SOLUÇÕES QUÍMICAS: ESTUDO TEÓRICO APROFUNDADO

Data de aceite: 01/03/2021

Data de submissão: 05/01/2021

Luiz Eduardo Ortigara

Instituto Federal Catarinense
Campus Luzerna
Luzerna – Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/6625019275942415>

Mario Wolfart Júnior

Instituto Federal Catarinense
Campus Luzerna
Luzerna – Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/6962955293227838>

Carlos Wolz

Instituto Federal Catarinense
Campus Luzerna
Luzerna – Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/9454628125241957>

RESUMO: Nióbio é um metal que tem utilização em ligas de aço microligados, aço inox e aços ferramentas. Sua aplicação siderúrgica, em forma de ferronióbio é de grande interesse à indústria nacional, isso porque 93% do minério está presente em solo brasileiro. Portanto, tecnologias envolvendo o nióbio estão em desenvolvimento, gerando um interesse de maior aproveitamento financeiro e ecológico na produção do minério, que é atendido pelo aumento da concentração final de nióbio após o beneficiamento. Entretanto, pesquisas mais aprofundadas no beneficiamento do minério se encontram fragmentadas ou inacessíveis devido à natureza

sigilosa da indústria, gerando a necessidade de compilar tais informações para auxiliar futuros trabalhos e tecnologias. As principais etapas de beneficiamento de nióbio (lavra do minério; britagem; moagem; deslamagem; e flotação) foram analisadas e comparadas com o processo das minas de Araxá, Catalão e Niobec. A análise demonstrou que todos os processos do beneficiamento irão influenciar diretamente no concentrado final de Nb_2O_5 , sendo proposto algumas formas de melhoria. Na lavra do minério o corte mínimo entre Araxá, Catalão e Niobec é de 2%, 1,65% e 0,7% respectivamente, evidenciando uma diferença bem discrepante, dessa forma uma flotação de menores minérios com menores porcentagens em Araxá e Catalão resultará em retorno econômico, além de diminuir o descarte. Como o minério menor que 10 μm (finos) deverá ser descartado na deslamagem, uma moagem mais controlada é necessária, para que o mínimo de finos seja gerado. O descarte dos finos tem uma perda considerável de Nb_2O_5 em Araxá e Niobec, entretanto na mina de Catalão isso não ocorre, cabendo pesquisas mais aprofundadas no processo. A flotação já foi melhor estudada em trabalhos recentes e propostas como: redução de perda de nióbio durante as pré-flotações; e utilização mais eficiente dos reagentes tenderão a aumentar a concentração de nióbio e diminuir os custos envolvidos no processo.

PALAVRAS-CHAVE: Beneficiamento, Nióbio, Moagem, Deslamagem, Flotação.

BENEFICIATION OF THE NIOBIUM ORE THROUGH MECHANICAL PROCESSES AND CHEMICAL SOLUTIONS CONCENTRATION: AN IN-DEPTH THEORETICAL STUDY

ABSTRACT: Niobium is a metal which is used microalloyed, stainless and tool steel. The steel industry application, in the form of ferroniobium has been interested the national industry, that happens because 93% of the ore is present in Brazilian territory. Therefore, new technologies involving niobium are under development, generating an interest in better ecologic and financial ore production, that occurs when increasing the final concentration of niobium after its beneficiation. However, the bibliography on niobium ore beneficiation is fragmented or inaccessible due to the confidential nature of the industry, generating the need to compile such information to enable future work and technologies. The main stages of beneficiation of niobium (mining of the ore; crushing; grinding; desliming; and flotation) were analyzed and compared with the Araxá, Catalão and Niobec mines process. The analysis demonstrated that all beneficiation processes will directly influence the final Nb_2O_5 concentrate and some ways of improvement are being proposed. In the mining of the ore the minimum cut between Araxá, Catalão and Niobec is 2%, 1,65% and 0,7% respectively, demonstrating a very discrepant difference, thus a flotation of smaller ores with lower percentages in Araxá and Catalão will result in economic return, in addition to reducing costs. As the ore smaller than $10\ \mu m$ (fines) must be discarded during the desliming, a more controlled grinding is necessary, so that the minimum fines are generated. The disposal of fines has a considerable loss of Nb_2O_5 in Araxá and Niobec, however in the Catalão mine this does not happen, and further research is recommended in the process. Flotation has been better studied in recent studies and proposals such as: reduction of niobium loss during pre-flotation; and more efficient use of reagents will tend to increase the concentration of niobium and decrease the costs involved in the process.

KEYWORDS: Beneficiation, Niobium, Grinding, Desliming, Flotation.

1 | INTRODUÇÃO

O nióbio (Nb) é um metal que tem se destacado na indústria nacional, isso porque 93% do minério está presente em solo brasileiro. O nióbio pode ser utilizado como refratário pela sua alta temperatura de fusão ($2470\ ^\circ C$) quando em estado puro, entretanto sua alta afinidade com o carbono faz com que a maioria do metal seja utilizado no ramo siderúrgico, sendo aplicado em aços microligados, inoxidáveis e ferramentas (JÚNIOR, 2017).

Assim como na siderurgia do aço que beneficia o minério de ferro até transformá-lo em ferro gusa para acrescentá-lo na fusão de ligas de aço, o minério de nióbio é transformado em ferronióbio, que pode ser descrito como uma liga que contém 70% de nióbio e o balanço químico com ferro e titânio.

Analisando que o nióbio também pode ser aplicado em pequenas porcentagens na fundição de outras ligas, este elemento se torna valioso ao ter uma vasta gama de utilidades no ramo siderúrgico.

Em aços microligados a adição de nióbio pode variar de 0,01% a 0,1%, gerando

carbonitreto de nióbio que contribuem com o aumento da resistência ao crescimento de grão durante o reaquecimento do metal pós-laminação. Isso se deve ao nióbio retardar a recristalização da austenita, formando grão deformados e grandes quantidades de contornos de austenita, nucleando os grãos de ferrita de forma mais acelerada e, portanto, gerando grãos menores e uma microestrutura ferrítica refinada (GUIMARÃES, 1997).

Quando utilizado em aços inoxidáveis, o nióbio tem como objetivo precipitar carbonetos de nióbio na matriz. Dessa forma, o cromo se manterá solubilizado na matriz, não precipitando em forma de carboneto de cromo e diminuindo a resistência à corrosão (ROSSITI, 2000).

Provando-se um metal com diferentes aplicações na indústria siderúrgica, além de ser um minério estratégico para a indústria brasileira, o nióbio tem recebido investimento industriais e acadêmicos na busca por novas tecnologias, tendendo a aumentar o consumo do metal de maneira geral (SILVA, 1994); (TEIXEIRA, 2019).

Devido a tendência de maior consumo do nióbio, busca-se maior eficiência financeira e ambiental na extração do minério e seu beneficiamento (concentração), principalmente no cenário a longo prazo do cenário mineral brasileiro. O beneficiamento (ou concentração) do minério de nióbio tem como intuito a retirada de lamas e impurezas aumentando a porcentagem de óxido de nióbio (Nb_2O_5) após cada etapa. O processo se inicia com a lavra do nióbio seguindo da moagem, deslamagem, separação magnética e flotação de impurezas.

Como cada um desses processos tem influência no concentrado final, projetos de pesquisa e extensão focados em auxiliar as empresas interessadas desenvolvem tecnologias em diversas áreas: projeto de equipamentos; estudo de reações de reagentes; e o estudo de alterações das variáveis do processo.

Mesmo com a possibilidade de novas pesquisas e do avanço no estado de arte do beneficiamento do nióbio, as informações se encontram desatualizadas ou fragmentadas, fazendo-se necessário um estudo prévio de viabilidade técnica do processo recorrente de beneficiamento de nióbio e possíveis melhorias, para que as pesquisas tenham alcance e consigam auxiliar o cenário nacional.

O presente trabalho procura compilar as informações e discutir a viabilidade técnica e econômica da implementação do beneficiamento de nióbio em laboratório e na indústria, além de apresentar as concentrações esperadas em cada processo.

2 | PESQUISAS REALIZADAS: BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO DE NIÓBIO

As pesquisas realizadas se basearam em três trabalhos principais: de Souza Paraiso Filho et al. (1993) descreve o processo industrial da mina de Araxá - MG (CBMM); Guimarães e Weiss (1997) analisaram a mina de nióbio da mina de Catalão - GO (CMOC); e dos autores Dufresne e Goyette (2004) que analisaram a produção de ferronióbio na mina

de Niobec, Quebec - Canadá.

Como os minérios de nióbio trabalhados representam diferentes composições química entre si, diferentes metodologias para o beneficiamento foram pesquisadas. Por outro lado, trabalhos atuais em cada processo do beneficiamento foram pesquisados, com o intuito de evidenciar as tecnologias utilizadas atualmente e a evolução do processo.

2.1 Lavra e britagem do minério

A lavra do minério do nióbio irá retirá-lo do local com máquinas escavadeiras, já a britagem será o processo responsável por diminuir o minério para o processo posterior de moagem.

Em Araxá a extração ocorre com máquinas escavadeiras com um corte de 2% de Nb_2O_5 , seguido do transporte com caminhões de carga até uma peneira vibratória de 21 m x 4,2 m, com o sobreposto sendo britado em uma britadora de mandíbulas. Quando o minério for menor que 50,8 mm segue para a etapa de moagem (DE SOUZA PARAISO FILHO ET AL.,1993).

Na mina Niobec a extração é realizada diretamente no subterrâneo e segue diretamente para uma britadora de mandíbula com saída de 100 mm para a moagem (DUFRESNE E GOYETTE, 2004).

Guimarães e Weiss (1997) não deixam claro a forma de extração em Catalão, entretanto é usada uma separadora vibratória com grades e uma britadora de mandíbulas com saída de 25,4 mm. Diferentemente de Araxá, o sobreposto é descartado.

2.2 Moagem, separação magnética e deslamagem

2.2.1 Moagem

Esta operação se refere à redução da granulometria do material. O processo se resume à um equipamento moedor com alta dureza e resistência à abrasão sendo capaz de reduzir o tamanho de grão do minério sem o desgaste excessivo da máquina (GAGGIATO, 2021).

Usualmente o processo industrial utiliza um moinho de bolas ou um moinho de barras, onde as bolas ou as barras são as responsáveis pelo processo de moagem ao realizar abrasão no minério. Tanto para as bolas quanto para as barras recomenda-se aços com resistência ao impacto e resistência à abrasão com tratamentos termoquímicos como cementação ou nitretação.

Juntamente com o processo de moagem, o monitoramento e controle da granulometria tem influência direta no concentrado final de Nb_2O_5 , isso ocorre pois se a granulometria for excessivamente pequena, o minério poderá ser eliminado junto com as lamas nos processos posteriores de deslamagem e flotação. Dessa forma, o processo de

peneiramento e de moagem ocorrem simultaneamente (DE SOUZA PARAISO FILHO ET AL., 1981).

2.2.2 Separação Magnética

Denomina-se separação magnética como um conjunto de separações baseadas na diferença de suscetibilidade magnética dos minerais, e se apoiam no seu comportamento quando submetidos à ação de um campo magnético externo (SANTAGOSTINO, 1997).

O processo de separação é dividido a seco e a úmido e pela intensidade do campo magnético responsável pela retirada, ou pela concentração, do material magnético desejado. No caso de minério de nióbio, a magnetita (Fe_3O_4) é uma impureza devendo ser utilizado um separador de baixa intensidade e à úmido, conforme indicado por Crisóstomos (2015).

2.2.3 Deslamagem

A deslamagem é um dos processos com maior custo benefício no beneficiamento do nióbio, isso porque retira uma boa parte das lamas, em especial as menores que 10 μm (denominado como finos), já que estas irão influenciar negativamente no processo posterior de flotação.

Para realizar a deslamagem são utilizados hidrociclones e mini-hidrociclones (são classificados mini-hidrociclones quando o diâmetro da parte cilíndrica é menor que 10 mm) que utilizam a força centrífuga com o intuito de separar materiais utilizando a densidade como parâmetro (MOGNON, 2015). Conforme indicado na Figura 1, a geometria dos hidrociclones apresenta duas regiões: a parte superior que consiste em uma região cilíndrica onde há uma saída superior denominada overflow onde a corrente pobre em sólidos irá passar, além disso, também é composta por um tubo que se insere no seu topo chamado de *vortex finder*. Logo abaixo, como prolongamento da parte superior, encontra-se uma região cônica que apresenta uma saída inferior chamada de *underflow* ou *apex* sendo o local onde a corrente rica em sólido passará.

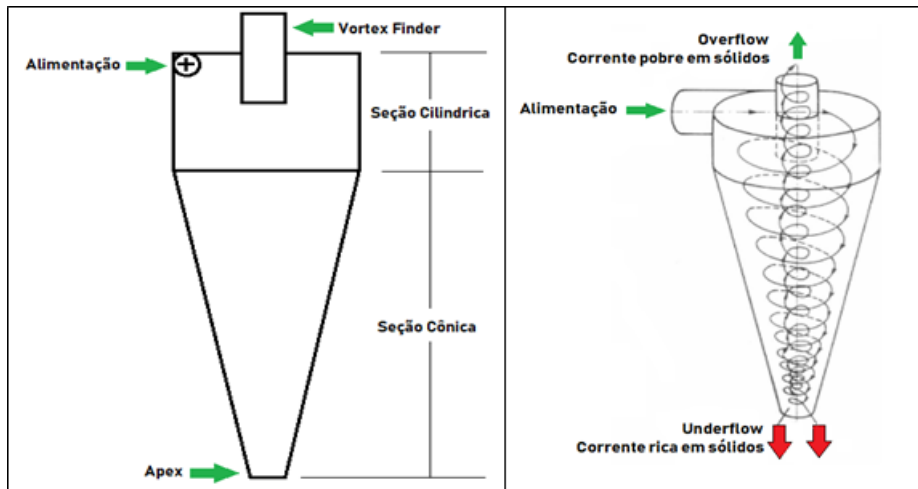


Figura 1: Partes de um mini-hidrociclone.

Fonte: Os autores.

Inicialmente, o minério, em formato sólido-líquido, é bombeado para dentro do mini-hidrociclone tangenciando o diâmetro interno (alimentação). Devido a geometria do mini-hidrociclone e o fato da polpa entrar na alimentação pressurizada, desenvolve-se um movimento rotacional descendente, dessa forma, as partículas mais densas tendem a ocupar as regiões mais próximas à parede do equipamento, sofrendo uma maior ação das forças centrípeta e gravitacional. Já as partículas menos densas são deslocadas para a região central do equipamento.

Devido ao *apex* ter uma abertura relativamente pequena, apenas parte do material é capaz de escoar para fora da abertura, desse modo irá ocorrer um estrangulamento em que será formado um vortex (ciclone) ascendente interno em que as partículas menores subirão através da corrente gerada e, assim, serão descarregadas no *vortex finder* através do *overflow* (MOGNON, 2015).

2.2.4 Processo em Araxá

A moagem do minério utilizará apenas um moinho de bolas, juntamente com um processo cíclico com classificadores (separadores) que consistem em quatro ciclones direcionando o underflow de 150 mesh para a separação magnética e o overflow irá retornar para o moinho de bolas. Na sequência, um separador magnético de baixa intensidade (800 a 900 Gauss) irá retirar de 10 a 25% de magnetita do minério, o material não-magnético segue para a deslamagem.

Segundo de Souza Paraiso Filho et al. (1981) a deslamagem na mina de Araxá é um processo de grande importância para a futura flotação, isso porque a flotação é muito

sensível a presença de lama que está presente, em quantidade considerável, em grãos menores que 5 μm . Entretanto, deve-se notar que uma quantidade considerável de Nb_2O_5 (5%) se encontra na granulometria menor que 37 μm , portanto a retirada deve ser muito eficiente, eliminando apenas grãos menores que 5 μm .

Três estágios de deslamagem são realizados em duplicata. O primeiro estágio usa hidrociclones de 381 mm, o underflow irá passar para o próximo estágio e o overflow passa por máquinas de atrito (*scrubbers*), que tem como intuito atritar as partículas para liberar lamas retidas para passar novamente por uma série de hidrociclones de 381 mm, o underflow gerado irá para o processo de flotação

O segundo estágio utiliza a mesma metodologia do primeiro estágio, mas com hidrociclones de 100 mm. O terceiro estágio passa por hidrociclones de 25,4 mm, sem passar pelo *scrubber*, o overflow é descartado e o underflow segue para um processo de flotação de partículas finas (DE SOUZA PARAISO FILHO et al., 1981).

2.2.5 Processo em Catalão

O minério menor que 25,4 mm passa por moagem em um moinho de barras e segue para um ciclone classificador, o overflow segue para a deslamagem e o underflow passa por um moinho de bolas e por uma separação magnética, responsável por retirar até 16% de magnetita da massa do minério que é descartada, em sequência o minério passa por nova moagem em um moinho de bolas seguindo por classificação e deslamagem.

A deslamagem em laboratório tem como objetivo retirar todas as partículas menores que 10 μm , iniciando em uma peneira vibratória de 208 μm e classificado em um hidrociclone de 40 mm, o underflow segue para um moinho de barras até passar na peneira de 208 μm , enquanto o overflow é deslamado por um mini-hidrociclone de 25 mm. A retirada de lamas chega em até 31% da massa.

Na indústria, as partículas menores que 5 μm são retiradas por hidrociclones de 100 mm e 25,4 mm que seguem para um espessador (uma grande piscina onde água limpa fica na parte superior e o sólido que é mais denso fica na parte inferior) e para a reciclagem de água. Enquanto as partículas maiores que 5 μm seguem para a flotação (GUIMARAES E WEISS, 2003).

2.2.6 Processo em Niobec

O processo de moagem inicia com um moinho de barras de 3,2 m x 4,267 que segue para 12 peneiras vibratórias com abertura de 230 mm. A parte superior segue para um moinho de bolas enquanto a inferior segue para o circuito de deslamagem.

Na mina de Niobec, o circuito de deslamagem é designado para retirar as partículas menores que 10 μm previamente a flotação, nota-se um padrão de retirada de lamas de pequena dimensão que tem relação direta com a eficiência da flotação.

Inicialmente o caldo é diluído em 18% de sólido e bombeado para 7 hidrociclones de 254 mm, com vortex de 100 mm e apex de 45 mm. O overflow de 4% a 6% de sólidos segue para um segundo estágio com 50 hidrociclones de 100 mm com vortex de 25,4 mm e apex de 15,875 mm. O underflow resultante é enviado para um espessador de 85' e segue para área de resíduos.

Os ciclones conseguem remover todas as partículas menores que 7 μm e mantendo em quase totalidade as partículas com mais de 20 μm , sendo reduzido 18% do peso com remoção de 15% do pirocloro (DUFRESNE E GOYETTE, 2001).

Por fim, a separação magnética é realizada no underflow resultante da deslamagem.

2.3 Flotação

O conceito de flotação é a separação do concentrado almejado, por meio do controle da hidrofobicidade de diferentes minerais numa polpa ao utilizar reagentes químico específicos. Na flotação do nióbio bolhas de ar são inseridas na polpa, as partículas hidrofóbicas irão colidir e aderir nas bolhas sendo transportadas para a espuma (OLIVEIRA, 2007). Após a separação, a espuma será transportada e separada da polpa e então será arrastada hidráulicamente (mesmo sem ocorrer a adesão). Dessa forma a polpa passará para um processo mais intenso de separação ou será descartada, enquanto a espuma é coletada (ALVES, 2015).

Convencionalmente, o processo de separação polpa/espuma ocorre em células mecânicas de flotação. A célula é um sistema que conta com um rotor introduzido em um reservatório juntamente com um aerador, o rotor irá agitar a polpa, enquanto o aerador rompe o ar em pequenas bolhas que entra no sistema, dessa forma a turbulência gerada pelo rotor realizará a colisão das partículas com as bolhas, ocorrendo a adesão (SANTANA, 2007 apud ALVES 2015). A espuma, com menor densidade, irá cair pelas calhas da célula, enquanto o material de rejeito passa pelo fundo da máquina seguindo para processos de flotações mais rigorosas. A Figura 2 apresenta o funcionamento de uma célula de flotação.

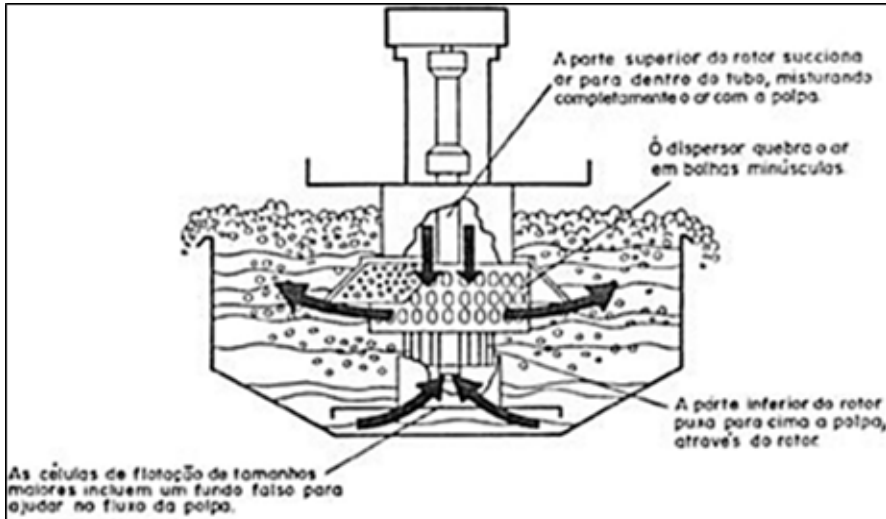


Figura 2: Funcionamento de uma célula de flotação.

Fonte: Luz et al., 2004 apud Alves, 2015.

De maneira alternativa às células, a coluna de flotação é um componente estático que por ter as bolhas de ar geradas por aerador e não com um rotor movimentando (que desgasta mais e tem menor vida em fadiga), reduz o custo de manutenção mecânica da coluna e aumentando sua vida útil.

Conforme Aquino e Oliveira (2006), na coluna de flotação as partículas minerais interagem com as bolhas de ar ascendente, introduzidas na base da coluna, resultando no processo de coleta das partículas hidrofóbicas (possuem repulsão à água). O agregado partícula-bolha formado é transportado até a seção de limpeza, onde é deslocado com a água de lavagem introduzida no topo da coluna. A água de lavagem tem o objetivo de promover a estabilidade e limpeza da espuma. As partículas minerais hidrofóbicas coletadas constituem a fração flotada, sendo separadas das partículas hidrofílicas (possuem afinidade com a água), que saem pela base da coluna e constituem a fração não flotada. O funcionamento é demonstrado na Figura 3.

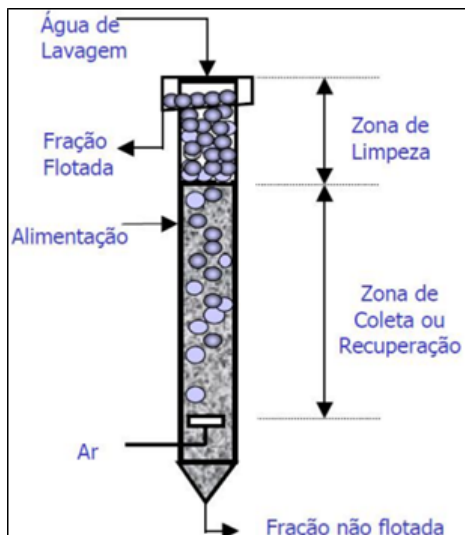


Figura 3: Representação esquemática de uma coluna de flotação.

Fonte: Luz, 1998 apud Alves, 2015.

2.3.1 Reagentes de Flotação

Os reagentes têm como função garantir hidrofobicidade às partículas que irão ser separadas da polpa. A quantidade e o tipo de reagente irão depender diretamente do tipo de minério e da sua composição química. Os reagentes podem ser classificados em coletores ou espumantes, modificadores ou reguladores (ASSIS, 2014).

Coletores são reagentes que têm um polo carregado que irá reagir com partículas carregadas presentes nos minérios, tem como principal função tornar a superfície do mineral hidrofóbica para ser coletada no processo. Na flotação do nióbio ácidos gordos são utilizados para retirar minerais carbonatos (que tendem a consumir muito ácido diminuindo a estabilidade do processo) e aminas que, quando em contato com a polpa, se tornam catódicas e se ligam aos materiais carregados do minério (GUPTA E YAN, 2016).

Espumantes são surfactantes, usualmente compostos heteropolares composto por álcoois e éteres de poliglicol (GUPTA E YAN, 2016). Os espumantes têm como função adsorver a interface água/ar reduzindo, assim, a tensão superficial da água. Como consequência, as bolhas formadas na espuma serão menores e mais estáveis, não estourando e carregando o concentrado até o exterior da célula/coluna de flotação.

Ativadores/depressantes têm como função reter os minerais para que não sejam retirados com os coletores. Para a retirada do pirocloro é comumente utilizado ácido oxálico que é facilmente ligado com a calcita, explicando a necessidade da retirada de tal mineral previamente a flotação do pirocloro (GUPTA E YAN, 2016).

2.3.2 Processo de Flotação na mina de Niobec

O processo inicia com a adição de ácidos gordos, juntamente com silicato de sódio. O silicato serve para evitar a formação de uma sopa insolúvel do ácido gordo. Os reagentes são utilizados para coletar a calcita do minério em tanques de 2,43 m x 2,43 m com um tempo de 15 minutos.

Após a retirada da calcita, a água é trocada em um processo semelhante ao de deslamagem, a polpa é misturada com água potável e passa por 3 hidrociclones de 254 mm com vortex de 63,5 mm e apex de 34,925 mm. O overflow é bombeado para outros 9 hidrociclones de 100 mm com vortex de 25,4 mm e apex de 12,7 mm. Ambos os underflow são levados para espessadores. O processo reduz os sais presentes em até 250%.

A flotação do pirocloro é realizada com o coletor acetato de diamina de sebo emulsificado em um pH de 6,8 a 7,5 mantido com uma mistura de 50/50 de ácido oxálico e ácido fluorídrico. Em seguida o pirocloro é flotado em 5 estágios de limpeza onde o pH é reduzido gradualmente até 2,7 que terá como consequência a depressão de todos os minerais menos o pirocloro e a pirita. Como a pirita compreende 20% do minério após a limpeza, é utilizado Amil Potássio Xantato (PAX) como coletor e hidróxido de sódio (visando retornar o pH para acima de 7) retirando até 95% da pirita.

Visando um descarte correto, a pirita é enviada para espessadores de 6,096 m e, quando em 50% de sólidos a polpa é enviada para 4 tanques de 1,524 m x 2,44 m onde ácido clorídrico é adicionado em taxas de 2,6 kg/ton dissolvendo a apatita presente.

Uma segunda flotação ocorre em um pH de 10,5 utilizando PAX e NaOH e sulfato de cobre é adicionado para retirar as sulfitas remanescentes.

O concentrado final de Nb_2O_5 é de aproximadamente 58% e é enviado para o processo de transformação de ferriónio.

2.3.3 Processo de flotação em Catalão

Várias tentativas foram realizadas para retirar o silicato do minério durante a flotação de pirocloro, tendo pouco sucesso. Portanto uma pré-flotação é realizada utilizando amido como dispersante e eteramina como coletor. Nota-se um fenômeno interessante no processo de Catalão, isto porque a mina é separada em Catalão I e II, entretanto a pré-flotação dos silicatos, seja nos grãos mais finos ou mais grossos, apresentaram uma diferença no consumo de reagente de 350% para o amido (400 g/ton para Catalão I e 1400 g/ton para Catalão II) e 560% para a eteramina (50g/ton para Catalão I e 280 g/ton para Catalão II). A diferença evidencia que o aumento da eficiência em um processo de beneficiamento é algo específico para cada minério, seja na utilização dos reagentes ou nas máquinas utilizadas.

Após a retirada dos silicatos é utilizado um processo de flotação para os grãos finos e para os grãos grossos com uma concentração final de 54% para Catalão I e 64% para

Catalão II. Por fim soda cáustica é utilizada para remover quantidade pequenas de fósforo e enxofre, com um concentrado final de 64% de Nb_2O_5 . Não há muitos detalhes sobre os reagentes utilizados necessitando pesquisas mais recentes para conferir se o valor confere.

2.3.4 Processo de flotação em Araxá

Diferentemente das outras três minas, o processo de pré-flotação em Araxá não ocorre, entretanto, maiores detalhes de como a calcita e os silicatos agem interferem na concentração final não estão disponíveis. Dessa forma, a flotação do pirocloro deslamado (originado do underflow dos hidrociclone de 381 mm e 100 mm) se inicia diretamente com o processo de flotação por espuma seletiva em um condicionador (DE SOUZA PARAÍSO FILHO et al., 2001).

O coletor utilizado é Acetato de diamina (amina do tipo catódico). O depressante é o MC553 da Henkel e para os ativadores do pirocloro são utilizados tanto ácido fluorídrico como fluorsilicato de sódio. Ácido hidrocloreídrico é usado para reduzir o pH para 3,5 a 2,5.

Saindo do condicionador, é iniciada a flotação “rougher” na espuma em 8 células de flotação de 8,5 m³. O concentrado é enviado para um espessador de 36 m para ajustar a porcentagem de sólidos até 25%. A polpa resultante segue para um próximo condicionador com a mesma quantidade de ativadores e coletores preparando a flotação de limpeza.

A flotação de limpeza consiste em quatro estágios em um circuito fechado com o estágio anterior. O primeiro estágio consiste em 5 célula de 8,5 m³, o segundo estágio 4 células de 4,8 m³ e o terceiro e o quarto estágio contam com 6 células de 1,7 m³ cada.

3 | COMPARAÇÃO DOS PROCESSOS DE BENEFICIAMENTO DAS MINAS DE NIOBEC, CATALÃO E ARAXÁ E PROPOSTA DE MELHORIA

Analisando os processos de flotação nas minas de Araxá, Catalão e Niobec nota-se que todos os processos influenciam diretamente a porcentagem final de Nb_2O_5 .

Na coleta do minério, há uma diferença significativa no corte do Nb, enquanto a mina de Niobec trabalha com percentuais próximos aos 0,7% (DUFRESNE E GOYETTE, 2004), a mina de Araxá tem o corte mínimo de 2% (FO et al., 1993), a porcentagem relativamente alta do corte mínimo na mina de Araxá se explica pelo fato da média de Nb_2O_5 alcançar valores de 3%, não necessitando maior aproveitamento de minérios com menor teor de Nb que são descartados. Deve-se notar, entretanto, que os minérios descartados ainda têm valor econômico, podendo ser beneficiados para retirada de outras matérias-primas, ou utilizando a planta de beneficiamento de menores teores de Nb_2O_5 como a de Niobec.

A moagem do minério terá como objetivo a redução da granulometria do minério para os processos seguintes de separação magnética e deslamagem. Mesmo sendo uma operação simples, tanto a moagem quanto a separação por peneira ou por ciclone classificador devem ser feitas de maneira eficiente, isso ocorre porque o grão deve estar

acima de 10 μm para não atrapalhar na flotação. Como exemplo, a mina de Niobec perde 18% do peso e 15% de pirocloro ao eliminar partículas menores que 9 μm . Na mina de Araxá 12% do peso é perdido juntamente com 5 a 7% de Nb_2O_5 , em Catalão, entretanto, a perda se mostra muito pequena, reduzindo 16% do peso e apenas 0,7% de redução de nióbio. Recomenda-se, portanto, uma moagem e uma classificação mais eficiente, não reduzindo demais o tamanho do grão.

A deslamagem é o processo intermediário para a seleção do minério que irá seguir, retirando os grãos menores que 10 μm para não influenciarem negativamente na flotação. Deve-se notar, entretanto, que na mina de Araxá e de Catalão retiram os grãos menores que 5 μm , enquanto a mina de Niobec retira os grãos menores que 10 μm . Dessa forma, recomenda-se pesquisar o tamanho mínimo do grão que irá influenciar na flotação e aplicá-lo no processo de deslamagem, para que a perda de Nióbio seja reduzida.

Na etapa de flotação, Gibson et al. (2015), após realizar a revisão do processo nas minas de Araxá, Catalão e Niobec, determinou alguns pontos em comum como: todas as operações focam em retirar os minerais silicatos, sendo por meio da flotação direta no caso de Araxá ou por uma pré-flotação nas outras duas minas; e a flotação de pirocloro ocorre utilizando um coletor de amina com uma diminuição progressiva do pH.

Visando aumentar a concentração final, Gibson et al. (2015) determina alguns problemas a serem resolvidos: perda de nióbio durante as pré-flotações de silicatos ou da calcita; consumo elevado de reagente caros (como o ácido oxálico); e circuitos complicados que visam uma troca brusca entre pH ácidos e básicos (como por exemplo na mina de Niobec para retirar a pirita) levando a necessidade de mais estágios de limpeza.

AGRADECIMENTO

Agradecimento especial ao Laboratório de Ensaios Mecânico e Metalúrgicos – LABEMM e ao Instituto Federal Catarinense Campus Luzerna.

O trabalho foi fomentado pelo CNPQ por meio do Edital PIBITI 12/2019.

REFERÊNCIAS

ALVES, L. P. **Implantação de coluna de flotação no Laboratório de Tratamento de Minérios do CEFET/MG, Unidade Araxá e realização de estudo exploratório [monografia]**. Araxá: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2015.

AQUINO, J. A.; OLIVEIRA, M. L. M. **Aspectos Relevantes das Colunas de Flotação**. XXI ENTMMME. Rio Grande do Norte, 2006.

ASSIS, V. F. De. **Uso de dispersante nas etapas de concentração de nióbio**. Especialização em tratamento de minérios. Universidade Federal de Goiás. Catalão - GO. 2014

CRISÓSTOMO, Rejane Cristina. **A separação magnética de minérios de ferro no Brasil: uma revisão**. 2015.

DUFRESNE, Claude; GOYETTE, Ghislain. The production of ferroniobium at the Niobec mine. In: **International Symposium on Niobium 2001**. 2001. p. 29-35.

FO, O. de Souza Paraiso; DE FUCCIO JR, Rafael; BETZ, E. W. **Mining, Ore preparation and niobium-based materials production at Araxá**, Brazil. High Temperature Materials and Processes, v. 11, n. 1-4, p. 119-138, 1993.

GAGGIATO, Vitor. **TRATAMENTO DE MINÉRIOS: CONCEITOS, COMUNIÇÃO, BRITAGEM E MOAGEM**. Disponível em: <https://www.infrabrasil.net.br/tratamento-de-minerios/#:~:text=H%C3%A1%20diversos%20tipos%20de%20britadores,britador%C3%B4nico>. Acesso em: 04 jan. 2021.

GUIMARÃES, Valdir Alves. **Influência da taxa de resfriamento nas propriedades mecânicas e no micromecanismo de fratura de um aço microligado com nióbio e titânio**. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas; 1997, 157p. 1997. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado).

GUPTA, Ashok; YAN, Denis S. **Mineral processing design and operations: an introduction**. Elsevier, 2016.

JUNIOR, R. F. P. **Nióbio**. Economia Mineral do Brasil. 2009.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. **Tratamento de Minérios**. Rio de Janeiro, CETEM/MCT. 4ª ed. 2004.

MOGNON, José Lucas. et. al. **Mini-hidrociclones aplicados ao sistema de controle de sólidos na perfuração de poços de petróleo**. 2015.

OLIVEIRA, José Farias de. **Flotação**. 2007

ROSSITTI, S. M. **Efeito do nióbio na microestrutura e nas propriedades mecânicas do aço inoxidável superduplex fundido SEW 410 W. Nr. 1.4517**. 2000. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado)–Interunidades em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SANT'AGOSTINO, Lilia Mascarenhas. **Caracterização tecnológica de um depósito mineral-um estudo de caso: o nióbio de Catalão I, Goiás**. 1996. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SANTANA, R. C. **Efeito da Altura da Coluna de Flotação de Minério Fosfático em Diferentes Granulometrias**. Tese de Doutorado. PPG-EQ/UFU-Uberlândia/MG, 2011, 192 p.

SILVA, L. G. O. **Nióbio: Mercado Nacional e Internacional**. Dissertação de mestrado - UNICAMP. Campinas - SP. 1994.

TEIXEIRA, L.B. **Nióbio - monopólio brasileiro**. UOL, Curitiba. 2019. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2019/06/28/niobio-comercio-limitado-monopolio.htm>.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acelerômetro 122, 127, 131, 132, 134, 136

Aquecimento 9, 10, 11, 35, 48, 49, 56, 70, 71

B

Baja 22, 23, 24, 26, 32, 33

Balance 22, 23, 27, 28, 29, 30, 99

Beneficiamento 80, 106, 108, 109, 110, 116, 117

Bombas 13, 34, 37, 39, 43, 47

Braço robótico 100, 101, 104, 105

C

Características físicas 1

Carro 48, 49, 50, 51, 52, 53, 55, 56

Casca de arroz 57, 58

Ciclo de vida 95

Colagem 1, 2, 4, 5, 7, 8, 92, 93

D

Deslamagem 106, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 116, 117, 118

Deslocamentos 131

E

Efeito estufa 49, 57

Energia elétrica 34, 36, 37, 40

Energia mecânica 34, 36, 37, 38, 40

Energia potencial 34, 36, 37

F

Flotação 106, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119

Fotogrametria 131

Freios 22, 23, 24, 25, 27

Frequência natural 131, 132, 134, 136, 137, 139, 141

H

Hidrovia 120, 121, 124, 129

I

Interface háptica 81, 82, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 97, 98

L

Leito fluidizado 57, 58

M

Métodos de secagens 65

Mistura 57, 58, 116

Moagem 106, 108, 109, 110, 111, 112, 117, 118, 119

N

Nióbio 106, 107, 108, 109, 110, 113, 115, 118, 119

O

Off road 22, 23

P

Painel compensado 1, 2

Película térmica 48, 49, 55

R

Resina poliuretana 1, 2, 3, 7

S

Secadores 65, 72, 74, 75

Segurança da navegação 120, 129, 130

Sensor de cor 100, 101, 102, 104

Separação 100, 104, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 117, 118

T

Temperatura 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 14, 17, 19, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 67, 68, 69, 70, 71, 73, 75, 107

Termorretificação 1, 2, 4, 5, 7, 8

Teste controle 81

Turbinas 14, 34, 38

U

Umidade 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 48, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 65, 66, 67, 69, 70, 71, 73, 74, 75

V

Variação 22, 23, 26, 27, 68, 104

Velocidade 18, 35, 38, 39, 45, 50, 57, 58, 64, 68, 69, 70, 85, 89, 103, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 136

Engenharia Mecânica:

A Influência de Máquinas, Ferramentas
e Motores no Cotidiano do Homem

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

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

 **Atena**
Editora

Ano 2021