

COLEÇÃO  
**DESAFIOS**  
DAS  
**ENGENHARIAS:**

**ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALÚRGICA**



**HENRIQUE AJUZ HOLZMANN**  
**JOÃO DALLAMUTA**  
(ORGANIZADORES)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021



# COLEÇÃO **DESAFIOS** DAS **ENGENHARIAS:**

**ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALÚRGICA**



**HENRIQUE AJUZ HOLZMANN**  
**JOÃO DALLAMUTA**  
(ORGANIZADORES)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

iStock

**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.

Open access publication by Atena Editora



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

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

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. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso  
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal do Semi-Árido  
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto 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  
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro



Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

#### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo  
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

#### **Conselho Técnico científico**

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

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



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

## Coleção desafios das engenharias: engenharia de materiais e metalúrgica

**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Giovanna Sandrini de Azevedo  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadores:** Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia de materiais e metalúrgica / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-290-3

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.903211207>

1. Engenharia de materiais. 2. Engenharia metalúrgica.  
I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. Título.

CDD 669

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

[contato@atenaeditora.com.br](mailto: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; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

## APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais, se tornou um dos grandes pilares da revolução técnica industrial, principalmente quando se diz a indústria 4.0, devido a necessidade de desenvolvimento de novos materiais, que apresentem melhores características e propriedades físico-químicas. Para obtenção desses novos materiais, muitos processos precisaram de alterações e de novos métodos, exigindo um desprendimento de força elevado nesta área. Grandes empresas e centros de pesquisa investem maciçamente em setores de P&D a fim de tornarem seus produtos e suas tecnologias mais competitivas.

Destaca-se que a área de material compreende três grandes grupos, a dos metais, das cerâmicas e dos polímeros, sendo que cada um deles tem sua importância na geração de tecnologia e no desenvolvimento dos produtos. Aliar os conhecimentos pré-existentes com novas tecnologias é um dos grandes desafios da nova engenharia.

Neste livro são explorados trabalhos teóricos e práticos, relacionados as áreas de materiais, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. Apresenta capítulos relacionados ao desenvolvimento de novos materiais, com aplicações nos mais diversos ramos da ciência, bem como assuntos relacionados a melhoria em processos e produtos já existentes, buscando uma melhoria e a redução dos custos.

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.

Boa leitura a todos.


Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **EVALUATION OF THERMAL PROPERTIES OF PBAT MATRIX COMPOSITES REINFORCED WITH DIFFERENT JUTE AND COTTON FABRICS**


Jane Maria Faulstich de Paiva  
Cristiane Carla Maciel  
Amanda Alves Domingos Maia  
Anderson Pires Fernandes  
Maria Natália Castanho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9032112071>

### **CAPÍTULO 2..... 10**

#### **EFEITO DE DIFERENTES MISTURAS PP-RECICLADO / PP-VIRGEM EM SUAS PROPRIEDADES MECÂNICAS**


Vladymyr Alves de Figueiredo  
José Costa de Macêdo Neto  
Joaquim Souza de Oliveira  
Ricardo Cruz da Silva  
Adalberto Gomes de Miranda  
Luiz Antônio de Verçosa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9032112072>

### **CAPÍTULO 3..... 18**

#### **DETERMINAÇÃO DA DUREZA E MÓDULO DE ELASTICIDADE POR NANOINDENTAÇÃO BERKOVICH DE VIDRO NIOBOFOSFATO SINTETIZADO COM ESCÓRIA DE ACIARÁ LD**


Camila Ferreira da Silva  
Patrícia Guimarães Monteiro de Freitas  
Ronaldo Gomes de Castro Medeiros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9032112073>

### **CAPÍTULO 4..... 26**

#### **RESÍDUO DE INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO: FONTE PARA DESENVOLVIMENTO DE VIDROS E VITROCERÂMICOS**

Thariany Sanches Leme  
Flavia Landgraf Cuzzati  
Silvio Rainho Teixeira  
Agda Eunice de Souza


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9032112074>

### **CAPÍTULO 5..... 41**

#### **CARACTERIZAÇÃO DA CARBURIZAÇÃO EM AÇOS HP POR MICROSCOPIA MAGNETO-ÓTICA KERR**

Cayo Vinicius da Silva Lima  
Thiago Tôres Matta Neves  
Clara Johanna Pacheco  
Luiz Henrique de Almeida

Gabriela Ribeiro Pereira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9032112075>


**CAPÍTULO 6..... 53**

**EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE ZINCO NA ELETROGALVANIZAÇÃO DO AÇO CARBONO EM MEIO ÁCIDO CONTENDO SULFATO EMPREGANDO BAIXA DENSIDADE DE CORRENTE**

Gabriel Abelha Carrijo Gonçalves

Tácia Costa Veloso

Vera Rosa Capelossi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9032112076>


**CAPÍTULO 7..... 66**

**COMPORTAMENTO EM FADIGA DA LIGA TI-30TA APÓS TRATAMENTO ALCALINO E TÉRMICO - APLICAÇÕES BIOMÉDICAS**

Kerolene Barboza da Silva

Valdir Alves Guimarães

Ana Paula Rosifini Alves Claro


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9032112077>

**CAPÍTULO 8..... 81**

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BIOMATERIAIS DE BAIXO CUSTO**

Alessandra Ames

Ricardo Yoshimitsu Miyahara

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9032112078>

**SOBRE OS ORGANIZADORES ..... 90**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 91**



# CAPÍTULO 1

## EVALUATION OF THERMAL PROPERTIES OF PBAT MATRIX COMPOSITES REINFORCED WITH DIFFERENT JUTE AND COTTON FABRICS

*Data de aceite:* 01/07/2021

*Data de submissão:* 25/05/2021

### **Jane Maria Faulstich de Paiva**

Federal University of São Carlos (UFSCar),  
Materials Science Program – PPGCM  
Sorocaba-SP  
Federal University of São Carlos (UFSCar),  
Production Engineering Program – PPGEF  
Sorocaba-SP  
<https://orcid.org/0000-0001-8924-6194>

### **Cristiane Carla Maciel**

Federal University of São Carlos (UFSCar),  
Materials Science Program - PPGCM  
Sorocaba-SP  
<https://orcid.org/0000-0002-5409-9830>

### **Amanda Alves Domingos Maia**

Federal University of São Carlos (UFSCar),  
Production Engineering Program – PPGEF  
Sorocaba-SP  
<https://orcid.org/0000-0003-2034-5228>

### **Anderson Pires Fernandes**

Federal University of São Carlos (UFSCar),  
Production Engineering Program – PPGEF  
Sorocaba-SP  
<http://orcid.org/0000-0001-5637-8537>

### **Maria Natália Castanho**

Federal University of São Carlos (UFSCar),  
Materials Science Program - PPGCM  
Sorocaba-SP  
<https://orcid.org/0000-0002-7261-797X>

**ABSTRACT:** Poly (butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT) is a synthetic biodegradable thermoplastic, based on fossil resources, generally synthesized by polycondensation from combinations of diols and dicarboxylic acids. The PBAT can be used in applications such as food packaging, garbage bags, mulch films, biomedical materials, and other applications. In this study, some PBAT composites containing different jute fiber fabrics were prepared by the simple method of hot compression for further evaluation of their thermal and morphological properties. The materials were submitted to thermogravimetric analysis (TGA/DTG), where the insertion of the reinforcement in the matrix caused a reduction of only 3 to 4% in the thermal stability of the composites in relation to the PBAT. From dynamic mechanical thermal analysis (DMTA) it was possible to determine the glass transition temperature (T<sub>g</sub>) at approximately -20°C. The composite of PBAT reinforced with jute and cotton fabric presented the highest values of storage modulus (E') and closest to the values obtained by PBAT. According to images of the composites by scanning electron microscopy (SEM), fibers/polymer matrix interaction was observed, revealing interfacial adhesion between the polymeric matrix and the jute fiber fabrics. This work showed the viability of molding composites by the simple method of hot compression, contributing to the possible manufacture of biodegradable PBAT products with natural jute fibers.

**KEYWORDS:** PBAT; biodegradable polymer; natural fibers; composites; properties.

# AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE COMPÓSITOS DE MATRIZ PBAT REFORÇADOS COM DIFERENTES TECIDOS DE JUTA E ALGODÃO

**RESUMO:** O poli(butileno adipato-co-tereftalato) (PBAT) é um termoplástico biodegradável sintético, baseado em recursos fósseis, geralmente sintetizado por policondensação a partir de combinações de dióis e ácidos dicarboxílicos. O PBAT pode ser utilizado em embalagens de alimentos, sacos de lixo, filmes *mulch*, materiais biomédicos, entre outras aplicações. Neste estudo, alguns compósitos de PBAT contendo diferentes tecidos de fibra de juta foram preparados pelo método simples de compressão a quente para posterior avaliação de suas propriedades térmicas e morfológicas. Os materiais moldados foram submetidos à análise termogravimétrica (TGA/DTG), onde a inserção do reforço na matriz causou uma redução de apenas 3 a 4% na estabilidade térmica dos compósitos em relação ao PBAT. A partir da análise térmica dinâmico-mecânica (DMTA) foi possível determinar a temperatura de transição vítrea (Tg), em aproximadamente -20°C. O compósito de PBAT reforçado com fibras de juta e tecido de algodão apresentou os maiores valores de módulo de armazenamento ( $E'$ ) e mais próximos dos valores obtidos pelo PBAT. De acordo com as imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos compósitos, foi observada interação fibras/matriz polimérica, revelando adesão interfacial entre a matriz polimérica de PBAT e os tecidos de fibras de juta. Este trabalho mostrou a viabilidade da moldagem de compósitos pelo método simples de compressão a quente, contribuindo para a possível fabricação de produtos de PBAT biodegradável com fibras naturais de juta.

**PALAVRAS-CHAVE:** PBAT; polímero biodegradável; fibras naturais; compósitos; propriedades.

## 1 | INTRODUCTION

The poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT) is a synthetic biodegradable thermoplastic polyester, obtained by the polycondensation between butanediol (BDO), adipic acid (AA) and terephthalic acid (PTA), developed with the aim of combining biodegradation, mechanical and thermal properties. The PBAT is one of the most promising materials with potential development prospects in a wide range of applications (MOUSTAFA et al., 2007; VERBEEK et al., 2019; WU and Zang, 2017).

The biodegradation of PBAT depends on its chemical structure and on the environmental conditions of the environment where it will be inserted. Two types of biodegradation of PBAT can occur, the first of which occurs through the enzymatic action of microorganisms, such as bacteria, fungi and algae present in the environment (FERREIRA et al., 2017). In the second, biodegradation occurs through a process of depolymerization of polymeric chains, which occurs by non-enzymatic reaction (such as chemical hydrolysis or thermal degradation), followed by the metabolization of these intermediates by microorganisms (JIAO et al., 2020).

The high production costs of PBAT when compared to non-biodegradable polymers are obstacles that prevent the widespread use of this material (THAKUR et al., 2015). As a

consequence, the development of the PBAT market will only be possible when production costs and their properties are similar to market-leading materials (FERREIRA, 2017). Polymers are normally applied as a polymeric matrix in the molding process of composites, and the addition of low-cost materials, such as natural fibers, that act as reinforcing agents is an effective way to improve the properties of the polymer and lower its final price. (OSKMAN et al., 2016).

Nowadays, innumerous composites reinforced with natural fibers are being studied aiming to contribute with the economic and scientific development (IDOWU et al., 2018). Among the varieties of plant fibers, jute fiber has been applied as reinforcement of composites in several areas due to their biodegradable, low cost and non-abrasive properties contributing to the disposal or recyclability of materials (ROY et al., 2018; SANJAY et al., 2016).

In this context, the study involved the development of polymeric composites using the commercial biodegradable polymer PBAT, reinforced with jute fiber fabrics, due to its mechanical properties in order to contribute to the manufacture of products, preventing environmental and social problems.

## **2 | EXPERIMENTAL**

### **2.1 Material**

The molding process of the composites, the polymer matrix used was the PBAT (pellets) supplied by BASF, under the trade name Ecoflex® F, with a density of 1.27 g/cm<sup>3</sup>. For reinforcement three types of commercial jute fiber fabrics (produced by Castanhal, Brazil) were used: (i) jute weft arrangement 1x1 (Type 1), (ii) jute and cotton I33weft 1x1 (Type 2) and (iii) jute weft 2x2 (Type 3).

### **2.2 Samples Preparation**

The composites were molded in a hydraulic press (Marconi, model MA 098/A), with a hot compression molding method, force of 5 tons (t), temperature of 160°C during 30 min. The composites obtained were identified as: Composite 1 (PBAT/Jute Fiber – type 1), Composite 2 (PBAT/Jute Fiber – type 2) and Composite 3 (PBAT/Jute Fiber - type 3).

### **2.3 Thermal and Morphological Characterization**

The thermogravimetric analysis (TGA) was realized in a Shimadzu equipment (model TGA-50), with heating rate of 10°C.min<sup>-1</sup>, inert atmosphere (nitrogen), temperature range of 25 – 800°C. Heat flow was 50mL.min<sup>-1</sup> and approximately 8 mg of sample weight.

The dynamic mechanical thermal analysis (DMTA) of the materials were performed using a TA Instruments equipment (model Q800) in bending mode dual cantilever clamp, 1 Hz of frequency, temperature range from -40 to 60 °C and heating rate of 5 °C.min<sup>-1</sup>. Rectangular samples with dimensions of 63 mm length 12.7 mm width and 3 mm thickness

were used.

Morphological analysis by scanning electronic microscopy (SEM) of the composites were carried out in Hitachi microscopy (model TM 3000) in *Analy* mode, 5 and 15kV and with copper conductive tape. The samples were dried in an oven during 4 hours before the analysis and the magnitudes were 50 and 80 times.

## 3 | RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1 Thermal Analysis

The Fig. 1 show the TGA and DTG (Derivative Thermogravimetric Analysis) curves. For PBAT results, only one stage can be observed during its decomposition process in the temperature range from 325.61 to 522.02°C. Similar results were found in the literature (MOUSTAFA et al., 2007) with a small degradation range, indicating that PBAT can be considered relatively stable up to approximately 320°C.

Considering the composites 1, 2 and 3, some differences were observed when compared to PBAT. The initial thermal decomposition temperatures observed was about 253.32, 233.26 and 102.88°C for the composites 1, 2 and 3, respectively while for the PBAT it was observed an initial temperature about 325.61°C. These variations can indicate the differences in the compositions of the samples and decomposition processes characteristics (MORAIS et al., 2017; MAIA and MORAIS, 2016). It was also possible to observe that the addition of reinforcements slight decreased the thermal stability of PBAT. However, this did not affect the thermal properties of the composites obtained.

Three stages of mass loss can be observed. The first stage is in temperature range from 16.45°C to 119.38°C for the composites 1, 2 and 3. The first stage can indicate devolatilization process, moisture and volatile loss. These values were observed in the literature [9,10]. The second stage observed can be related to the hemicellulose and cellulose decomposition, in an average temperature range between 228.99 and 457.24°C. In the literature it was found that thermal conversion of hemicellulose and cellulose can occurs between temperatures of 220-315°C and 327-450 °C of decomposition, respectively [8–10]. In the third stage there was mass loss at an initial average temperature of 446.72°C, indicating lignin decomposition and more thermally stable structures. The residual mass was in the range of 3.6-5.8%, which can be related to the jute fiber and some inorganic residues.

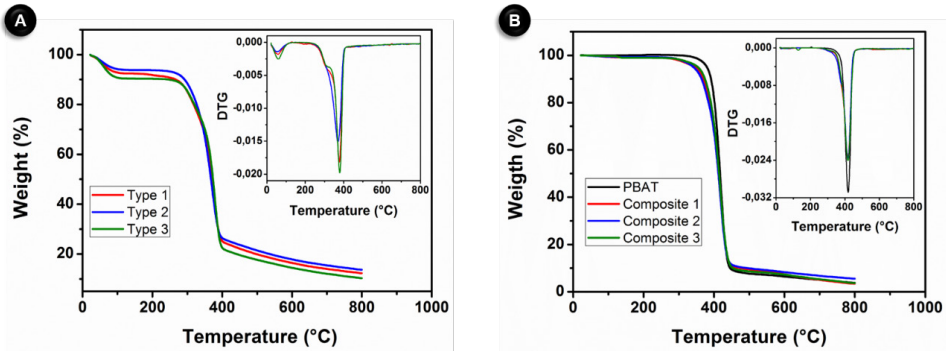


Fig. 1: TGA and DTG curves: (A) jute fiber fabric and (B) PBAT and composites.

### 3.2 Dynamic Mechanical Thermal Analysis (DMTA)

DMTA curves and values are presented in Fig. 2 and Table 1. According to the DMTA curves in Fig. 2A, at temperature of  $-43^{\circ}\text{C}$  it is possible to observed that PBAT presented the highest storage modulus ( $E'$ ) value, about 1990 MPa, and the composite 2 decreased 10.55% when compared with the PBAT (Table 1), but when comparing with the composites 1 and 3 it presented the highest  $E'$ . The composites 1 and 3 showed a decrease about 33% in the storage modulus, which may be related to weak fiber/matrix interface adhesion.

The storage modulus indicates the elastic response of the material, so the larger the  $E'$  the greater its elastic modulus (SANGRONIZ et al., 2018). Usually, polymeric materials present viscoelastic characteristics, and the increase of  $E'$  can indicate higher interactions and strong adhesion at the interfaces (LORANDI et al., 2016). In literature it was found that at ambient temperature, about 25 and  $43^{\circ}\text{C}$  (BHATTACHARJEE and BAJWA, 2018), the storage modulus of polymers and composites are similar, with values equal for composites 2 and 3 (Table 1). Therefore, in the case of the  $E'$  results obtained for these composites, the fibers did not cause significant effects on the mechanical behavior of the materials.

The Fig. 2 (B) shows the loss modulus ( $E''$ ) of the PBAT and composites. The  $E''$  result obtained for PBAT is suitable due to be a polymer that dissipates more energy. According to the results presented in Table 1 it is possible to observe that the composite 2 presented a decrease of 2% and the composites 1 and 3 a decrease of 16.86 and 28.11% respectively, comparing to PBAT. The loss modulus values of the composites 1, 2 and 3 were obtained at temperatures  $-25^{\circ}\text{C}$ ,  $-26^{\circ}\text{C}$  and  $-27^{\circ}\text{C}$ , respectively and these values are similar those found in the literature (PAN et al, 2018).

The glass transition temperature ( $T_g$ ) was determined by the maximum peak of Tan delta curves in DMTA analysis (BHATTACHARJEE and BAJWA, 2018). The Tan delta curves in Fig. 2 (C) represent the glass transition temperatures ( $T_g$ ) of the PBAT and composites. Table 1 also presents the  $T_g$  obtained through the Tan Delta curves. According to the values described, it is possible to verify that there was no significant difference between the glass

transition temperature of PBAT and the composites. The Tg values found are similar the results obtained in the literature (MOUSTAFA et al., 2007; PAN et al, 2018). As can be seen in Table 1, the results obtained for PBAT and composites were similar.

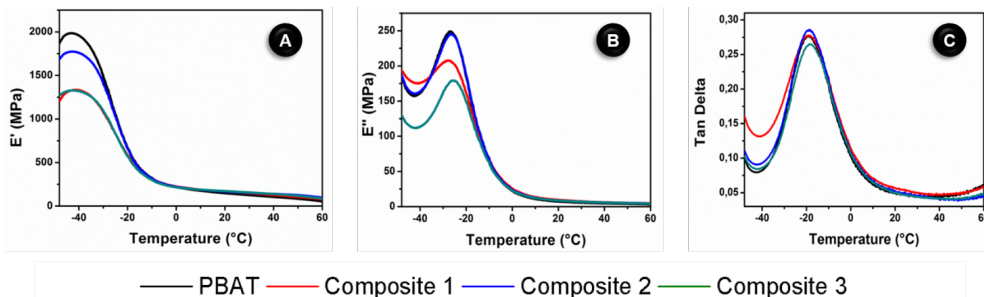


Fig. 2: DMTA curves considering PBAT and Composites: (A) Storage Modulus ( $E'$ ), (B) Loss Modulus ( $E''$ ) and (C) Tan Delta.

| Temperature (°C) | Storage Modulus ( $E'$ ) (MPa) |     |     | Loss Modulus ( $E''$ ) (MPa) |     |     |      | Tan Delta |
|------------------|--------------------------------|-----|-----|------------------------------|-----|-----|------|-----------|
|                  | -43                            | 25  | 43  | -27                          | -26 | -25 | 40   |           |
| PBAT             | 1990                           | 141 | 112 | 249                          | -   | -   | 4.49 | -19.36    |
| Composite 1      | 1333                           | 159 | 122 | 207                          | -   | -   | 4.49 | -19.36    |
| Composite 2      | 1780                           | 168 | 137 | -                            | 244 | -   | 4.49 | -18.50    |
| Composite 3      | 1333                           | 168 | 137 | -                            | -   | 179 | 4.49 | -18.21    |

Table 1: Values obtained from DMTA analysis.

### 3.3 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Fig. 3 shows the micrographs of the side surfaces of the composites revealing the fiber/matrix interface and fiber arrangement in the composite. It is possible to observe that jute fiber fabric is wrapped by the polymer. From the micrographs by SEM, it is possible to verify that there was some interfacial adhesion between fibers and matrix. This also reveals that the molding process with the parameters used obtained satisfactory results (FUKUSHIMA et al., 2013).



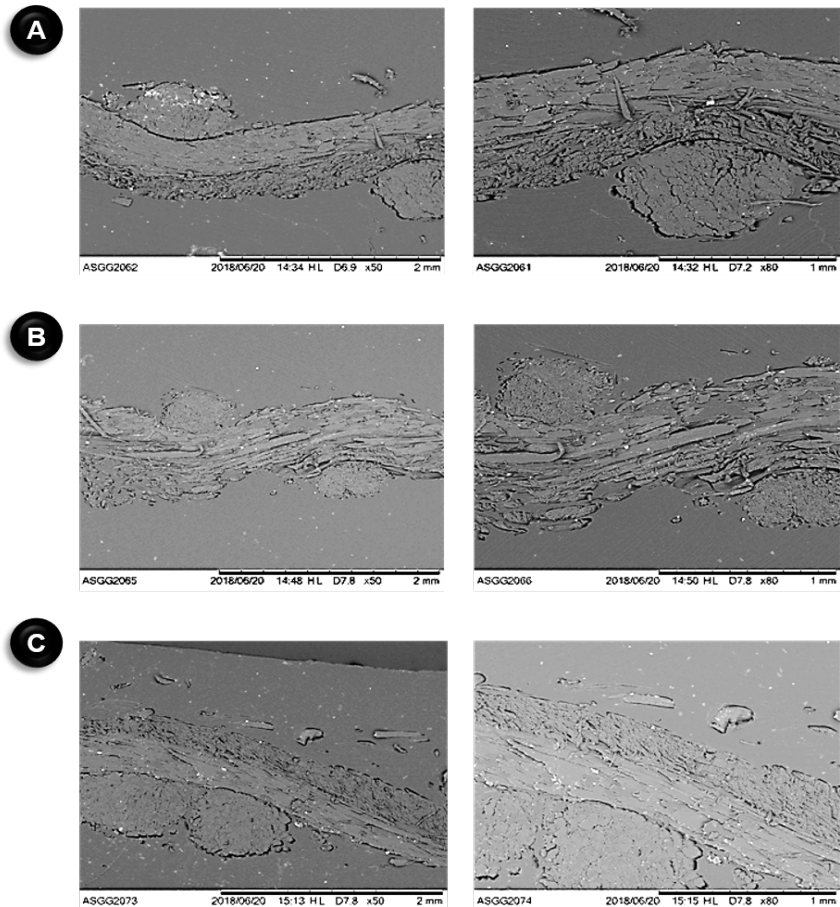


Fig. 3: Micrographs of interfaces fiber/matrix: (A) Composite 1, (B) Composite 2 e (C) Composite 3.

## 4 | CONCLUSION

The study involved the development of polymeric composites using a commercial biodegradable polymer, PBAT, reinforced with jute fiber fabrics. The mechanical and thermal properties of composites reinforced with jute fiber fabric were like that of PBAT without fibers. Thermal results of the composites showed a smaller decomposition temperature in comparison with PBAT. Additionally, results showed slight differences in PBAT glass transition temperatures and composites, with values around to  $-20^{\circ}\text{C}$ . SEM analysis showed certain adhesion in the fibers/matrix interface because the continuous phase (matrix) involved the dispersed phase (fiber reinforcement) in the composites.

This work proved to be viable the molding of composites by the simple method of hot compression, contributing to the feasibility of future manufacture of products with biodegradable PBAT and natural jute fibers, also preventing environmental and social problems.

## ACKNOWLEDGMENTS

This study was financed in part by the CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil – Finance Code 001) and FAPESP (06/60885-2). The authors would like to thank Profa. Dra. Elisabete Frollini and Dr. Luiz Antonio Ramos (IQSC-USP) for the thermogravimetric analysis.

## REFERENCES

- Bhattacharjee, S., Bajwa, D.S. **Degradation in the mechanical and thermo-mechanical properties of natural fiber filled polymer composites due to recycling**, Construction and Building Materials. V. 172, p. 1–9, 2018. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.010.
- Ferreira, F. V., Cividanes, L. S., Gouveia, R. F., Lona, L. M. F. **An overview on properties and applications of poly(butylene adipate-co-terephthalate) - PBAT based composites**, Polymer Engineering and Science, v.59, p. 7-15, 2019. DOI: 10.1002/pen.24770
- Fukushima, K., Rasyida, A., Yang, M. C. **Characterization, degradation and biocompatibility of PBAT based nanocomposites**, Applied Clay Science, v. 80–81, p. 291–298, 2013. DOI: 10.1016/j.clay.2013.04.015.
- Idowu, A., Boesl, B., Agarwal, A., **3D graphene foam-reinforced polymer composites – A review**, Carbon, v. 135, p. 52–71, 2018. DOI: 10.1016/j.carbon.2018.04.024.
- Jiao, J., Zeng, X., Huang X. **An overview on synthesis, properties and applications of poly(butylene adipate-co-terephthalate) - PBAT**, Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, v. 3, p. 19-26, 2020. DOI: 0.1016/j.aiepr.2020.01.001
- Lorandi, N., P., M. Cioffi, O. H., Ornaghi Jr., H. **Análise Dinâmico-Mecânica de Materiais Compósitos Poliméricos**, Scientia com Industria, v. 4, n. 1, p. 48, 2016. DOI: 10.18226/23185279.v4iss1p48.
- Maia, A.A.D., de Morais, L.C., **Kinetic parameters of red pepper waste as biomass to solid biofuel**, Bioresource Technology, v. 204, p. 157–163, 2016. DOI: 10.1016/j.biortech.2015.12.055.
- Morais, L.C., Maia, A.A.D., Guandique, M.E.G., Rosa, A.H., **Pyrolysis and combustion of sugarcane bagasse**, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, v. 129, p. 1813–1822, 2017. DOI: 10.1007/s10973-017-6329-x.
- Moustafa, H., Guizani, C., Dupont, C., Martin, V., Jeguirim, M., Dufresne, A. **Utilization of Torrefied Coffee Grounds as Reinforcing Agent To Produce High-Quality Biodegradable PBAT Composites for Food Packaging Applications**, ACS Sustainable Chemistry & Engineering, v. 5, n. 2, p.1906–1916, 2012. DOI: 10.1021/acssuschemeng.6b02633.
- Oksman, K., Aitomäki, Y., Mathew, A. P., Siqueira, G., Zhou, Q., Butylina, S., Tanpichai, S., Zhou, X., Hooshmand, S. **Review of the recent developments in cellulose nanocomposite processing**, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, v. 83, p. 2-18, 2016. DOI: 10.1016/j.compositesa.2015.10.041

Pan, H., Li, Z., Yang, J., Li, X., Ai, X., Hao, Y., Zhang, H., Dong, L. **The effect of MDI on the structure and mechanical properties of poly(lactic acid) and poly(butylene adipate-co-butylene terephthalate) blends**, RSC Advances, v. 8 p. 4610–4623, 2018. DOI: 10.1039/C7RA10745E.

Roy, K., Debnath, S. C., Das, A., Heinrich, G., Potiyaraj, P., **Exploring the synergistic effect of short jute fiber and nanoclay on the mechanical, dynamic mechanical and thermal properties of natural rubber composites**, Polymer Testing, v. 67 p. 487–493, 2018. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2018.03.032.

Sangroniz, A., Sangroniz, L., Aranburu, N., Fernández, M., Santamaria, A., Iriarte, M., Etxeberria, A., **Blends of biodegradable poly(butylene adipate-co-terephthalate) with poly(hydroxi amino ether) for packaging applications: Miscibility, rheology and transport properties**, European Polymer Journal, v. 105 p. 348–358, 2018. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2018.06.016.

Sanjay, M.R., Arpitha, G.R., Naik, L.L., Gopalakrishna, K., Yogesha, B., **Applications of Natural Fibers and Its Composites: An Overview**, Natural Resources, v. 07, p. 108–114, 2016. DOI: 10.4236/nr.2016.73011.

Soares, L.D.S., Maia, A.A.D., Moris, V.A.S., De Paiva, J.M.F., **Study of the Effects of the Addition of Coffee Grounds and Sugarcane Fibers on Thermal and Mechanical Properties of Briquettes**, Journal of Natural Fibers, v. 17, n.10, p. 1430-1438, 2019. DOI: 10.1080/15440478.2019.1578325.

Thakur, M. K., Thakur, V. K., Gupta, R. K., Pappu, A. **Synthesis and Applications of Biodegradable Soy Based Graft Copolymers: A Review**, ACS Sustainable Chemistry and Engineering, v. 4, p. 1-17, 2015. DOI: 10.1021/acssuschemeng.5b01327

Verbeek, C.J.R., Smith, M.J., Cozens, W.C., **Rheology and sheet extrusion of Novatein thermoplastic protein/polybutylene adipate-co-terephthalate blends**, Journal Applied Polymer Science, v. 136, p. 47977, 2019. DOI: 10.1002/app.47977.

Wu, N., Zhang, H. **Mechanical properties and phase morphology of super-tough PLA/PBAT/EMA-GMA multicomponent blends**, Materials Letters, v.192, p. 17–20, 2017. DOI: 10.1016/j.matlet.2017.01.063.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aço HP 41, 43, 44, 46, 47, 48, 51

### B

Biomateriais 66, 67, 78, 79, 81, 82, 88, 89

### C

Carburização 41, 43, 44, 46, 47, 51

Corrosão 53, 55, 62, 63, 64, 67, 68, 90

### D

Domínios magnéticos 41, 42, 43, 46, 47, 48, 49, 50

### E

Eficiência de corrente 53, 55, 56, 57, 58, 64

Eletro galvanização 53, 54, 55

Escória 18, 19, 20, 23, 24, 26, 28, 29, 30, 32, 33, 37, 38, 39, 40

### F

Fadiga 66, 67, 69, 70, 71, 75, 76, 77, 79

### H

Hidroxiapatita 81, 83, 84, 88, 89

### L

Ligas de titânio 66, 68, 72, 73, 74

### M

Microscopia Kerr 41

### N

Nanoindentação 18, 19, 20, 22, 23

### P

PBAT 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

Polímero natural 81, 86

PP 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 52

Propriedades mecânicas 10, 11, 12, 16, 18, 19, 38, 54, 66, 68, 71

### R

Reciclagem 10, 11, 17, 26, 28, 39

Resíduos 11, 13, 16, 26, 28, 29, 39

Resistência 10, 11, 12, 14, 15, 16, 19, 23, 53, 55, 57, 63, 64, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 77, 81, 82, 83, 84, 86, 88

Revestimento metálico 53, 54

## **T**

Tratamento alcalino 66, 69, 70, 71, 73, 74, 75, 76, 77

## **U**

Ultramicro dureza 18, 21, 23

## **V**

Vidro 18, 20, 21, 23, 24, 26, 30, 31, 32, 33, 34, 35

Vitrocerâmico 26, 29, 32, 34, 35, 36, 37

## **Z**

Zinco 27, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 61, 62, 63, 64, 65

# COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALÚRGICA



[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)



[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



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



[facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

Atena  
Editora

Ano 2021



# COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALÚRGICA



[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)



[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



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



[facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

**Atena**  
Editora

Ano 2021