



Engenharia Mecânica: Inovações Tecnológicas de Elevado Valor

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

Atena
Editora
Ano 2021



Engenharia Mecânica: Inovações Tecnológicas de Elevado Valor

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. Liliansi 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: inovações tecnológicas de elevado valor

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Flávia Roberta Barão
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: inovações tecnológicas de elevado valor / 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 978-65-5706-782-6
DOI 10.22533/at.ed.826210902

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
THICKNESS CONTROL OF COATINGS DEPOSITED BY CO ₂ LASER FOR AERONAUTICAL TURBINE BLADES	
Jéssica Fernanda de Azevedo	
Viviane Teleginski Mazur	
Daniele Cristina Chagas	
Júlio César Gomes Santos	
Maurício Marlon Mazur	
Getúlio de Vasconcelos	
DOI 10.22533/at.ed.8262109021	
CAPÍTULO 2	8
CORRELATION BETWEEN THE TOPOGRAPHY OF THE TOOL'S WORN SURFACE AND THE RESULTING WORKPIECE ROUGHNESS IN THE MILLING PROCESS OF THE INCONEL 718	
Leonardo Rosa Ribeiro da Silva	
André Rezende de Figueiredo Oliveira	
Álisson Rocha Machado	
DOI 10.22533/at.ed.8262109022	
CAPÍTULO 3	22
LEVANTAMENTO DOS COEFICIENTES DA EQUAÇÃO DE TAYLOR PARA FORÇA DE USINAGEM EM TORNEAMENTO DE INCONEL COM PCBN	
Leonardo Rosa Ribeiro da Silva	
Felipe dos Anjos Rodrigues Campos	
DOI 10.22533/at.ed.8262109023	
CAPÍTULO 4	36
CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, MECÂNICA, TÉRMICA E MICROESTRUTURAL DAS FIBRAS DE TIMBÓ-AÇU	
José Maria Braga Pinto	
Douglas Santos Silva	
Roberto Tetsuo Fujiyama	
DOI 10.22533/at.ed.8262109024	
CAPÍTULO 5	52
“FAILURE ANALYSIS OF A 3102 ALUMINUM TUBE OF AN AUTOMOTIVE AIR CONDITIONING CONDENSER”	
Miguel Angel Neri Flores	
DOI 10.22533/at.ed.8262109025	
SOBRE OS ORGANIZADORES	66
ÍNDICE REMISSIVO	67

CAPÍTULO 4

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, MECÂNICA, TÉRMICA E MICROESTRUTURAL DAS FIBRAS DE TIMBÓ-AÇU

Data de aceite: 04/02/2021

Data de submissão: 26/10/2020

José Maria Braga Pinto

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM)
Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/7538623816010352>

Douglas Santos Silva

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM)
Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/6353740518648585>

Roberto Tetsuo Fujiyama

Universidade Federal do Pará, PRODERNA
Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/3165747089941318>

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi determinar as propriedades físicas, mecânicas, térmicas e microestruturais de fibras extraídas de uma espécie vegetal natural da floresta tropical da Amazônia, popularmente denominada de cipó timbó-açu (*Heteropsis Jenmanii*). Apesar de amplamente utilizadas em artesanatos, as fibras de timbó-açu foram pouco exploradas pela academia, particularmente, como material de reforço em compósitos. Sendo assim, as fibras foram preparadas manualmente a partir dos cipós de timbó-açu, a preparação das fibras foi

feita de forma manual por processo de bipartição de cipós previamente selecionados que apresentassem distâncias maiores que 30 cm entre os nós. A massa específica foi determinada por picnometria, seguindo a norma ASTM D 854: 2014 e o valor encontrado foi de $1,54 \pm 0,01$ g/cm³, o teor de umidade foi determinado com base na norma ASTM D 3030: 2011 e o valor encontrado foi de $8,78 \pm 0,26$ %, as fibras foram ensaiadas conforme recomendação da norma ASTM 3822: 2014 e apresentaram resistência à tração de 433, $96 \pm 126,65$ MPa e módulo de elasticidade de $5,63 \pm 1,79$ GPa, as fibras tiveram a avaliação da superfície de fratura por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e o comportamento quando submetidos à variação de temperatura foi determinado por termogravimetria (TGA/DTG) e calorimetria diferencial exploratória (DSC), feito isso, as fibras de timbó-açu tiveram os seus resultados comparados com outros trabalhos sobre as propriedades físicas e mecânicas de outras fibras, concluindo que essas fibras possuem potencial físico e mecânico satisfatório.

PALAVRAS - CHAVE: Caracterização mecânica e microestrutural; análise térmica; fibra de timbó-açu.

PHYSICAL, MECHANICAL, THERMAL AND MICROSTRUCTURAL CHARACTERIZATION OF TIMBÓ-AÇU FIBERS

ABSTRACT: The objective of this work was to determine the physical, mechanical, thermal and microstructural properties of fibers extracted from a natural plant species from the Amazon rainforest, popularly called timbo-açu vine

(*Heteropsis Jenmanii*). Despite being widely used in handicrafts, timbó-açu fibers were little explored by the academy, particularly as reinforcement material in composites. Thus, the fibers were prepared manually from the timbó-açu vines, the preparation of the fibers was carried out manually by the bipartition process of previously selected vines that had distances greater than 30 cm between the nodes. The specific mass was determined by pycnometry, following the standard ASTM D 854: 2014 and the value found was $1,54 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$, the moisture content was determined based on the ASTM D 3030: 2011 standard and the value found was $8,78 \pm 0,26 \%$, the fibers were tested according to the recommendation of the ASTM 3822: 2014 standard and presented a tensile strength of $433,96 \pm 126,65 \text{ MPa}$ and an elastic modulus of $5,63 \pm 1,79 \text{ GPa}$, the fibers had the fracture surface evaluation by scanning electron microscopy (SEM) and the behavior when subjected to temperature variation was determined by thermogravimetry (TGA/DTG) and differential scanning calorimetry (DSC), this done, the timbó-açu fibers had their results compared with other studies on the physical and mechanical properties of other fibers, concluding that these fibers have satisfactory physical and mechanical potential.

KEYWORDS: Mechanical and microstructural characterization; thermal analysis; timbó-açu fiber.

1 | INTRODUÇÃO

O interesse no uso de fibras naturais vegetais como reforço em matrizes poliméricas é crescente. Pressões econômicas e ambientais aumentam o uso de fibras de plantas, como um substituto para as fibras sintéticas. As vantagens de se utilizar essas fibras se encontram em seu baixo custo, renovabilidade, biodegradabilidade, baixa toxicidade, abundância e sua atrativa resistência e rigidez específica (SÉBE et al., 2000).

O uso de fibras naturais de origem vegetal em compósitos tem recebido de algumas empresas, especial atenção, pois envolve aspectos ambientais, sociais e econômicos que são relevantes na relação destas com a sociedade (LEVY NETO e PARDINI, 2006), além do que, os consumidores estão mais conscientes na escolha de bens e serviços a serem adquiridos, o que obriga as empresas buscar produtos ecologicamente corretos para atender à política do desenvolvimento sustentável (Instituto Akatu).

Potenciais apresentados pelo Brasil, como ser um dos países com maior biomassa do mundo e maior extensão territorial cultivável, devem ser levados em consideração devido à grande possibilidade de descobertas de novas fibras com propriedades atraentes (MARINELLI et al., 2008). Os estudos na área de materiais compósitos na região amazônica ainda são escassos se comparados às outras regiões do país, mesmo apresentando grande potencial no cultivo de fibras naturais.

A fibra vegetal objeto do presente trabalho não pertence ao grupo das fibras tradicionalmente cultivadas para este fim. De acordo com sua utilização de suas fibras, é classificada como uma planta secundária. (FARUK et al, 2012), as fibras, são oriundas dos cipós das florestas nativas e sua extração deve obedecer aos requisitos de manejo

sustentável.

O cipó timbó-açu é definido como uma planta de hábito hemiepífita secundário e, ao contrário da epífita verdadeira, germinam no solo da floresta e, quando as mudas atingem um potencial de crescimento, sobem nos troncos para se instalarem nas copas das árvores, mandando raízes aéreas em direção ao solo. O timbó-açu pertence ao gênero *Heteropsis* e como outros do gênero são abundantes no dossel da vegetação em florestas tropicais.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, o Museu Paraense Emílio Goeldi, o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente - IBAMA, as universidades, os institutos federais, os órgãos estaduais, entre outros, têm-se dedicado, ainda que de forma incipiente, à formação de uma base de conhecimento sobre os produtos não-madeireiros, especificamente os cipós, de um lado, para dar suporte técnico-econômico às comunidades com longo histórico de exploração predatória, por outro, para atender a política da sustentabilidade ambiental, que é, de fato, o melhor direcionamento para a manutenção do equilíbrio do planeta.

O Estado do Amapá, constatando a extração descontrolada dos cipós utilizados para confecção de móveis e demais produtos artesanais demandados pelo sul e sudeste do Brasil e com a escassez comprovada destas espécies nos estados do Pará e Maranhão, saiu na frente, sendo a primeira unidade da federação a organizar e controlar a extração de cipós, através da Lei 0631 de 21 de novembro de 2001. Esta lei dispõe sobre os procedimentos para a extração, transporte e comercialização de espécies de cipós de fibras no estado, de espécie produtora de fibras, os cipós do gênero *heteropsis* (*Araceae*), popularmente conhecidos como cipó-titica e timbó-açu (PEREIRA e GUEDES, 2008).

Com isso, o presente estudo propõe caracterizar de forma física, mecânica, térmica e microestrutural as fibras de timbó-açu, pois nota-se que é cada vez mais necessário falar de meio ambiente e em novas formas de atuação no que se referem a matérias primas renováveis.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

A fibra técnica utilizada para o desenvolvimento deste trabalho, obtida a partir do cipó (raiz aérea) foi adquirida junto aos artesões da cidade de Belém-PA, que segundo informações dadas, foram trazidas do município de Igarapé-açu-PA.

A Figura 1 mostra as imagens do cipó após a extração, em (a) preparação para confecção de utensílio doméstico (vassoura), em (b) cipó após a extração, vista de topo e em (c) vista lateral com e sem casca.



Figura 1: Apresentação do cipó timbó-açu em (a) preparação para confecção de utensílio doméstico (vassoura), em (b) cipó após a extração, vista de topo e em (c) vista lateral com e sem casca.

Atualmente, as fibras de timbó-açu têm uso básico em produtos artesanais e em alguns utensílios domésticos simples como vassouras e cestos. A Figura 2 mostra imagens de produtos confeccionados com as fibras de timbó-açu, que foram retirados de sites das lojas especializadas em fabricação e comercialização ou somente de vendas de produtos artesanais com foco na sustentabilidade ambiental e na valorização do trabalho do homem em seu local de habitação, de maneira que ele não seja obrigado, por razões econômicas, a buscar trabalho nos centros urbanos.



Figura 2: Exemplos da aplicação das fibras de timbó-çu, em (a) cestas artesanais, em (b) cestos, balaios e peneiras, em (c) vassoura rústica e em (d) vassouras artísticas.

2.2 Métodos

Por processo manual, o cipó desprovido da casca, foi cortado em pedaços de 40 cm e por bipartição sucessiva, buscou-se obter fibras de pequenos diâmetros. As fibras produzidas para este trabalho possuem diâmetro médio de 0,40 mm.

A caracterização física, mecânica e térmica das fibras foi feita com a determinação da massa específica, do teor de umidade, da resistência à tração, do módulo de elasticidade, da termogravimetria (TGA/DTG), calorimetria exploratória (DSC) e da caracterização microscópica das superfícies fraturadas.

A massa específica foi determinada por picnometria, seguindo a norma ASTM D 854: 2014. O ensaio foi realizado com auxílio do picnômetro de 50 ml, balança digital com precisão de 0,001 g, capela e duas amostras de 10 g de fibras com comprimento médio de 10 mm.

O teor de umidade foi determinado com base na norma ASTM D 3030: 2011. Foram utilizados os seguintes equipamentos: balança digital com precisão de 0,001 g, forno e Becker de 100 ml.

As amostras tinham aproximadamente 3 g de cada um dos três comprimentos de fibras (5, 10 e 15 mm), com o auxílio da balança, foram determinadas as massas das

amostras naturais, chamadas de massas úmidas e colocadas no forno por um período de 24 horas a uma temperatura de 105 °C. A Figura 3 apresenta amostras das fibras com as massas determinadas em (a) e posicionadas no forno para a estabilização da massa em (b).

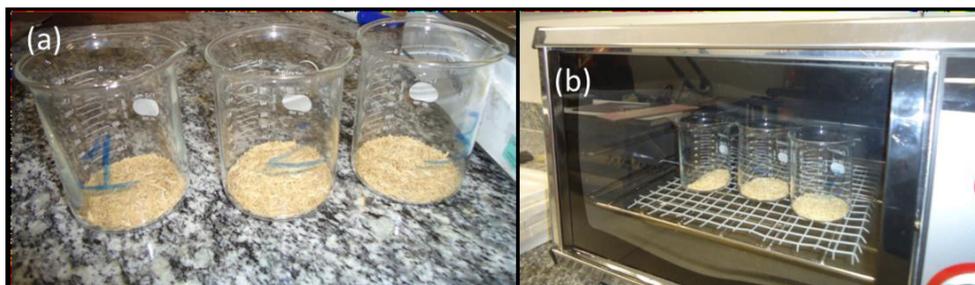


Figura 3: Amostras de fibras de 5, 10 e 15 mm em (a) e as amostras no forno em (b).

As amostras das fibras foram preparadas com suportes de papel KRAFT chamados na literatura de TAB. Os TABs são usados para distribuir uniformemente a carga aplicada na fibra que está sendo ensaiada e para proteger as fibras de danos por ocasião do posicionamento das garras na máquina de ensaio. Os TABs de papel KRAFT (gramatura de 200 g/m²) com as dimensões de 25 mm x 65 mm foram colados com cianoacrilato (Super Bonder da Loctite) nas extremidades do comprimento útil das fibras, conforme recomendação da norma ASTM 3822: 2014. A Figura 4 mostra em (a) as dimensões do TAB e em (b) a fotografia do corpo de prova preparado para ser levado à máquina universal para o ensaio de tração.

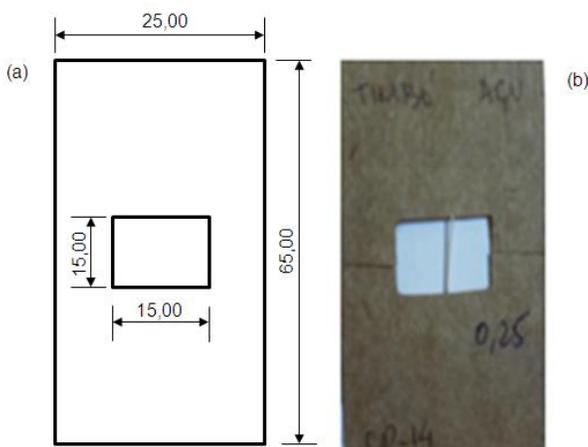


Figura 4: Corpo de prova de fibra para ensaio a tração em (a) forma e dimensões do TAB e em (b) corpo de prova pronto para ensaio à tração.

As fibras foram submetidas ao ensaio mecânico de tração na máquina universal de fabricação KRATOS, com célula de carga de 5 kN e velocidade de deslocamento de 0,5 mm/min.

A análise térmica da fibra foi realizada com ensaios de termogravimetria/termogravimetria derivada (Thermogravimetric Analysis - TGA, Derivative Thermogravimetry - DTG) e calorimetria exploratória diferencial (DSC), as condições de ensaios e as normas utilizadas foram: Calorímetro exploratório diferencial simultâneo marca NETZSCH STA 449F3 JUPTER, temperatura ambiente e umidade relativa de $23,4 \pm 2$ °C e 51 ± 10 %, respectivamente, faixa de temperatura de 20 °C a 550 °C em atmosfera de nitrogênio (inerte) e de 550 °C a 900 °C em atmosfera de oxigênio (oxidante), taxa de aquecimento de 20 °C/min, fluxo dos gases (N_2 e O_2) de 50 ml/min e as normas ASTM D 3418: 2015 e ASTM E 1131: 2014.

3 I RESULTADOS

3.1 Ensaio de tração da fibra de timbó-açu

As principais propriedades físicas (massa específica e teor de umidade) e mecânicas (resistência à tração, módulo de elasticidade e alongamento) da fibra técnica de timbó-açu determinadas através dos ensaios estão apresentadas na Tabela 1. As amostras utilizadas foram de fibras *in natura* e nas condições ambientais da cidade de Belém-PA.

Fibra	Resistência à Tração (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Alongamento (mm)	Diâmetro Médio (mm)	Massa Específica (g/cm^3)	Teor de Umidade (%)
Timbó-açu	$433,96 \pm 126,65$	$5,63 \pm 1,79$	$1,46 \pm 0,31$	$0,40 \pm 0,09$	$1,54 \pm 0,01$	$8,78 \pm 0,26$

Tabela 1: Valores médios e desvios padrão das propriedades físicas e mecânicas das fibras de timbó-açu.

As propriedades físicas e mecânicas obtidas das fibras de timbó-açu, apresentaram valores médios comparáveis às propriedades das fibras tradicionais, cujos valores são encontrados na literatura.

COSTA (2012) avaliou o teor de umidade das fibras de sisal (folha) em $13,1 \pm 0,5$ % e de bambu (caule) em $12,0 \pm 0,5$ %. GEHLEN (2014) determinou para as fibras de açaí e curauá, valores de $6,4 \pm 0,3$ % e $5,3 \pm 0,2$ %, respectivamente.

O módulo de elasticidade do timbó-açu é inferior aos valores das fibras de caule, por exemplo, juta, rami, bambu e linho e equivalente às fibras de folhas e de fruto, como, abacaxi e banana. A Tabela 2 apresenta estes dados.

Fibra	Resistência à Tração (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Deformação (%)	Massa Específica (g/cm ³)	Autores
Abacaxi	126,60	4,40	2,20	1,07	ARIB et al (2006)
Bambu	501,06 ± 97,61	-	6,81 ± 3,08	1,35 ± 0,01	COSTA (2012)
Banana	161,80 ± 789,30	7,10 - 9,40	2,00 - 3,34	0,72 - 0,88	MERLINI et al (2011)
Juta	393,00 - 800,00	13,00 - 55,00	1,16 - 1,50	1,30	MOHANTY. et al (2000)
Linho	345,00 - 2000,00	15,00 - 80,00	1,20 - 3,20	1,50	SRIDHAN et al (1982)
Rami	400,00 - 938,00	61,00 - 128,00	1,20 - 3,80	1,50	MOHANTY. et al (2005)
Sisal	453,62 ± 91,98	-	5,50 ± 2,02	1,42 ± 0,01	COSTA (2012)

Tabela 2: Propriedades físicas e mecânicas de fibras lignocelulósicas encontradas na literatura.

Carvalho (2005) pesquisando a fibra de maior produção do Brasil, o sisal, apresentou resultados em curvas de força versus deslocamento que mostraram a grande variabilidade desta propriedade, não só quantitativamente, como na forma apresentada pelas curvas de amostras submetidas aos esforços de tração.

A explicação para a variação dos valores das propriedades mecânicas tem como base os parâmetros estruturais das fibras, como variação no número e volume das células e no número de defeitos que podem conter (TOMCZAK, 2010).

3.2 Termogravimetria (TGA/DTG) e calorimetria exploratória (DSC) da fibra de timbó-açu

O método termogravimétrico (TG) é a técnica na qual a perda de massa de uma substância, em porcentagem, é medida em função da temperatura. As curvas DTG correspondem à derivada primeira das curvas TG e apresentam a variação da massa em relação ao tempo, registrada em função da temperatura (PEREIRA et al., 2013).

O conhecimento do comportamento térmico das fibras vegetais é fundamental para uma eficaz aplicação tecnológica, já que em muitos processos industriais utilizam-se variações de temperatura na confecção de produtos à base de matéria prima vegetal. É necessário conhecer a faixa de temperatura que implicará na degradação do material vegetal (FONSECA, 2012).

A curva termogravimétrica (TGA) da fibra de timbó-açu mostrada na Figura 5 e a

curva da primeira derivada DTG na Figura 6 mostram que entre a temperatura ambiente e 122 °C apresenta perda de 8,94 % em atmosfera de nitrogênio, correspondente a eliminação de água, valor que é coerente com o teor de umidade determinado pela metodologia da diferença de massa que foi de $8,78 \pm 0,26$ %. Outra perda ocorreu entre 288,1 °C e 582 °C, com quase 90 %, correspondendo à degradação da fibra com dois estágios, sendo que em 345 °C a velocidade da perda de massa é máxima. No primeiro estágio, a degradação é maior da hemicelulose, no estágio seguinte a degradação é referente à celulose e na sequência a lignina.

NAVARRO (2011), citando HAIPING YANG et al (2007) que pesquisou o ciclo de pirólise dos componentes físicos da madeira, descreve a análise térmica por TGA para a hemicelulose, celulose e lignina afirmando que este comportamento na degradação destes componentes, possivelmente deve-se as diferenças na sua estrutura e natureza química.

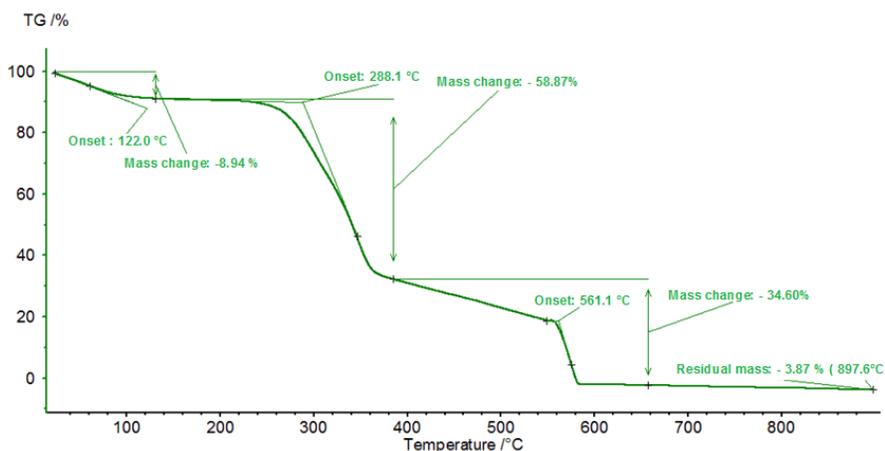


Figura 5: Curva termogravimétrica (TGA) da fibra de timbó-açu.

A Figura 6 mostra a curva termogravimétrica (TGA) e a curva da primeira derivada (DTG) sobreposta que a complementa, pois o gráfico DTG indica picos dos valores de temperatura, onde a taxa do evento, por exemplo, a degradação é máxima, o gráfico DTG indica ainda que a degradação ocorreu em três estágios.

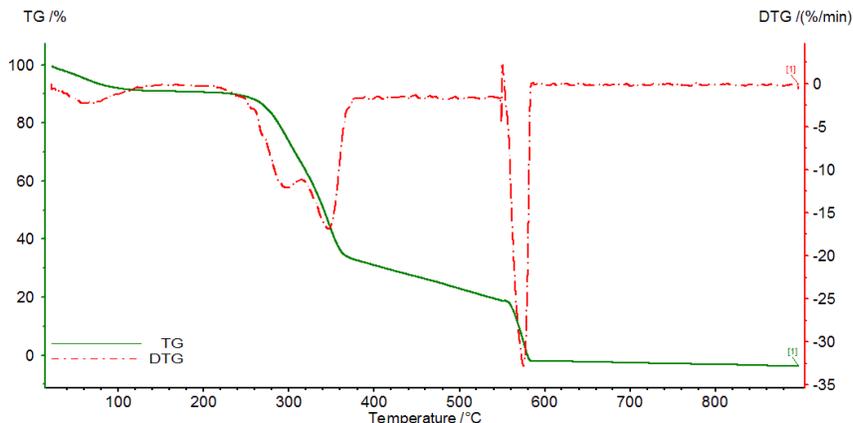


Figura 6: Curvas termogravimétricas (TGA/DTG) da fibra de timbó-çu.

Com relação ao teor de umidade, RAZERA (2006) determinou para fibras de bananeira o teor de umidade de $9,2 \pm 0,5$ % e COSTA (2012) avaliou o teor de umidade das fibras de sisal (folha) em $13,1 \pm 0,5$ % e de bambu (caule) em $12,0 \pm 0,5$ %. KAMIYA (2010) comprovou que o teor de umidade da fibra reflete nas propriedades mecânicas do compósito de matriz polimérica, pois o aumento do teor de umidade do compósito, em parte, pela higroscopicidade das fibras vegetais, reduz a deformação, tenacidade e resistência à flexão.

A Figura 7 apresenta a curva DSC da fibra de timbó-çu em que mostra os picos endotérmicos e exotérmicos até 500 °C, pois acima desta temperatura, conforme mostrado no gráfico TGA, não ocorre nenhum evento significativo.

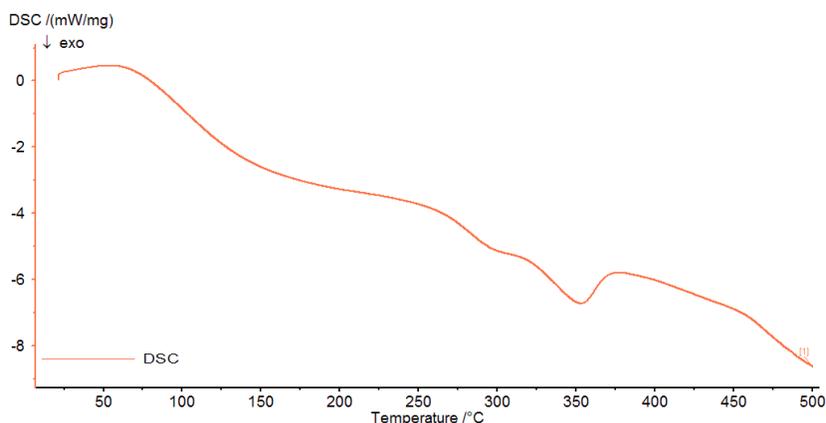


Figura 7: Curva DSC da fibra de timbó-çu.

Pelos termogramas das Figuras 5 e 6, é possível ver que a fibra de timbó-açu pode ser processada à temperatura inferior a 288,1°C, pois acima desta temperatura a fibra começa o processo de degradação, coerente com a degradação de outras fibras mostradas na literatura.

3.3 Caracterização microestrutural da fibra de timbó-açu

Amostras do cipó e das fibras de timbó-açu foram levadas ao microscópio óptico e ao microscópio eletrônico de varredura (MEV) para a caracterização, estas ferramentas foram bastante eficazes, aliadas à simplicidade na preparação das amostras. O cipó foi seccionado manualmente com o auxílio de uma lâmina e as amostras com corte na seção transversal e longitudinal foram levadas ao microscópio óptico. A Figura 8 mostra as imagens obtidas pelo microscópio óptico physis, que foram obtidas com amostras retiradas de forma transversal e longitudinal.

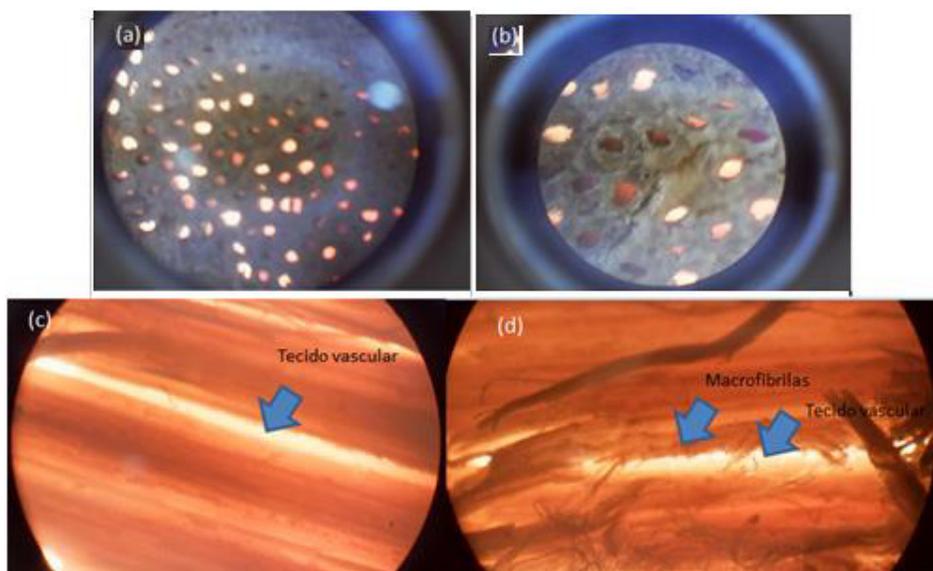


Figura 8: Imagens do cipó bruto no microscópio óptico em (a) e (b) superfície da seção transversal e em (c) e (d) superfície da seção longitudinal do cipó de timbó-açu.

As imagens 8(a) e 8(b) mostram a seção transversal com aumento de 40 e 100 vezes, respectivamente, e as imagens 8(c) e 8(d) mostram a seção longitudinal do cipó, com aumento de 40 e 100 vezes, respectivamente. Nestas imagens é possível ver as macrofibrilas e a região vascular formada pelo xilema e floema que são os elementos que permitem o transporte de água e nutrientes entre regiões da planta. Estas estruturas mostradas podem ser do caule, mas, podem ser também das raízes aéreas das plantas hemiepífitas, as quais pertencem o gênero *Heteropsis*.

As amostras tiveram suas superfícies analisadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), usando-se elétrons secundários e uma aceleração do feixe de elétrons entre 15-20 kV. A Figura 9 apresenta a superfície longitudinal do cipó antes do processo de desfibramento. Observa-se que a superfície se apresenta recoberta por células parenquimáticas.

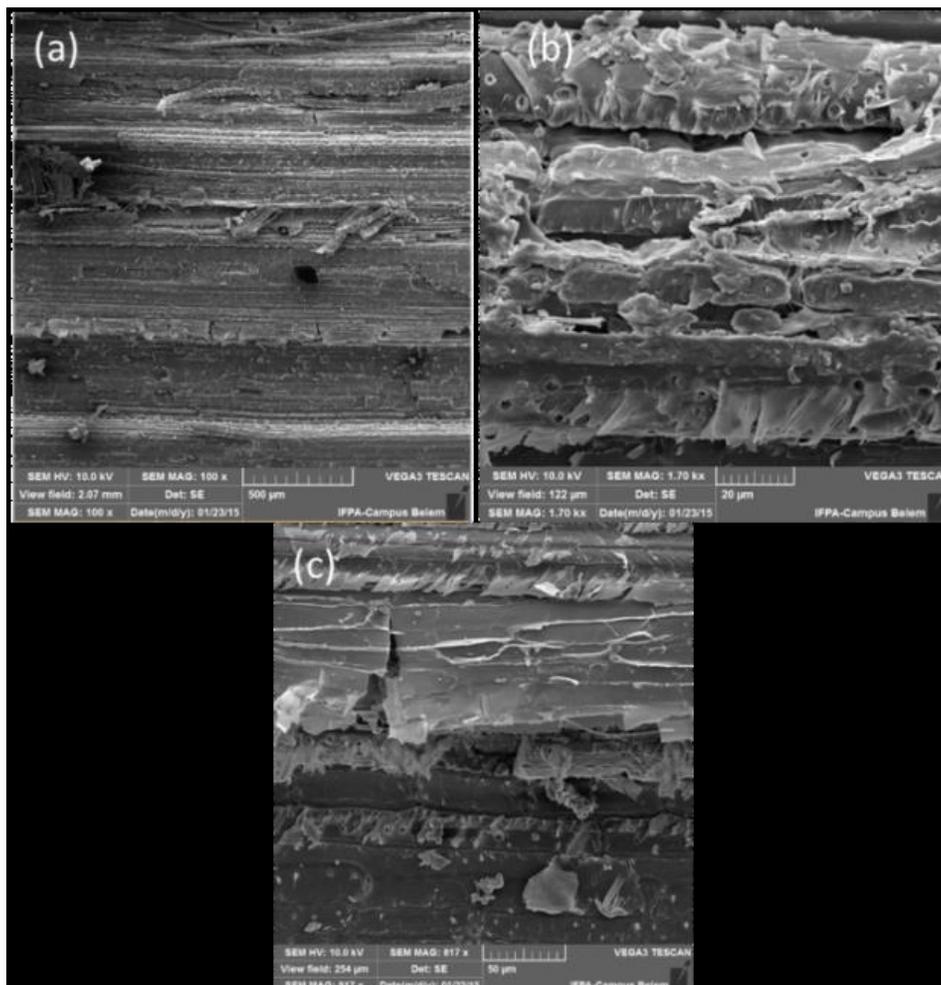


Figura 9: Micrografia feita através de microscópio eletrônico de varredura em (a), (b) e (c) a superfície da seção do corte longitudinal do cipó bruto de timbó-açu.

A Figura 10 mostra a imagem da micrografia feita através de microscópio eletrônico de varredura de fibras timbó-açu não tratadas.

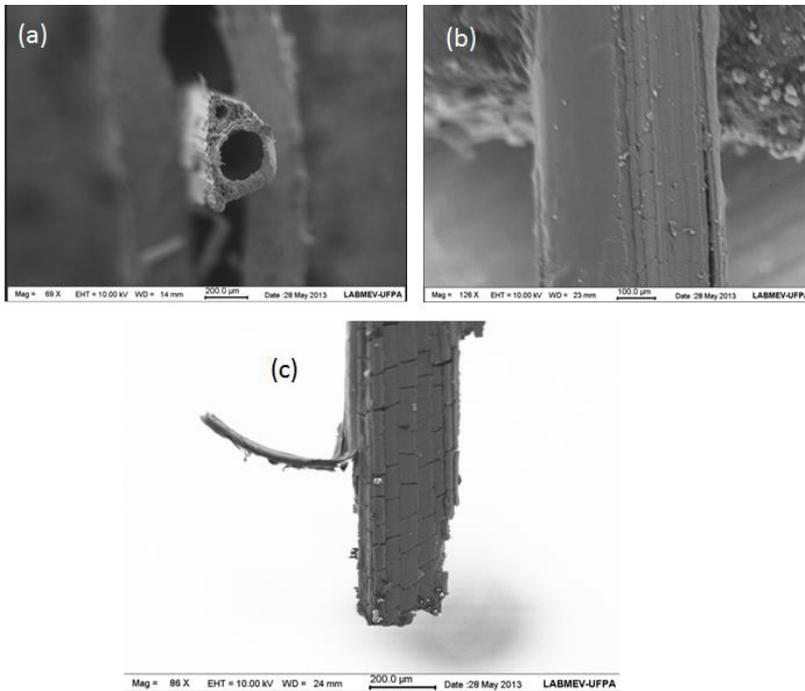


Figura 10: Micrografia feita através de microscópio eletrônico de varredura de fibras timbó-
açu não tratadas, em (a) seção transversal da amostra fraturada, em (b) lateral da fibra não
submetida a esforço e em (c) lateral da fibra fraturada submetida à tração.

A Figura 10(a) mostra a imagem da seção transversal da região fraturada da fibra. A denominação “fibra” usada aqui, é na verdade uma macrofibrila que é formada por um conjunto de microfibrilas. As regiões “ocas” em forma de tubo da imagem fazem parte do tecido vascular do vegetal que é responsável pelo transporte da água e nutrientes. O vazio de maior seção pertence ao xilema (sistema vascular que transporta a seiva bruta) e o de menor seção faz parte do floema (sistema que transporta a seiva elaborada). O xilema, ou lenho, é responsável pela condução de água e sais minerais - seiva bruta - das raízes até o ápice da planta. É constituído por células mortas impregnadas por lignina e reforçadas com celulose e o floema ou líber, é responsável pela condução da seiva elaborada das folhas às outras regiões da planta. Esta é produzida graças à água e sais minerais que o xilema transportou até as folhas, que são usados na fotossíntese, produzindo os compostos orgânicos que a constituem.

A Figura 10(b) pertence à região intermediária não fraturada da fibra que apresenta uma superfície muito regular e lisa, com pontos brancos que representam vestígios de lignina, que é um elemento de proteção do vegetal.

A Figura 10(c) apresenta claramente o rompimento individual das microfibrilas para definir a ruptura total da amostra.

4 | CONCLUSÃO

A caracterização física da fibra de timbó-açu apresentou massa específica de $1,54 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$ e teor de umidade de $8,78 \pm 0,26 \%$. O valor da massa específica é superior aos valores apresentados no referencial teórico, como por exemplo, fibras de sisal, linho, juta e rami. O teor de umidade é superior aos das fibras de açaí e curauá e inferior aos valores das fibras de sisal e bambu.

A caracterização mecânica da fibra de timbó-açu apresentou para resistência máxima à tração o valor de $433,96 \pm 126,65 \text{ MPa}$ e para módulo de elasticidade $5,63 \pm 1,79 \text{ GPa}$. A resistência à tração é semelhante e a rigidez é inferior aos valores das fibras vegetais mostradas neste trabalho. Na caracterização térmica, a fibra de timbó-açu, aos $345 \text{ }^\circ\text{C}$ apresentou o pico de degradação máxima de massa.

A análise das fibras feita por microscopia eletrônica de varredura (MEV) demonstrou de uma maneira geral que as fibras de natureza vegetal apresentam uma alta variabilidade de suas propriedades em função das dimensões, formas e diâmetros, sejam fibras da mesma espécie ou outras fibras vegetais. Isso ocorre porque as fibras vegetais em geral são de natureza anisotrópica, ou seja, suas propriedades mudam com relação a sua forma ou direção. Influenciando diretamente as propriedades dos materiais por elas (fibras vegetais) produzidas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal do Pará Campus Belém e Abaetetuba e ao apoio financeiro da CAPES, CNPq e Pró Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal do Pará.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 854. **Standard Test Method for Specific Gravity of Soil by Water Pycnometer**. Philadelphia: ASTM, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 3030. **Standard Test Method for Volatile Matter (Including Water) of Vinyl Chloride Resins**. Philadelphia: ASTM, 2011.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 3418. **Standard Test Method for Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Scanning Calorimetry**. Philadelphia: ASTM, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 3822. **Standard Test Method for Tensile Properties of Single Textile Fibers**. Philadelphia: ASTM, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E 1131. **Standard Test Method for Compositional Analysis by Thermogravimetry**. Philadelphia: ASTM, 2014.

- CARVALHO, R. F. **Compósitos de Fibras de Sisal para Uso em Reforço de Estruturas de Madeira**. 2005. 133f. Tese (doutorado em ciência e engenharia de materiais). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. São Paulo. 2005.
- COSTA, D.S. **Caracterização de Materiais Compósitos de Matriz Poliéster e Fibras de Bambu, Sisal e Vidro e Híbridos Bambu/Sisal, Bambu/Vidro e Sisal/Vidro**. 2012.104f. Dissertação (mestrado em engenharia mecânica). Instituto de Tecnologia. Universidade Federal do Pará, Pará. 2012.
- FARUK, O.; BLEZKI, A. K.; FINK, H.P.; SAIN, M. **Biocomposites Reinforced With Natural Fibers: 2000 - 2010**. Progressin Polymer Science, n. 37, p. 1552 - 1596, 2012.
- FONSECA, A. S. **Caracterização Tecnológica das Fibras do Estirpe de Desmoncus Polyacanthos Mart**. 2012. 117f. Dissertação (mestrado em ciência e tecnologia da madeira). Universidade Federal de Lavras. Minas Gerais. 2012.
- GEHLEN, L. R. (2014) **Efeito da Utilização de Fibras Lignocelulósicas (Açaí e Curauá) em Compósitos com Matriz de Resina Poliéster Insaturado**. Dissertação (mestrado em engenharia e ciências dos materiais) – Curitiba - PR, Universidade Federal do Paraná - UFPR, 104p.
- INSTITUTO AKATU. **Pesquisa do SPC Indica Evolução do Consumo Consciente no Brasil**. Disponível em [http:// akatu.org.br/Homolog/tags/consumo-consciente](http://akatu.org.br/Homolog/tags/consumo-consciente). Acesso 21 out 2020.
- KAMIYA, I. K.; FORNARI JUNIOR, C. C. M. **Estudo das Propriedades Mecânicas com Relação à Umidade da Fibra Vegetal Utilizada para Construção de Compósitos Poliméricos**. VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Campina Grande. Paraíba. 2010.
- LEVY NETO, F., PARDINI, L.C. **Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia**. 1ed. São Paulo: Editora Blücher, 2006. 313p.
- MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D.; BRANCIFORTI, M. C.; KOBAYASHI, M.; NOBRE, A. D. **Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: Uma Contribuição para a Sustentabilidade Amazônica**. Polímeros: Ciência e Tecnologia. v. 18, n. 2, p. 92-99, 2008.
- NAVARRO, C.I. T. **Caracterização Microestrutural das Fibras Naturais: Etlingera Elatior, Costus e Helicônia Bihai**. 2011. F. Dissertação (mestrado em engenharia de materiais e de processos químicos e metalúrgicos). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2011.
- PEREIRA, J. F.; GUEDES, M. C. **Crescimento de Raízes e Sanidade de Cipó-titica (Heteropsis flexuosa Buting) Submetido à Exploração no Estado do Amapá**. I Seminário do Projeto Kamukaia. 2008. Rio Branco, Acre. Lúcia Helena de oliveira Wadt. 2008.
- PEREIRA, B. L.; CARNEIRO, A. D.; CARVALHO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; MELO, I. C.; OLIVEIRA, A. C. **Estudo da Degradação Térmica da Madeira de Eucalyptus através de Termogravimetria e Calorimetria**. Rev. Árvore, v.37, n.3, 2013.
- RAZERA, I. A. T. **Fibras Lignocelulósicas como Agente de Reforço de Compósitos de Matriz Fenólica e Lignofenólica**. 2006. 189f. Tese (doutorado em ciências). Universidade São Paulo. São Carlos. São Paulo. 2006.

SÉBE, G., CETIN, N. S., HILL, C. A. S., HUGHES, M. (2000) **RTM Hemp Fibre- reinforced Polyester Composites**. Applied Composite Materials, 7: 341-349.

TOMCZAK, F. **Estudo sobre a Estrutura e Propriedades de Fibras de Coco e Curauá do Brasil**. 2010. 150f. Tese (doutorado em engenharia e ciência dos materiais). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. Paraná. 2010.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Análise 5, 25, 26, 36, 42, 44, 49

Ar Condicionado 52

C

Caracterização mecânica 36, 49

Condensador 52, 54, 55, 56, 58, 59, 60

Cutting Forces 9

D

Deposição 2

E

Equação de Taylor 6, 22, 23, 25, 28, 29

F

Falha 52

I

Inconel 718 6, 8, 9, 10, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 29

L

Laser 6, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

O

Otimização 22, 24, 25, 27, 30

P

Palhetas 2

Penalidade Interna 22, 24, 27, 30

S

Surface topography 8

T

TBC 1, 2

Térmica 6, 2, 36, 38, 40, 42, 44, 49, 50

Timbó-Açu 6, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49

Tool Wear 8, 9, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22

Turbina 2

V

Variável Métrica 22, 24

Engenharia Mecânica: Inovações Tecnológicas de Elevado Valor

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Engenharia Mecânica: Inovações Tecnológicas de Elevado Valor

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br