

COLEÇÃO

# DESAFIOS

DAS

# ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALÚRGICA



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN  
JOÃO DALLAMUTA  
(ORGANIZADORES)

 **Athena**  
Editora  
Ano 2021

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

**ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALÚRGICA**



**HENRIQUE AJUZ HOLZMANN**

**JOÃO DALLAMUTA**

**(ORGANIZADORES)**

 **Atena**  
Editora  
Ano 2021

<b>Editora Chefe</b>	Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
<b>Assistentes Editoriais</b>	Natalia Oliveira Bruno Oliveira Flávia Roberta Barão
<b>Bibliotecária</b>	Janaina Ramos
<b>Projeto Gráfico e Diagramação</b>	Natália Sandrini de Azevedo Camila Alves de Cremo Luiza Alves Batista Maria Alice Pinheiro
<b>Imagens da Capa</b>	iStock
<b>Edição de Arte</b>	Luiza Alves Batista
<b>Revisão</b>	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. Elio 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 Internazionale 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 Cândido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luís 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. Willian 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 Diocléia 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. Fágnor Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Gislene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

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

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

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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. Abrão 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. Alessandro 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 Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoletti – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina  
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná  
Profª Drª Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará

Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edvaldo 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 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  
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 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  
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. Sulivan 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

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)</b>	
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: <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.903211207">https://doi.org/10.22533/at.ed.903211207</a>
	1. Engenharia de materiais. 2. Engenharia metalúrgica. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. Título.
	CDD 669
<b>Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166</b>	

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. Declararam 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

<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>1</b>
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	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.9032112071">https://doi.org/10.22533/at.ed.9032112071</a>	
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>10</b>
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	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.9032112072">https://doi.org/10.22533/at.ed.9032112072</a>	
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>18</b>
DETERMINAÇÃO DA DUREZA E MÓDULO DE ELASTICIDADE POR NANOINDENTAÇÃO BERKOVICH DE VIDRO NIOBOFOSFATO SINTETIZADO COM ESCÓRIA DE ACIARA LD	
Camila Ferreira da Silva	
Patrícia Guimarães Monteiro de Freitas	
Ronaldo Gomes de Castro Medeiros	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.9032112073">https://doi.org/10.22533/at.ed.9032112073</a>	
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>26</b>
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	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.9032112074">https://doi.org/10.22533/at.ed.9032112074</a>	
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>41</b>
CARACTERIZAÇÃO DA CARBURIZAÇÃO EM AÇOS HP POR MICROSCOPIA MAGNETO-ÓTICA KERR	
Cayo Vinicius da Silva Lima	
Thiago Tôrres Matta Neves	
Clara Johanna Pacheco	
Luiz Henrique de Almeida	

Gabriela Ribeiro Pereira

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

**CAPÍTULO 6.....53**

EFETO 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 8

## OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BIOMATERIAIS DE BAIXO CUSTO

Data de aceite: 01/07/2021

Data de submissão: 06/05/2021

**Alessandra Ames**

Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Guarapuava – PR  
<http://lattes.cnpq.br/4962382723830478>

**Ricardo Yoshimitsu Miyahara**

Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Guarapuava – PR  
<http://lattes.cnpq.br/4732577960462037>

**RESUMO:** Com o crescente avanço na medicina, materiais que possam atuar como substitutos ósseos tornam-se cada vez mais necessários. As biocerâmicas possuem papel de destaque neste setor devido à sua biocompatibilidade, osteocondutividade e resistência a desgastes e compressão. Um dos materiais, desse tipo, mais estudados é a hidroxiapatita, cerâmica a base de fosfato de cálcio, que possui biocompatibilidade e é constituinte da fase mineral de ossos e dentes. No entanto, a resistência mecânica de cerâmica pura de hidroxiapatita não é adequada para sustentarem determinadas áreas do corpo humano, o que requer reforço estrutural. Este trabalho visou produzir um compósito de hidroxiapatita e polímero, com baixo custo e boa eficiência, optando pela utilização de um polímero natural, cuja matéria prima é abundante no país. Foram produzidas amostras com diferentes concentrações de hidroxiapatita e biopolímero, em conjunto com materiais para aumentar

a resistência ao compósito. As amostras produzidas apresentaram resistência adequada para manipulação e moldagem inicialmente, e após calcinação, apresentaram boa resistência mecânica, demonstrando que a obtenção de biocerâmica de baixo custo foi possível.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biomateriais, Hidroxiapatita, Polímero Natural.

### OBTAINING AND CHARACTERIZING OF LOW-COST BIOMATERIALS

**ABSTRACT:** As medical science has progressed, materials that are able to act like bones substitutes become even more necessities. The bioceramics play a major role in this sector due to its biocompatibility, osteoconductivity and resistance to wear and compression. One of the most studied materials is the hydroxyapatite, calcium phosphate-based ceramic, for having biocompatibility and for being component of the mineral phase of bones and teeth. However, the ceramics mechanic strength is not proper to support certain parts of human body, and thus requires structural reinforcement. This work aims to produce a hydroxyapatite and polymer composite, with low cost and great efficiency, choosing by the production of natural polymer, whose feedstock is abundant in the country. Samples were produced with different concentration of hydroxyapatite and biopolymer, adding, afterwards, materials that increase resistance to the composite. The produced samples shown initially proper strength to manipulation and molding, and after calcination, presented good mechanical resistance, showing

that the low-cost bioceramic was possible.

**KEYWORDS:** Biomaterials, Hydroxyapatite, Natural Polymer.

## 1 | INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, como consequência do avanço da medicina, há um crescimento na expectativa de vida, o que pode acarretar problemas ósseos relacionados ao envelhecimento. É fato que, a partir dos 50 anos há um decrescimento na densidade óssea principalmente de mulheres, idade onde há uma baixa nos níveis hormonais (YAZBEK; MARQUES NETO, 2008). Além dos problemas relativos à idade, há ainda acidentes que causam perda de tecido ósseo através de fraturas. No mundo todo, cerca de 50 milhões de pessoas utilizam algum tipo de prótese óssea como forma de reconstituição de partes lesionadas (KAWACHI et al., 2000; OCAMPO; SIERRA; OROZCO, 2014).

Entre os anos de 2008 e 2010, o Sistema Único de Saúde (SUS) gastou um valor de R\$288.986.335,15 com osteopróteses, somente em idosos. Tal fato torna necessário o desenvolvimento de materiais que aprimorem enxertos e próteses ósseas e dentárias, reduzindo o custo de produção e aumentando a durabilidade e a aceitação pelo organismo (MORAES et al., 2014).

Há uma classe de materiais, os biomateriais, que são considerados bons repositores ósseos por apresentarem características como a biocompatibilidade, ou seja, a compatibilidade física e biológica com os tecidos hospedeiros, bem como elevada resistência mecânica. Tais características permitem o bom desempenho da prótese, estimulando a regeneração da região afetada (GUASTALDI; APARECIDA, 2010; KAWACHI et al., 2000).

Os biomateriais vêm ganhando destaque na área da saúde e podem ser aplicados em dispositivos biomédicos, implantes, dispositivos para liberação controlada de medicamentos, órgãos artificiais e curativos. Podem ser classificados, de forma geral, em metais, cerâmicas e polímeros (L.; R., 1994; PIRES; BIERHALZ; MORAES, 2015).

As cerâmicas possuem papel de destaque dentre os biomateriais devido as suas propriedades cristalográficas e a elevada compatibilidade com ossos e dentes. Ainda, são classificadas de acordo com o nível de interação com o organismo como bioinertes, bioativas e bioreabsorvíveis. As cerâmicas bioinertes não apresentam modificações em suas propriedades físicas e mecânicas após implantadas. Já as cerâmicas consideradas bioativas induzem a regeneração do tecido onde são implantadas. As cerâmicas chamadas de bioreabsorvíveis sofrem um processo de degradação até serem, eventualmente, substituídas pelo tecido original (BONAN et al., 2014; KAWACHI et al., 2000; PIRES; BIERHALZ; MORAES, 2015).

Todavia, apesar de as cerâmicas se apresentarem como resistentes à desgaste e compressão, são quebradiças e suscetíveis a fraturas, bem como sensíveis a rachaduras. Devido à tais fatores, as biocerâmicas apresentam pobre resistência mecânica (KAWACHI

et al., 2000; PIRES; BIERHALZ; MORAES, 2015).

Dentre as biocerâmicas, a hidroxiapatita ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ) se destaca por sua excelente biocompatibilidade, osteocondutividade e bioatividade, além de fazer parte da composição de ossos e dentes. A hidroxiapatita é um composto a base de fosfato de cálcio (PORSANI et al., 2018) como a hidroxiapatita (HA). Esta cerâmica é comumente escolhida como reposito ósseo por não apresentar toxicidade nem respostas inflamatórias do organismo (GUASTALDI; APARECIDA, 2010). Atualmente é utilizada na forma de blocos sólidos e porosos, grânulos e recobrimentos (BONAN et al., 2014; FOOK; APARECIDA; FOOK, 2010)  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ .

No entanto, a baixa resistência mecânica de cerâmicas como a hidroxiapatita acabam por limitar suas aplicações em regiões que suportem cargas maiores, tais como tíbia e fêmur. Uma das soluções para este problema é o reforço estrutural por uso agregado de materiais que contribuam para essa resistência, sendo comumente utilizados como reforço a zircônia, alumina, mulita, titânio e biovidro (BONAN et al., 2014; KAWACHI et al., 2000). Também há métodos de reforço, considerando a resistência *in vivo*, pela produção de corpos porosos (KAWACHI et al., 2000).

A porosidade de um material afeta diretamente sua biocompatibilidade, sendo importante para um melhor desenvolvimento do tecido afetado sobre o implante (KAWACHI et al., 2000). São considerados como corpos porosos materiais que possuam cavidades esféricas abertas e interconectadas (OCAMPO; SIERRA; OROZCO, 2014). Um dos principais métodos de formação de poros é a agregação de polímeros (ou uma segunda fase orgânica) ao material, que posteriormente são eliminados, formando os poros (SEPÚLVEDA et al., 1999).

Visto que polímeros derivados de petróleo, atualmente possuem alto custo e emitem, em sua produção, muitos poluentes além de possuírem um tempo longo de degradação, estuda-se então a substituição destes por biopolímeros, materiais caracterizados por serem derivados de fontes renováveis, como o milho, cana-de-açúcar, celulose, quitina, entre outros (BRITO et al., 2011; VALERO-VALDIVIESO; ORTEGÓN; USCATEGUI, 2013).

Os biopolímeros mais estudados são os derivados de amido (milho, batata, entre outros) devido a abundância de matéria prima e o relativo baixo custo. Para obter o polímero de amido é necessário formar o chamado amido termoplástico (TPS – Thermoplastic Starch), o que ocorre ao se destruir a estrutura semicristalina do amido ao aquecê-lo em temperaturas entre 90°C e 180°C, sob agitação e com presença de plastificantes. Ao ser submetido à forças de cisalhamento, adquire as características que o denominam como amido termoplástico (CORRADINI et al., 2005; SCHLEMMER; SALES; RESCK, 2010).

Ainda, outro método utilizado para agregar resistência às biocerâmicas, principalmente à hidroxiapatita, visto que ela é derivada de ossos, é a produção de uma porcelana chamada de *bone china*. Tal porcelana apresenta alta resistência e grande alvura, sendo caracterizada por conter proporções de cinzas de ossos calcinados, fundentes

(minerais do grupo do feldspatos) e caulim (GOUVÊA; HIRAKATA; KAHN, 2010; KARA; STEVENS, 2002).

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Obtenção do biopolímero

A produção do biopolímero ocorreu a partir da solução, em água destilada, de amido de milho comercial, plastificante do tipo glicerol ( $C_3H_5(OH)_3$  – BIOTEC) e peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$  – concentração de 35% – BIOTEC). Tal solução foi aquecida por meio de chapa de indução e permaneceu sob constante agitação (agitador mecânico – FISATOM 715) até uma temperatura de aproximadamente 90°C onde foi observada a mudança de viscosidade do material.

Posteriormente as amostras produzidas foram secas em estufa a 110°C em períodos que variaram entre 3h e 24h, a fim de encontrar o melhor resultado. Em seguida, com tais amostras, realizou-se Análise Térmica (TG e DSC – TA Instruments - modelo SDT-Q600).

### 2.2 Obtenção da Hidroxiapatita

A hidroxiapatita foi obtida de forma não sintética, por meio de limpeza, calcinação e cominuição de ossos bovinos. Após serem coletados, os ossos foram limpos em autoclave, 1 atm por 20 min, e secos em estufa durante 12h a 100°C. Posteriormente os ossos foram calcinados em forno do tipo mufla, a 900°C durante 4h. O pó obtido após cominuição passou por peneiras de diferentes aberturas, sendo, em seguida, seco em estufa e desaglomerado com o auxílio de pistilo e almofariz.

### 2.3 Obtenção do Compósito de Hidroxiapatita e Biopolímero

De forma a garantir uma melhor incorporação, a hidroxiapatita foi adicionada à solução no momento da produção do biopolímero, utilizando amido de milho. Foram produzidas amostras com diferentes concentrações de hidroxiapatita, a fim de obter um compósito com maior resistência mecânica a verde, isto é, sem tratamento térmico. Posteriormente, com o objetivo de agregar resistência e possibilitar um controle de porosidade, a esse compósito foram adicionados feldspato potássico e caulim na proporção 2:1:1 em massa.

As amostras produzidas foram moldadas e posteriormente calcinadas e sinterizadas em forno do tipo mufla, com taxa de aquecimento de 5°C/min até o patamar de 600°C, e em seguida utilizou-se taxa de 3°C/min até o patamar de 1300°C, que permaneceu por 6h nesta temperatura, para que o compósito adquirisse a resistência característica. O material obtido foi analisado por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Difração de raios X (DRX).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Referente ao biopolímero obtido, percebeu-se a boa homogeneidade e fácil moldagem das amostras. A partir da análise térmica, obteve-se as curvas de Termogravimetria (TG) e Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) representadas na Figura 1. A curva de TG refere-se a mudança de massa com relação ao aumento da temperatura, identificada na Figura 1 como uma linha sólida. Já a curva de DSC refere-se à variação de energia nas amostras (fluxo de calor), identificada pela linha traçada na Figura 1. Foram analisadas três amostras com diferentes tempos de secagem em estufa.

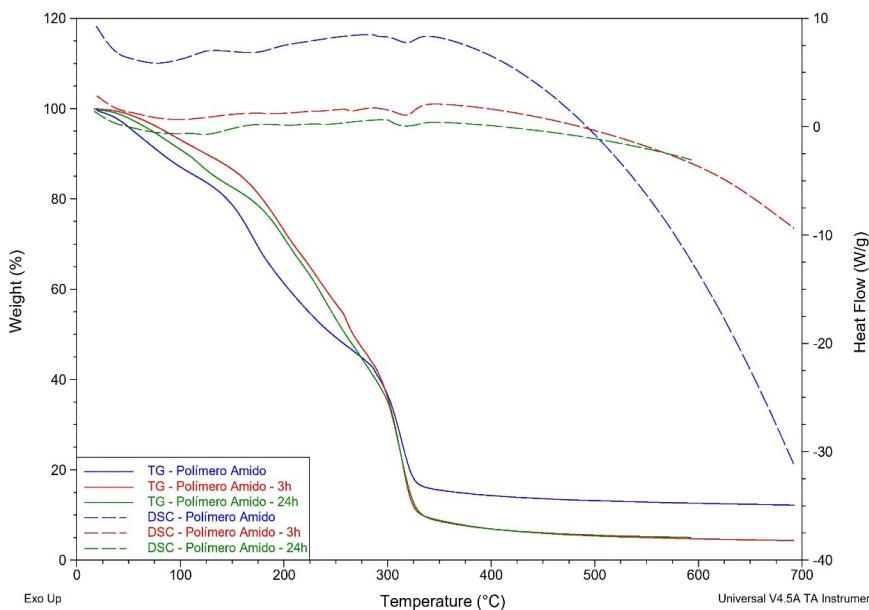


Figura 1 – Comportamento térmico, TG (linhas sólidas) e DSC (linhas tracejadas), para o polímero de amido em diferentes tempos de secagem.

É possível verificar, a partir da curva de TG, que a perda de material ocorre em três etapas, para as três amostras analisadas. A primeira etapa se dá próximo a 100°C, devido à evaporação de água, sendo acompanhada de um pico endotérmico do DSC. A segunda etapa de perda de massa ocorre próximo aos 160°C, acompanhada novamente de pico endotérmico do DSC, o que se deve possivelmente a quebra da cadeia carbônica do polímero, assim como descrito por Schlemmer, Sales e Resck (2010). A terceira e última etapa inicia-se próximo dos 300°C, acompanhada de pico endotérmico de DSC, ocorrendo devido a queima do carbono presente no amido.

Com a produção do compósito foi notável que o biopolímero facilitou a moldagem dos corpos de prova. Dessa forma, este material apresentou vantagens, também, pelo

baixo custo devido às fontes renováveis e por ser matéria prima abundante no Brasil.

As amostras produzidas após calcinação demonstraram-se de elevada resistência, característica importante para que um material possa se tornar repositor ósseo, adquirindo, também, coloração branca característica. O corpo de prova não sofreu deformações significativas em seu formato após sinterização. No entanto, o material sofreu retração, diminuindo as suas dimensões, característico de materiais cerâmicos. Este fato decorre da eliminação de água e matéria orgânica presentes no corpo de prova e da densificação do material devido à sinterização (JUNG et al., 2012).

O material sinterizado foi avaliado também por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), representada nas Figuras 2 e 3, nas quais são possíveis analisar a morfologia da amostra, em diferentes ampliações.

Na Figura 2, é possível observar o formato e tamanho das cavidades formadas pela ausência de água e matéria orgânica. Os poros de menor tamanho possuem cerca de 23,1  $\mu\text{m}$  de diâmetro, enquanto os maiores possuem diâmetro em torno de 157,5  $\mu\text{m}$ .

Na Figura 3, verifica-se a boa sinterização do material. As estruturas do tipo fibra são, provavelmente, devido ao polímero natural do amido, possuindo largura de aproximadamente 1,56  $\mu\text{m}$ .

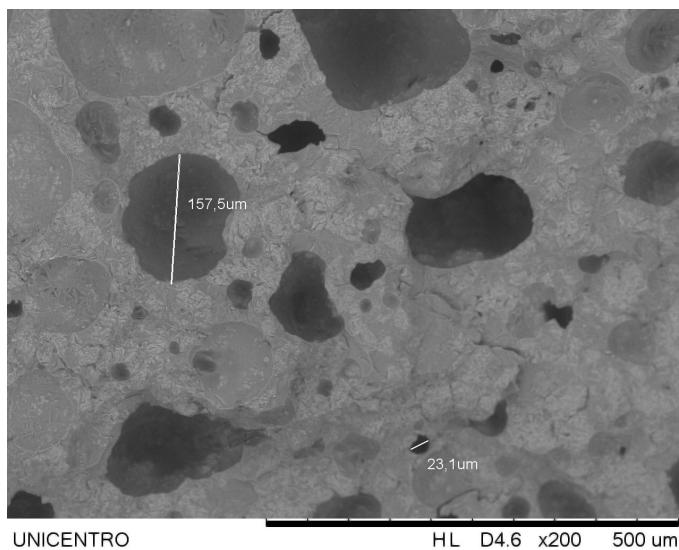


Figura 2 – Microscopia Eletrônica de Varredura das amostras de compósitos sinterizados. No detalhe é possível ver o tamanho e morfologia dos poros.

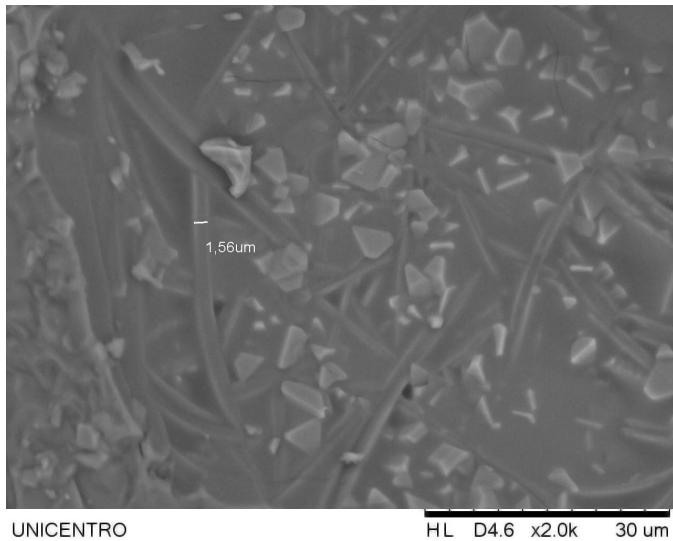


Figura 3 – Microscopia Eletrônica de Varredura mostrando a boa sinterização do compósito obtido.

Para avaliar as fases cristalinas formadas após sinterização do compósito, realizou-se análise por Difração de raios X (DRX), representada na Figura 4.

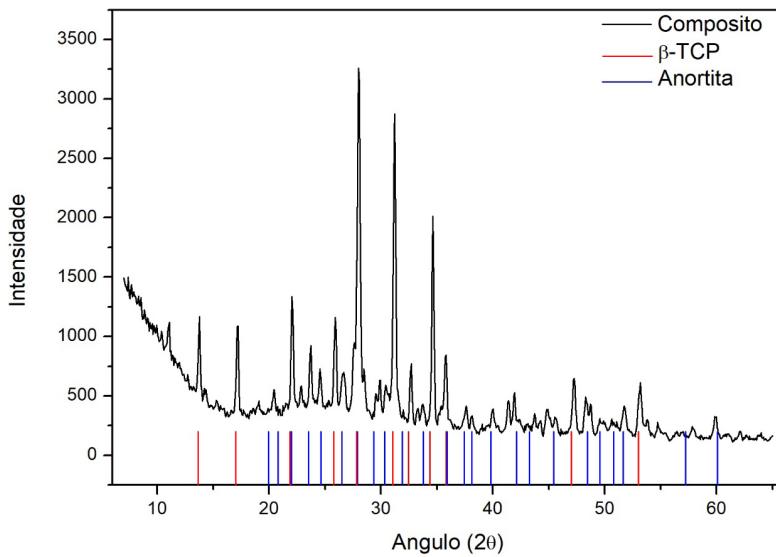


Figura 4 – Difração de raios X da amostra do compósito obtido indicando as fases cristalinas principais como beta-fosfato tricálcico, JCPDS # 09-0169 e Anortita JCPDS # 41-1486 de

Os resultados mostraram que as fases principais formadas no compósitos são Beta-Fosfato Tricálcico ( $\beta$ -TCP) e Anortita, como os dados de difração apresentados por Ermrich

e Peters (2006) e de acordo com os resultados obtidos por Kara e Stevens (2002). Dessa forma, o material cerâmico final, possui fosfato de cálcio em sua composição, que pode favorecer a biocompatibilidade desse material no corpo humano.

## 4 | CONCLUSÕES

A utilização do polímero de amido de milho demonstrou ser eficaz para a moldagem e formação de poros nas amostras. Com a sinterização, as amostras com reforço estrutural (incorporação de caulim e feldspato) apresentaram boa resistência mecânica para manipulação, demonstrando que foi possível obter um material cerâmico denso.

As análises por MEV mostraram a presença de poros de diferentes tamanhos bem como boa sinterização do material, possibilitando assim, o aprimoramento futuro da técnica para a aplicação na produção de diferentes tipos de próteses.

Dessa forma, é possível obter uma biocerâmica de baixo custo, considerando que o caulim e o feldspato possuem grande quantidade no país, e a hidroxiapatita e o amido de milho são matérias-primas abundantes, além de serem fontes renováveis.

## REFERÊNCIAS

BONAN, R. F. et al. **Métodos de reforço microestrutural da hidroxiapatita.** Cerâmica, v. 60, n. 355, p.402-410, jul. 2014.

BRITO, G. F. et al. **Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes.** Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 6, n. 2, p. 127 – 139, set 2011.

CORRADINI, E. et al. **Estudo comparativo de amidos termoplásticos derivados de milho com diferentes teores de amilose.** Polímeros, v. 15, n. 4, p. 268-273, nov. 2005.

ERMRICH, M.; PETERS, F. **X-ray powder diffraction data of synthetic  $\beta$ -Tricalcium Phosphate.** Zeitschrift fur Kristallographie Supplement, v. 2, n. 23, p. 523-528, 2006.

FOOK, A. C. B. M.; APARECIDA, A. H.; FOOK, M. V. L. **Desenvolvimento de biocerâmicas porosas de hidroxiapatita para utilização como scaffolds para regeneração óssea.** Revista Materia, v. 15, n. 3, p. 392-399, 2010.

GOUVÉA, D.; HIRAKATA, S.; KAHN, H. **Efeito da modificação da composição química na sinterização e microestrutura de porcelanas de ossos bovinos.** Cerâmica, v. 56, n. 340, p. 392-398, dez. 2010.

GUASTALDI, A. C.; APARECIDA, A. H. **Fosfatos de cálcio de interesse biológico: importância como biomateriais, propriedades e métodos de obtenção de recobrimentos.** Química Nova, v. 33, b.6, p. 1352-1358, jan. 2010.

JUNG, M. et al. **Comparativo entre diferentes métodos de determinação da retração linear de placas cerâmicas.** Revista Técnico Científica do IFSC, v. 3, n. 1, p. 242-251, 2012.

KARA, A.; SETVENS, R. **Characterisation of biscuit fired bone china body microstructure. Part I: XRD and SEM of crystalline phases.** Journal of the European Ceramic Society, v. 22, n. 5, p. 731-736, 2002.

KAWACHI, E. Y. et al. **Biocerâmicas: tendências e perspectivas de uma área interdisciplinar.** Química Nova, v. 23, n. 4, p. 518-522, ago. 2000.

L., G.; R., G. **Vista de Sistemas biomaterial-droga para la Liberación controlada de antibióticos.** Biomédica, p. 30-38, 1994.

MORAES, L. F. S. et al. **Gastos com o tratamento de osteoporose em idosos do Brasil (2008 – 2010): Análise dos fatores associados.** Revista Brasileira de Epidemiologia, v. 17, n.3, p. 719-734, 2014.

OCAMPO, J. G.; SIERRA, D. M. E.; PRPZCP, C. P. O. **Métodos de fabricación de cuerpos porosos de hidroxiapatita, revisión del estado del arte.** Revista ION, v. 27, n. 2, p. 55-70, 2014.

PIRES, A. L. R.; BIERHALZ, A. C. K.; MORAES, A. M. **Biomateriais: Tipos, aplicações e mercado.** Química Nova, v. 38, n. 7, p. 957-971, 2015.

PORSANI, N; K; et al. **Avaliação reológica da hidroxiapatita.** Cerâmica, v. 64, n. 371, p. 325-330, 2018.

SCHLEMMER, D.; SALES, M. J. A.; RESC, I. S. **Preparação, caracterização e degradação de blendas OS/TPS usando glicerol e óleo de buritica como plastificantes.** Polímeros, v. 20, n. 1, p.6-13, 2010.

SEPÚLVEDA, P. et al. **Hidroxiapatita porosa produzida através do gelcasting de espumas visando aplicações biomédicas.** Cerâmica, v. 45, n. 296, p. 198-202, 1999.

VALERO-VALDIVIESO, M. F.; ORTEGÓN, Y.; USCATEGUI, Y. **Biopolímeros: Avances y Perspectivas.** DYNA (Colombia), b. 80, n. 181, p. 171-180, 2013.

YAZBEK, M. A.; MARQUES NETO, J. F. **Osteoporosis and other metabolic boné diseases in older people.** Einstein, v. 6, n. 1, p. S74-S78, 2008.

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**HENRIQUE AJUZ HOLZMANN** - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

**JOÃO DALLAMUTA** - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre em engenharia elétrica pela UEL. Doutorando em Engenharia Espacial pelo INPE.

## 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

Eletrogalvanização 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

Ultramicrodureza 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)

-instagram: @atenaeditora

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

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