

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 Federacl do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa 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. Givaniildo 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. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Lillian 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 3

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

Data de aceite: 01/07/2021

Data de submissão: 06/05/2021

**Camila Ferreira da Silva**

Universidade Federal Fluminense

Volta Redonda – RJ

<https://orcid.org/0000-0002-6141-9556>

**Patrícia Guimarães Monteiro de Freitas**

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro - RJ

<https://orcid.org/0000-0001-5946-8984>

**Ronaldo Gomes de Castro Medeiros**

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro - RJ

<https://orcid.org/0000-0002-7988-8289>

**RESUMO:** Materiais vítreos se destacam pela diversidade de composições em que podem ser obtidos. Este estudo visa investigar algumas das propriedades mecânicas de um vidro niobofosfato obtido com adição de escória siderúrgica em sua composição. Por meio da nanoindentação Berkovich foi possível mapear curvas de carga-descarregamento, obtendo a dureza e o módulo de elasticidade associados a este novo material e identificando deste modo elementos relevantes para a caracterização mecânica da superfície do vidro.

**PALAVRAS - CHAVE:** Vidro; Escória; Ultramicrodureza; Nanoindentação.

DETERMINATION OF HARDNESS AND MODULUS OF ELASTICITY THROUGH BERKOVICH NANOINDENTATION FOR NIOBOPHOSPHATE GLASS SYNTHETIZED WITH LD STEELSLAG

**ABSTRACT:** Vitreous materials stand out due to their diversity concerning their obtention. This paper aims to investigate some mechanical properties of a niobium phosphate glass added with steel slag on its chemical composition. Through Berkovich nanoindentation it was possible to map load-unload curves, obtaining the hardness and modulus of elasticity inherent to this new material and so, to identify key elements to mechanical characterization of the glass surface. **KEYWORDS:** Glass; Slag; Ultramicrohardness; Nanoindentation.

### 1 | INTRODUÇÃO

De acordo com Shelby (2005) vidros podem ser descritos como sólidos amorfos onde não existe uma ordem de longo alcance e periodicidade em termos de arranjo atômico, exibindo uma região caracterizada como faixa de transição vítrea. Zanotto (2017), numa atualização recente, propõe uma análise mais particular do estado vítreo, ressaltando que ao seu estado de sólido não cristalino também está aliada uma contínua relaxação estrutural que o faz tender ao estado líquido numa escala infinita. Materiais vítreos se destacam pela diversidade de composições em que podem ser obtidos. Neste contexto, existem diversas

lacunas sobre as características associadas a estas novas composições vítreas em que cabe investigação.

Conforme exposto por Jiang *et. al.* (2018), durante a produção do aço - sejam aços ao carbono comum ou aços inoxidáveis – são geradas de 15% a 20% de escória para cada tonelada de produto final. Deste modo, é de crucial relevância conferir para este rejeito aplicações alternativas, visando diminuir a quantidade de escória disposta no meio ambiente.

Numa siderúrgica, a aciaria é setor onde é realizado o processo metalúrgico de refino do aço, no qual o material sofre ajustes em sua composição química visando adequá-lo para a aplicação a qual se destina (naval, aeronáutica, linha branca, entre outras). Neste contexto, escórias de aciaria LD são aquelas originadas em conversores a oxigênio do tipo Linz Donawitz, também chamados de BOF (Basic Oxygen Furnace) e BOS (Basic Oxygen Steelmaking), os quais segundo Rajesh (2010) são responsáveis por promover uma série de reações exotérmicas de oxidação no ferro gusa visando à obtenção de aço como produto final.

A adição de escórias em concreto, misturas asfálticas e para a correção da basicidade dos solos tem sido feita de forma sistemática e de acordo com Guo (2018), estas se configuram como as principais aplicações. Esta proposta difere da linha de pesquisa da qual deriva o presente trabalho, que por sua vez objetiva a investigação de propriedades de materiais vítreos.

A amostra examinada neste estudo advém de uma sucessão de testes posteriores realizados sobre uma composição piloto (SILVA *et. al.*, 2017) no intuito de otimizar as propriedades gerais apresentadas pelos predecessores.

Quanto à nanoindentação, Jian (2009) argumenta que a mesma se revela como uma técnica poderosa para fornecer propriedades mecânicas dos materiais, utilizando para isso dados obtidos com uma curva de carga-deslocamento. Huang *et. al.* (2021) pontuam que é uma tecnologia de alta precisão consistentemente utilizada para avaliar o desempenho de materiais, onde Zhou *et. al.* (2021) destacam o caráter econômico, não destrutivo e repetível do método, que exige apenas uma pequena amostra. Liu (2018) relata que a técnica foi desenvolvida nos anos 70 com o objetivo de medir a dureza em pequenos volumes de materiais e atualmente se mostra um dos métodos mais comuns para estudar propriedades mecânicas. Vgenopoulos *et al.* (2018) ressaltam que para avaliar as propriedades elásticas, i.e., nas quais as deformações sofridas não são permanentes no material, faz-se necessário observar o comportamento de recuperação do material durante o processo de descarregamento. Ainda, elucida que ao se ater a este comportamento é possível obter um parâmetro elástico conhecido como módulo de indentação, módulo de elasticidade ou módulo de Young.

A norma ISO 14577 (2015) define a dureza como a resistência de um material à penetração permanente incidida por um material mais duro, onde esta pode ser obtida sob



um alcance macro ( $30\text{kN} \geq F \geq 2\text{N}$ ), micro ( $F < 2\text{N}$ ;  $h > 0,2\mu\text{m}$ ) ou nano ( $h \leq 0,2\mu\text{m}$ ), onde  $F$  é a força aplicada no ensaio e  $h$  se refere a profundidade da penetração. A nanoindentação é ideal para avaliar a dureza de vidros, uma vez que requer uma pequena força de teste, minimizando o risco de trincas neste material frágil.

Yovanovich (2006) esclarece que o indentador Berkovich é uma pirâmide triangular de diamante, utilizado para micro e nanoindentações investigativas de vários materiais. Diante do exposto por Fischer-Crips (2011) é preferencialmente utilizado para estudos em pequena escala, visto que sua geometria piramidal de base triangular confere uma marcação mais nítida e precisa que a Vickers (que faz uso de penetrador piramidal de base quadrada), garantindo assim um melhor controle sobre o processo de indentação.

## 2 | MÉTODOS EXPERIMENTAIS

### Síntese do Material

Material vítreo foi obtido pelo método de fusão-resfriamento, utilizando como componentes o fosfato de sódio ( $\text{NaPO}_3$ ), pentóxido de nióbio ( $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ) e escória de aciaria pulverizada. Assim, trata-se de um vidro de matriz niobofosfato. A escória utilizada é oriunda de um convertedor LD do setor de aciaria de uma usina siderúrgica integrada.

### Nanoindentação

A determinação da dureza e do módulo de elasticidade da amostra se deram através do ultramicrodurômetro dinâmico DUH 211S da Shimadzu utilizando cabeçote triangular Berkovich. Cabe salientar que a amostra vítrea não sofreu qualquer tratamento térmico para alívio de tensões internas ou incremento da dureza.

Foram realizadas 9 medidas distribuídas de forma cruciforme na superfície da amostra com um espaçamento de 0,05 mm entre cada indentação e sob uma carga máxima de 50 mN. Aplicou-se uma taxa de carregamento de 13,32 mN/segundo. A Fig. 1. ilustra a distribuição das penetrações na metodologia de medida.



Figura 1: Posicionamento das indentações na amostra em vista frontal (a direita) e em rotação no próprio eixo (a esquerda).

Fonte: Autores (2021).

As medidas foram aferidas com o auxílio do software DUH Analysis, verificando a delimitação das indentações sob lentes objetivas com aumento de 50x para corrigir eventual empilhamento ou afundamento da superfície original do material. Para a construção das curvas características e análise dos dados foi utilizado o software Origin 6.0.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a fusão da mistura e resfriamento do fundido, obteve-se uma amostra vítrea de coloração marrom-avermelhada com relativa qualidade óptica. A análise DRX não indicou evidência de picos cristalinos, exibindo halos difusos e comprovando o caráter amorfo da amostra.

Após a devida preparação superficial do novo material, i.e., desbaste por lixamento e polimento, iniciaram-se as medidas de ultramicrodureza visando caracterização mecânica da superfície. A Fig. 2. exibe uma das nanoindentações na amostra.



Figura 2: Marca microscópica na amostra devido indentação com cabeçote Berkovich.

Fonte: Autores (2021).

Verificou-se que as cargas aplicadas não ofereceram quaisquer danos severos à homogeneidade superficial do vidro, de modo que não se observou a formação ou propagação de trincas ao redor da marca de indentação associada à penetração triangular na face da amostra. A Tabela 1 mostra os parâmetros característicos e o desvio padrão associado.

	$F_{\max}$ (mN)	$h_{\max}$ (nm)	$E_{it} * 10^4$ (N/mm <sup>2</sup> )	HT115
1	50,95	748,1	6,156	581,223
2	50,95	749,0	6,165	546,146
3	50,85	740,8	6,213	539,523
4	50,85	738,5	6,260	626,901
5	50,95	743,2	6,238	532,302
6	50,93	746,3	6,125	542,536
7	50,95	736,2	6,404	442,760
8	50,93	738,4	6,491	501,054
9	50,95	739,2	6,438	542,969
<b>Média</b>	50,92	742,2	6,276	550,601
<b>Desvio Padrão</b>	0,043	4,683	0,134	35,136

Tabela 1: Dados obtidos nos testes de nanoindentação.

Fonte: Autores (2021).

As curvas carga-descarregamento das nove medidas efetuadas na amostra são exibidas a seguir. Nelas pode-se avaliar o comportamento do material quanto à profundidade da indentação em função da carga aplicada na superfície, conforme exposto na Fig. 3.

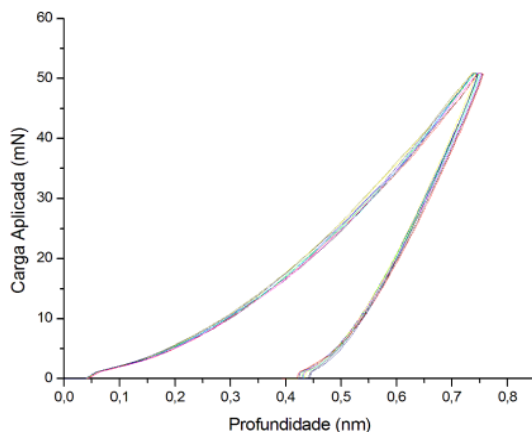


Figura 3: Curvas carga-descarregamento sobrepostas.

Fonte: Autores (2021).

A curva carga-descarregamento exibiu o comportamento típico associado a materiais

frágeis, o que condiz com a natureza vítrea da amostra obtida. A linha esquerda da curva indica a região de carregamento, enquanto a linha direita reflete a etapa de retirada da carga da superfície da amostra, ambas de forma progressiva. O pico da curva é a região na qual a máxima força foi aplicada, i.e., para este estudo uma carga de aproximadamente 50 mN está sobre o material. Um  $h_{\max}$  de 742,2 nm equivale à maior profundidade de penetração que pode ser infringida na amostra quando da aplicação da carga máxima.

O módulo de elasticidade  $E_{it}^*$  encontrado para este vidro niobofosfato com escória foi de 62,8 GPa. Outros autores encontraram resultados da mesma magnitude na investigação de seus vidros, porém, cabe salientar a natureza de cada matriz vítrea. Chorfa *et. al.* (2010), ao submeterem suas amostras à indentação Berkovich verificaram para um vidro soda-lime e para um borosilicato (Pyrex) os valores de 74 GPa e 63 GPa, respectivamente. Malzbender (2000) relata um módulo de elasticidade de 75 GPa para um substrato de soda-lime num compósito. Peng *et. al.* (2018) encontraram para vidros borosilicatos de sódio módulos de elasticidade valores situados entre 81,2 GPa até aproximadamente 89,3 GPa.

A amostra apresenta uma dureza triangular dinâmica de 5,5 GPa. Para vidros com a presença de  $P_2O_5$  como formador na matriz, os valores de dureza encontrados neste estudo condizem com os relatados por Salama (1994), que avaliando variações na carga aplicada no teste de óxidos modificadores na matriz de fosfato encontrou valores situados entre 336 HV e 641 HV, i.e., 3,3 GPa até 6,3 GPa.

De fato, os aspectos associados à rigidez da matriz influenciam no módulo de elasticidade do material. Quanto a dureza, cabe mencionar que um aumento na energia de ligação iônica entre os átomos, o que num primeiro momento pode ser relacionada à diferença de raio iônico, implica em maior resistência tanto química quanto mecânica.

## 4 | CONCLUSÃO

Foi possível obter uma amostra vítrea da composição proposta, com qualidade óptica, cujo caráter amorfo foi confirmado por DRX com a ausência de picos cristalinos. Ademais, a caracterização mecânica por nanoindentação exibiu resultados coerentes onde o módulo de elasticidade e ultramicrodureza associados foram compatíveis com a literatura para a mesma classe de materiais. Sugere-se que além das investigações mecânicas, sejam efetuadas de análises de caráter físico-químico, no intuito de obter uma caracterização completa das propriedades do novo material.

## REFERÊNCIAS

CHORFA, A. et al. **Glass hardness and elastic modulus determination by nanoindentation using displacement and energy methods**. *Ceramics – Silikáty*, v. 54, n. 3, p. 225-234, 2010.

FISCHER-CRIPPS, A. **Nanoindentation**. Tradução. New York: Springer, 2011.

GUO, J.; BAO, Y.; WANG, M. **Steel slag in China: Treatment, recycling, and management.** Waste Management, v. 78, p. 318-330, 2018.

HUANG, J. et al. **Nano mechanical property analysis of single crystal copper using Berkovich nano indenter and molecular dynamic simulation.** Computational Materials Science, v. 188, p. 110237, 2021.

ISO 14577-1:2015, **Metallic materials — Instrumented indentation test for hardness and materials parameters — Part 1: Test method**

JIAN, S.; JANG, J. **Berkovich nanoindentation on InP.** Journal of Alloys and Compounds, v. 482, n. 1-2, p. 498-501, 2009.

JIANG, Y. et al. **Characteristics of steel slags and their use in cement and concrete—A review.** Resources, Conservation and Recycling, v. 136, p. 187-197, 2018.

LIU, K.; OSTADHASSAN, M.; BUBACH, B. **Application of nanoindentation to characterize creep behavior of oil shales.** Journal of Petroleum Science and Engineering, v. 167, p. 729-736, 2018.

MALZBENDER, J.; DE WITH, G.; DEN TOONDER, J. **Determination of the elastic modulus and hardness of sol-gel coatings on glass: influence of indenter geometry.** Thin Solid Films, v. 372, n. 1-2, p. 134-143, 2000.

PENG, H. et al. **Variation of hardness and modulus of sodium borosilicate glass irradiated with different ions.** Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, v. 435, p. 214-218, 2018.

RAJESH, N.; KHARE, M.; PABI, S. **Feed forward neural network for prediction of end blow oxygen in LD converter steel making.** Materials Research, v. 13, n. 1, p. 15-19, 2010.

SALAMA, S.; EL-BATAL, H. **Microhardness of phosphate glasses.** Journal of Non-Crystalline Solids, v. 168, n. 1-2, p. 179-185, 1994.

SHELBY, J. **Introduction to glass science and technology.** Tradução. 2. ed. [s.l.] Royal Society of Chemistry, 2005.

SILVA, C. et al. **Síntese e caracterização elipsométrica de vidro à base de escória de distribuidor.** Anais do Congresso Anual da ABM, 2017.

VGENOPOULOS, D. et al. **Nanoindentation analysis of oriented polypropylene: Influence of elastic properties in tension and compression.** Polymer, v. 151, p. 197-207, 2018.

YOVANOVICH, M. **Micro and macro hardness measurements, correlations, and contact models.** 44th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. Anais. Reno, Nevada: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2006.

ZANOTTO, E.; MAURO, J. **The glassy state of matter: Its definition and ultimate fate.** Journal of Non-Crystalline Solids, v. 471, p. 490-495, 2017.

ZHOU, Z. et al. **Estimating macrofracture toughness of sandstone based on nanoindentation.** *Geofluids*, v. 2021, p. 1-10, 2021.

## 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