

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
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^a Dr^a Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Prof^a Dr^a 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
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^a Dr^a Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^a Dr^a 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
Prof^a Dr^a Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^a Dr^a Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal 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
Prof^a Dr^a Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^a Dr^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^a Dr^a Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

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

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
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. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFGA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. 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

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

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

Data de aceite: 01/07/2021

Data de submissão: 05/06/2021

Kerolene Barboza da Silva

Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Engenharia, campus de
Guaratinguetá - São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/8554305601491359>

Valdir Alves Guimarães

Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Engenharia, campus de
Guaratinguetá - São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/0046683123125878>

Ana Paula Rosifini Alves Claro

Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Engenharia, campus de
Guaratinguetá – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/2302418953025459>

RESUMO: Nos últimos anos, titânio e suas ligas têm sido amplamente estudados com o objetivo de acelerar e melhorar o processo de osseointegração por meio de alterações superficiais. O tratamento alcalino e térmico é um método típico de modificação da superfície, responsável pelo surgimento de uma camada microporosa de óxidos bioativos. No entanto, é importante lembrar que os implantes trabalham sob a ação de carregamentos mecânicos complexos e que, em várias situações, é bastante comum a ocorrência de falhas por fadiga. Uma vez que a superfície do implante está sujeita a maiores solicitações que qualquer outra parte,

suas características são muito importantes. O objetivo da presente pesquisa é estudar a influência da alteração de superfície, por meio da realização do tratamento alcalino e térmico, no comportamento em fadiga da liga Ti30Ta. O trabalho foi iniciado com a fusão dos elementos da liga em forno a arco voltaico em atmosfera de argônio, seguido de tratamento térmico e forjamento rotativo. Para o estudo de fadiga foram confeccionados corpos de provas padrão. A modificação da superfície foi realizada por meio do tratamento alcalino em solução de NaOH 1,5 M e tratamento térmico. Posteriormente, os corpos de prova foram ensaiados em fadiga. A caracterização utilizou técnicas de microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura, difração de raios X, rugosidade e ângulo de contato. Os resultados obtidos sugerem que a modificação da superfície, dentro das condições realizadas, não influenciou no desempenho mecânico da liga Ti30Ta.

PALAVRAS-CHAVE: Fadiga. Ligas de titânio. Tratamento alcalino. Propriedades mecânicas. Biomateriais.

FATIGUE BEHAVIOR OF THE TI-30TA ALLOY AFTER ALKALINE AND HEAT TREATMENT - BIOMEDICAL APPLICATIONS

ABSTRACT: In recent years, titanium and its alloys have been studied in order to accelerate and to improve the osseointegration process by superficial changes. Alkaline and heat treatment is a typical method of surface modification by surface deposition of bioactive oxides with a porous surface. However, it is important to remember

that the implants work under the action of complex mechanical loads and the occurrence of failures due to fatigue is quite common in many situations. Since the surface implant is subject to greater demands than any other part, its characteristics are very important. The goal of this research is to study the influence of modification surface on the fatigue behavior of the Ti30Ta alloy. This work was started with the experimental alloy obtained by melting of the elements in a voltaic arc furnace, heat treatment and cold work. For the fatigue study were prepared specimens. The surface modification was carried out by alkaline treatment using NaOH solution 1,5 M and heat treatment. Later, the specimens were tested in fatigue. The characterization was performed using optical microscopy, scanning electron microscopy, X - ray diffraction, roughness and contact angle. The results obtained suggested that surface modification did not affected the Ti30Ta alloy mechanical performance.

KEYWORDS: Fatigue. Titanium alloys. Alkaline treatment. Mechanical properties. Biomaterials.

1 | INTRODUÇÃO

Os materiais empregados para a substituição e regeneração da estrutura óssea enquadram-se no grupo de materiais denominados biomateriais. Estes materiais devem oferecer um conjunto de propriedades físicas, químicas e biológicas que permitam exercer a função desejada, além de estimular uma resposta adequada dos tecidos vivos (GUASTALDI; APARECIDA, 2010).

A demanda por biomateriais cresce continuamente devido ao aumento da expectativa de vida. A população mundial está ficando cada vez mais velha e estima-se que no ano de 2050 21,1% da população mundial, mais de dois bilhões de pessoas, tenha idade superior a 60 anos. Também intensificam o mercado dos biomateriais, a elevação do poder aquisitivo das pessoas nos países emergentes, que propiciam o tratamento de vários tipos de doenças e ainda, os progressos tecnológicos na abordagem de enfermidades antes vistas como não tratáveis (PIRES; BIERHALZ; MORAES, 2015).

Nos últimos anos, houve um progresso significativo no uso de dispositivos médicos avançados e implantes. O mercado dos implantes foi avaliado em US\$ 79,1 bilhões em 2014, desde então, estima-se um crescimento de 6,73% ao ano atingindo US\$ 133 bilhões em 2022 (FLOROIAN et al., 2016).

Em torno de 70 a 80% dos implantes são feitos a partir de biomateriais metálicos (NIINOMI; NAKAI; HIEDA, 2012). Os metais e suas ligas são amplamente utilizados nos diferentes campos da biomedicina, tais como aplicações ortopédicas, dentárias, cardiovasculares entre outros. São requisitos essenciais para a utilização de um biomaterial em implantes: elevada resistência à corrosão e mecânica, biocompatibilidade, módulo de elasticidade próximo ao do osso e resistência à fadiga (CAPELLATO et al., 2013).

Atualmente, as ligas a base de cobalto-cromo, titânio, titânio comercialmente puro (cp) e o aço inoxidável são os metais mais utilizados em aplicações biomédicas (KONATU

et al., 2016). O titânio e suas ligas são amplamente utilizados na reparação ou substituição óssea, e vêm conquistando cada vez mais espaço, devido à sua excelente resistência à corrosão, superior biocompatibilidade, elevada razão resistência/peso, e ainda menor módulo de elasticidade, o qual está mais próximo dos ossos quando comparado a outros materiais metálicos (MOHAMMED; KHAN; SIDDIQUEE, 2014).

A liga Ti-6Al-4V começou a substituir gradativamente o titânio cp na fabricação de próteses ortopédicas e implantes dentários devido à sua excelente resistência específica, resistência à corrosão e características de biocompatibilidade, no entanto, estudos relatam que os elementos presentes nesta liga, a longo prazo, podem ocasionar doenças degenerativas. Os íons de vanádio podem alterar a cinética da atividade associada às células de resposta inflamatória, enquanto a presença de alumínio aumenta o potencial para o desenvolvimento do mal de Alzheimer (KONATU et al., 2016) (MOHAMMED; KHAN; SIDDIQUEE, 2014).

O módulo de elasticidade é considerado uma das propriedades mecânicas mais importantes por conta do efeito “*stress shielding*”, que é uma das principais causas de cirurgias de revisão (HUSSEIN et al., 2016). Devido à alta rigidez do material implantado o osso não está devidamente carregado, o que leva gradativamente a atrofia óssea e afrouxamento do implante. O uso de material de baixo módulo de elasticidade pode bloquear ou dificultar este efeito (KIRMANIDOU et al., 2016).

Diversos estudos têm sido realizados com Ti, Zr, Nb, Mo, Ta e Sn visando desenvolver novos materiais para implantação com melhores propriedades mecânicas, baixo módulo de elasticidade, excelente biocompatibilidade e que possam ser introduzidos com segurança no corpo humano (HUSSEIN et al., 2016). O tântalo é um metal que, devido a sua biocompatibilidade e alta resistência à corrosão, vem sendo bastante utilizado em aplicações biomédicas. Conhecido por sua excelente tenacidade à fratura e trabalhabilidade, o tântalo tem sido uma das apostas consideradas na busca por melhores propriedades mecânicas e biológicas para as ligas de titânio (RODRIGUES, 2013).

As ligas do sistema Ti-Ta têm sido estudadas na busca de proporções ideais de liga que possam oferecer propriedades mecânicas semelhantes ao tecido vivo e superior biocompatibilidade. Em particular, a liga Ti30Ta fornece propriedades mecânicas mais próximas do tecido natural do que os materiais metálicos disponíveis comercialmente, apresentando menor módulo de elasticidade, resistência à deformação melhorada e superior alongamento (CAPELLATO et al., 2012).

Além das propriedades já apresentadas, a osseointegração é um requisito fundamental na determinação do sucesso ou falha do implante. Abordagens atuais investem na modificação superficial com intuito de possibilitar a deposição de materiais análogos ao osso, como a apatita, por processos físicos e químicos, com o objetivo de favorecer ainda mais a formação e o crescimento ósseo neoformado e, com isso, diminuir o tempo de osseointegração (CAPELLATO et al., 2013).

Uma das maneiras empregadas para aperfeiçoar o uso do titânio e suas ligas em implantes tem sido a modificação superficial através do tratamento alcalino e térmico. Este tratamento é um método químico de mudança da superfície responsável pelo surgimento de óxidos bioativos com uma superfície porosa nanoestruturada, que quando em contato com fluídos corpóreos é capaz de estimular a formação de apatita biologicamente ativa. Estudos realizados por Zareidoost et al. (2012) relataram que o aumento da rugosidade superficial do implante propicia a proliferação de células formadoras do tecido ósseo, bem como o aumento da adsorção de proteínas, dessa forma acelerando o processo de osseointegração.

De acordo com Claros et al. (2016) o comportamento em fadiga de um implante metálico, principalmente a nucleação de uma trinca, pode sofrer influência da modificação superficial. Uma superfície mais rugosa pode modificar o desempenho mecânico, diminuir a integridade estrutural e diminuir a resistência à fadiga, visto que a presença de elevadores de estresse em um espécime carregado acelera o estágio inicial de crescimento da trinca. Para Campanelli et al. (2017) a aplicação bem-sucedida de materiais portadores de carga com superfície modificada, exige comprovada resistência à fadiga.

Como o equilíbrio entre propriedades biológicas e mecânicas é um desafio na concepção de um implante submetido a cargas cíclicas, a proposta do presente estudo é analisar o comportamento em fadiga da liga Ti-30Ta após tratamento alcalino e térmico. O resultado foi comparado com a resposta da mesma liga sem o referido tratamento.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Processamento da liga e obtenção das amostras

No início deste trabalho, foram realizadas as operações para obtenção da liga Ti-30Ta %p a partir do titânio comercialmente puro (grau II) e tântalo com 99,9% de pureza. A pesagem dos elementos foi realizada em uma balança analítica de acordo com a composição escolhida. A fusão foi realizada em forno a arco voltaico com atmosfera inerte (gás argônio) e cadinho de cobre refrigerado, onde os materiais foram dispostos por ordem de densidade, o mais denso (Ta) sobre o menos denso (Ti). A fusão dos metais ocorre pela passagem de corrente elétrica entre o eletrodo inerte de tungstênio e o material sobre o cadinho de cobre. A liga foi refundida por pelo menos 10 vezes para garantir a homogeneidade da composição.

Após a fusão, os lingotes foram tratados termicamente para garantir a uniformidade da estrutura e estabilizar uma fase mais suscetível à deformação mecânica, respectivamente, visto que posteriormente seriam forjados à frio. O tratamento térmico de homogeneização foi realizado em forno tubular a 1000 °C durante 1440 minutos (24 horas) e seguido do resfriamento lento dos lingotes. O tratamento térmico de solubilização foi realizado também em forno tubular, mediante o aquecimento da liga à 950 °C por 120 minutos (2 horas). Em

seguida, foram usados água e gelo para o resfriamento brusco.

O forjamento faz-se necessário para a obtenção de amostras com dimensões regulares. Os lingotes foram deformados através da aplicação de forças de compressão de forma radial, que a cada passe estabeleceu uma redução de cerca de 20% no diâmetro, permitindo um tarugo com diâmetro final de 9,5 mm. Após o forjamento os tarugos foram novamente solubilizados, devido ao elevado grau de encruamento na etapa de forjamento. O tratamento térmico de solubilização foi realizado nas mesmas condições mencionadas anteriormente.

Todos os tarugos obtidos foram destinados à confecção dos corpos de prova padrão para a realização do ensaio de fadiga de acordo com a norma ASTM E 466. Cada tarugo foi cortado e usinado com as dimensões apresentadas no esquema da Figura 1. Novamente, após a etapa de usinagem, os corpos de prova foram solubilizados para remover possíveis tensões residuais.

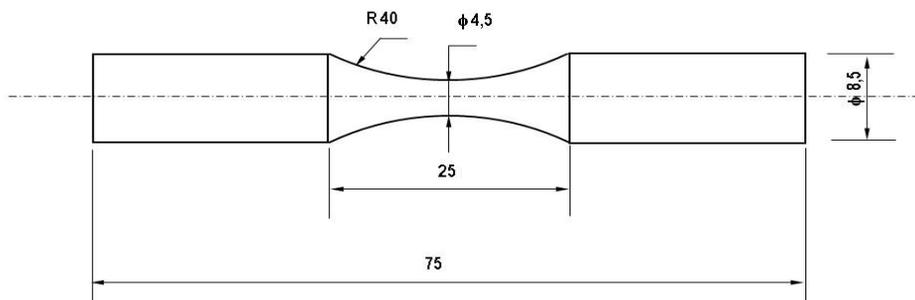


Figura 1 – Forma e dimensões (mm) dos corpos de prova de fadiga.

Fonte: Autor.

2.2 Tratamento alcalino e térmico

O tratamento de superfície foi realizado diretamente nos corpos de prova de fadiga, que foram antecipadamente lixados com lixas de granulometria 100 e então lavados em ultrassom com água destilada e acetona por 30 minutos. Durante o tratamento alcalino, os corpos de prova estiveram imersos em solução de NaOH 1,5M, onde permaneceram em banho-maria a 60 °C por 24 horas. Finalizado o tratamento alcalino, os corpos de prova foram lavados com água destilada e secos em estufa a 40 °C por 24 horas. Durante o tratamento térmico os corpos de prova foram mantidos a 300 °C por 1 hora e resfriados lentamente até a temperatura ambiente.

2.3 Ensaio de resistência à fadiga

O ensaio de fadiga axial foi realizado em um equipamento servo-hidráulico (Instron). Para o teste, foi utilizado um carregamento senoidal de amplitude constante com controle

de carga, razão de carregamento $R= 0,1$ e frequência de 10 Hz à temperatura ambiente. Para a definição das tensões nas quais a liga foi ensaiada, partiu-se de parâmetros de propriedades estabelecidos em trabalhos previamente realizados com a liga. Bortolini Júnior (2016) realizou a caracterização mecânica da liga Ti-30Ta na condição solubilizada, conforme os seguintes dados da Tabela 1.

	Limite de resistência à tração (MPa)	Tensão de escoamento (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Deformação (%)
Ti-30Ta	528	357	48	13,2

Tabela 1 - Propriedades mecânicas da liga Ti-30Ta.

Fonte: Bortolini Júnior (2016).

O critério inicialmente posto para a definição das tensões aplicadas foi baseado na tensão limite de resistência à tração da liga (528 MPa), sobre o qual se adotou 85%. As tensões seguintes foram progressivamente reduzidas. Neste estudo, a resistência à fadiga foi definida como a tensão máxima na qual a amostra não falha em 10^6 ciclos.

2.4 Caracterização da liga

Amostras com 3 mm de espessura cortadas a partir dos tarugos após o forjamento foram lixadas com lixas d'água de carbeto de silício (SiC) com grana de 100 a 1500. Após o lixamento as amostras foram limpas em banho ultrassônico com água destilada. O polimento foi realizado com solução de sílica coloidal e ácido oxálico (5%) e quando finalizado, as amostras foram novamente lavadas em banho ultrassônico. Em seguida, foi realizado o ataque químico em solução de 5 ml de HF, 30 ml de HNO_3 e 65 ml de H_2O com a imersão da superfície por 15 segundos seguido de lavagem em água corrente e secagem. Para identificar as fases presentes uma análise de difração foi realizada a temperatura ambiente em um difratômetro de raios X (PANalytical, Empréan) utilizando os seguintes parâmetros: potência de 40 kV, corrente de 25 mA, comprimento de onda do $\text{Cu K}\alpha$, varredura entre os ângulos 20° e 90° , com velocidade angular de varredura de $0,02^\circ/\text{s}$.

A microscopia eletrônica de varredura foi empregada visando uma análise comparativa entre a morfologia superficial da liga em duas condições, com e sem tratamento alcalino e térmico. A molhabilidade da superfície foi avaliada por meio da medida do ângulo de contato, com auxílio de um goniômetro (Krüss) automatizado, em amostras com e sem tratamento alcalino e térmico. As alterações de rugosidade na liga Ti-30Ta, induzidas pela modificação de superfície, foram realizadas medidas de rugosidade (Ra) com um rugosímetro (Mahr, Marsurf M300). As medidas foram registradas para as duas condições superficiais estudadas, substrato e com tratamento alcalino e térmico, em três pontos diferentes dentro do comprimento útil do corpo de prova e determinadas através da média

aritmética dos valores obtidos.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização da liga experimental

A microestrutura da liga Ti-30Ta é mostrada na Figura 2 (a). A imagem revela a presença da fase ortorrômbica α'' formada a partir do tratamento térmico de solubilização. As estruturas finas e paralelas, semelhante a uma agulha, que podem ser observadas evidenciam a existência desta fase. As ligas de titânio com adição de tântalo apresentam uma redução na temperatura de transformação alotrópica, visto que o tântalo é classificado com um elemento β -estabilizador e facilita a formação de fase β . No entanto, para a liga de Ti-30Ta a quantidade adicionada de tântalo não é suficiente para estabilizar por completo a fase β , tornando-a metaestável. (KONATU et al., 2016). Zhou *et al.* (2004) verificou a formação de martensita ou fase α'' em ligas de Ti-Ta, como resultado da decomposição da fase β , quando estas apresentaram teores de tântalo entre 30 e 50 % e foram resfriadas rapidamente a partir do campo β a 950 °C ou sofreram deformação mecânica. De acordo com Zhou; Niinomi (2009), a fase metaestável α'' confere as ligas do sistema Ti-Ta uma boa combinação de baixo módulo de elasticidade e superior resistência à deformação em relação à fase β .

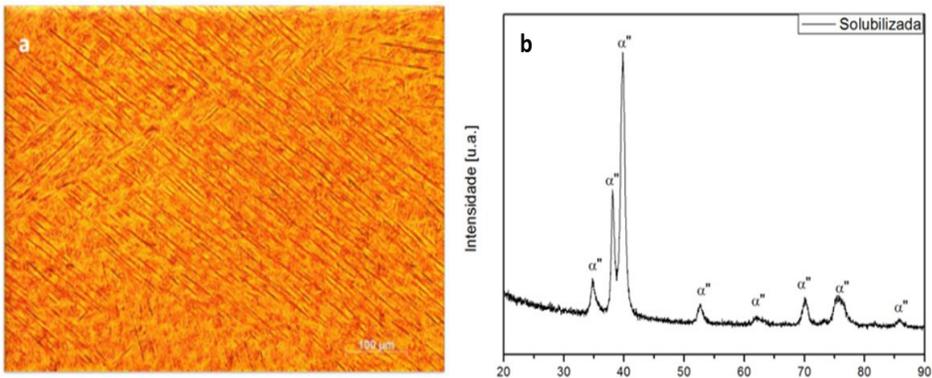


Figura 2 - Micrografia da liga Ti-30Ta após processamento (a) ampliação de 10000x e (b) difratograma de raios X.

Fonte: Autor.

A microestrutura da liga Ti-30Ta também foi investigada por difração de raios X. O espectro, Figura 2 (b), apresentou picos característicos da fase α'' formada durante a solubilização. Estes resultados também foram verificados em estudos realizados para o

sistema Ti-Ta por Konatu et al. (2016). De acordo com Zhou et al. (2007) as ligas do sistema Ti-Ta com teor de tântalo de 30%p levam a retenção de fase α à temperatura ambiente. Segundo Ehtemam-Haghighi et al. (2016) o mecanismo de transformação martensítica que origina a fase ortorrômbica α' pode ocorrer devido ao resfriamento rápido sem a presença de esforços mecânicos ou por meio de conformação mecânica. Esta fase também pode ser encontrada em ligas de titânio pertencentes a outros sistemas binários e ternários, como por exemplo, Ti-7,5Mo e Ti-Fe-Nb (HO et al., 1999).

3.2 Caracterização da superfície modificada

Na Figura 3, é mostrada uma sequência de imagens, obtidas por microscopia eletrônica de varredura que permitem descrever as características da superfície da liga Ti-30Ta, tanto substrato quanto após a modificação superficial com o tratamento alcalino e térmico.

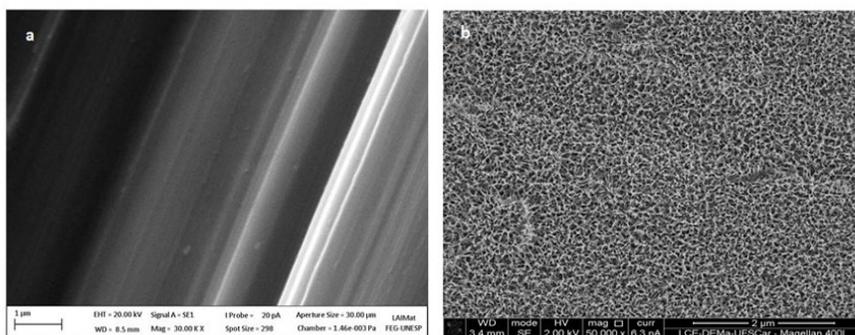


Figura 3 - Micrografias da superfície das amostras obtidas por MEV (a) substrato (grupo controle) e (b) após tratamento alcalino e térmico.

Fonte: Autor.

Baseado nas imagens apresentadas é possível observar a formação de um filme poroso sobre a superfície após o tratamento alcalino e térmico, que ocasionou uma pequena alteração na topografia, Figura 3 (b), enquanto para o substrato apenas sulcos resultantes do lixamento podem ser notados, Figura 3 (a).

Uma análise qualitativa do filme formado após o tratamento de superfície foi obtida a partir da caracterização por EDS, que indicou a presença de elementos como Ti, Ta, Na e O_2 . A composição química do filme óxido formado sugere a deposição de uma camada de tantalato de sódio sobre a superfície do substrato após a modificação com NaOH, conforme observado na Figura 4.

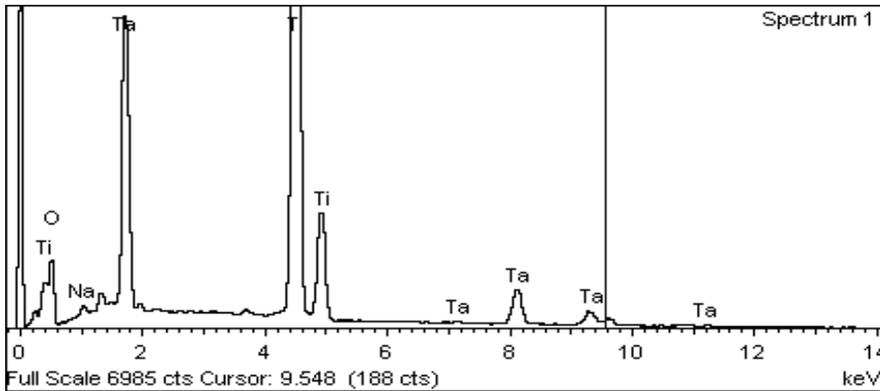


Figura 4 – Espectro de EDS da liga Ti-30Ta após tratamento alcalino e térmico.

Fonte: Autor

Uma camada de tantalato hidratado carregado negativamente forma-se sobre a superfície e incorpora íons Na^+ para manter a neutralidade. Como resultado é formado uma camada de tantalato de sódio na superfície da liga (WADA, 2016). Os resultados também foram encontrados por Cho et al. (2013) indicando que a superfície da liga Ti-30Ta submetida ao tratamento alcalino é composta principalmente por Na_5TaO_5 e $\text{Na}_2\text{Ti}_5\text{O}_{11}$. Capellato et al. (2013) sugere que superfície da liga Ti-30Ta modificada quimicamente apresenta uma camada de hidrogel de tantalato de sódio amorfo.

De acordo com Asri et al. (2017), a mudança na rugosidade superficial provocada pelo surgimento de uma camada porosa de tantalato de sódio após tratamento químico com NaOH é introduzida nos implantes metálicos com o objetivo de melhorar sua adesão com o tecido ósseo. A rugosidade favorece a nucleação de apatita, pois aumenta a superfície total disponível para aposição óssea, que em maior quantidade é capaz de promover a rápida fixação biológica dos implantes. No presente estudo foi verificado que a rugosidade média da superfície da liga de Ti-30Ta aumentou após a modificação de superfície, como mostrado na Tabela 2. O substrato (grupo controle) apresentou uma rugosidade de aproximadamente $1,31 \mu\text{m}$. Depois de realizado o tratamento alcalino e térmico a superfície apresentou-se mais rugosa do que inicialmente, com uma medida de $1,44 \mu\text{m}$. Alguns estudos relatam que o aumento da rugosidade superficial estimula a atividade celular. E ainda, que as ligas de titânio com rugosidade superficial entre $0,80\text{-}1,90 \mu\text{m}$ possuem melhores respostas celulares do que as ligas com rugosidade superficial de $0,2 \mu\text{m}$ (OU; WANG, 2016).

Amostra	Ângulo de contato (°)		Rugosidade (μm)
Substrato (controle)	61,0 + 0,97		1,31
Tratamento alcalino e térmico	21,1 + 0,68		1,44

Tabela 2 – Medidas de ângulo de contato e rugosidade da superfície.

Fonte: Autor.

A Tabela 2 permite observar também os resultados das medidas de ângulo de contato para as duas condições superficiais estudadas. O tratamento alcalino e térmico diminuiu o ângulo de contato da superfície em relação ao substrato, tornando-a mais hidrofílica. As medidas do ângulo de contato obtidas após tratamento alcalino e térmico foram semelhantes aos encontrados por Carvalho (2013).

Uma superfície caracterizada por ângulo menor que 90° é denominada hidrofílica, e aquelas com ângulo superior a 90°, hidrofóbica. Estudos realizados por Eliaz et al. (2009) verificou como a resposta celular pode ser influenciada pela energia de superfície, em amostras de titânio. Variando a molhabilidade, o autor comprovou que superfícies hidrofóbicas, de menor energia superficial, exibem menor densidade celular quando comparadas a superfícies hidrofílicas. Os materiais para aplicação biomédica, via de regra devem ser mais hidrofílicos, pois este com maior energia superficial favorece a interação biológica (ESCADA et al., 2010).

3.3 Comportamento em fadiga

Os resultados obtidos a partir da realização dos ensaios de fadiga encontrados neste estudo são apresentados na Tabela 3. A partir da sua realização foi possível avaliar o comportamento da liga em fadiga após a modificação da superfície com tratamento alcalino e térmico empregando a superfície lixada como grupo controle.

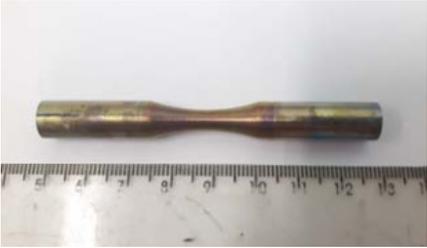
Condição	Tensão (MPa)	Número de ciclos	
Substrato (controle)	340	1000000	
Tratamento alcalino e térmico	340		

Tabela 3– Caracterização em fadiga da liga experimental Ti-30Ta.

Fonte: Autor.

A partir dos dados da Tabela 3 é possível notar que em um nível de tensão específica (340 MPa) a liga Ti-30Ta atinge 10^6 ciclos, entrando na categoria de vida infinita. Após a implantação, o comportamento ideal dos dispositivos sugere seu funcionamento em regime de fadiga de alto ciclo, para usar com confiança os implantes por um longo período de tempo, visto que uma falha repentina pode acarretar sérios danos ao indivíduo (NIINOMI, 2007).

A equivalência dos dados obtidos indica que a vida em fadiga neste nível de tensão é idêntica dentro das condições superficiais analisadas. Esses resultados sugerem que a camada superficial modificada pelo tratamento alcalino e térmico com os parâmetros previamente especificados, tem pouca influência sobre o comportamento em fadiga da liga Ti-30Ta, principalmente no regime de fadiga de alto ciclo onde, segundo Campanelli et al. (2017) a nucleação de trinca é muito sensível a condição da superficial.

4 | CONCLUSÃO

A partir deste trabalho foi possível concluir que:

- O tratamento alcalino e térmico, dentro dos parâmetros apresentados neste trabalho, mostrou-se eficaz na modificação da superfície. O filme microporoso formado possui características, que de acordo com a literatura, beneficia a formação de apatita e melhora a aderência entre o substrato e o tecido ósseo;
- O resultado do ensaio de fadiga sugere que a modificação da superfície empre-

gando o tratamento alcalino e térmico não apresentou significativa influência sobre a resistência à fadiga da liga Ti30Ta, visto que o mesmo o comportamento foi observado em ambas as condições analisadas.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, R. R.R., BITTENCOURT, C., TSURUTA, K. M., RADE, R.S.L. **Fadiga de materiais – Uma revisão bibliográfica**. XII Seminário de iniciação científica – Universidade Federal de Uberlândia, 2008.
- ASRI, R.I.M.; HARUN, W.S.W.; SAMYKANO, M.; LAH, N.A.C.; GHANI, S.A.C; TARLOCHAN, F.; RAZA, M.R. Corrosion and surface modification on biocompatible metals: A review. **Materials Science and Engineering**, v. 77, p. 1261–1274, 2017.
- BORTOLINI JÚNIOR, C. **Influência da deformação a frio na recristalização da liga Ti30Ta para aplicações biomédicas**. 2016. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia mecânica) – Universidade estadual paulista, Guaratinguetá, 2016.
- CAMPANELLI, L.C.; SILVA, P.S.C.P.; JUNIOR, A.M.J.; BOLFARINI, C. Effect of hydrogen on the fatigue behavior of the near- β Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr alloy. **Scripta Materialia**, v. 132, p. 39-43, 2017.
- CAPELLATO P.; SMITH, B.S; POPAT, K.C.; CLARO A.P.R.A. Fibroblast functionality on novel Ti-30Ta nanotube array. **Materials Science and Engineering C**, v. 32, p. 2060-2067, 2012.
- CAPELLATO, P.; RIEDEL, N.A.; WILLIAMS, J.D.; MACHADO, J.P.B.; KETUL, C.P.; CLARO, A.P.R.A. Engineering, **Surface Modification on Ti-30Ta Alloy for Biomedical Application**. v. 5, p. 707-713, 2013.
- CAPELLATO P.; ESCADA A.L.A.; POPAT, K.C.; CLARO A.P.R.A. Interaction between mesenchymal stem cells and Ti-30Ta alloy after surface treatment. **J Biomed Mater Res Part A**, v. 102, p. 2147–2156, 2014.
- CARVALHO, L.M.F. **Avaliação de implantes dentários da liga experimental Ti30Ta após tratamento de superfície biomimético e imobilização com bisfosfonato**. 2013. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.
- CHO, K.; NIINOMI, M.; NAKAI, M.; HIEDA, J.; TAO, X. Effects of Alloying Elements on the HAP Formability on Ti Alloys after Alkali Treatment. **Materials Transactions**, v. 54, n. 8, p. 1295-1301, 2013.
- CLAROS, C.A.E.; OLIVEIRA, D.P.; CAMPANELLI, L.C.; SILVA, P.S.C.P.; BOLFARINI, C. Fatigue behavior of Ti–6Al–4V alloy in saline solution with the surface modified at a micro- and nanoscale by chemical treatment. **Materials Science and Engineering**, v. 67, p. 425–432, 2016.
- CORDEIRO, J.M.; BARÃO, V.A.R. Is there scientific evidence favoring the substitution of commercially pure titanium with titanium alloys for the manufacture of dental implants? **Materials Science and Engineering**, v. 71, p. 1201-1215, 2017.
- ELIAZ, N.; SHMUELI, S.; SHUR, I.; BENAYAHU, D.; ARONOV, D.; ROSENMAN, G. The effect of surface treatment on the surface texture and contact angle of electrochemically deposited hydroxyapatite coating and on its interaction with bone-forming cells. **Acta Biomaterialia**, v. 5, p. 3178–3191, 2009.

EHTERMAM-HAGHIGHI, S.; LUI, Y.; CAO, G.; ZHANG, L. Influence of Nb on the β \rightarrow α' martensitic phase transformation and properties of the newly designed Ti-Fe-Nb alloys. *Materials Science and Engineering C*, v. 60, p. 503-510, 2016.

ESCADA, A.L.A.; RODRIGUES JR, D.; MACHADO, J.P.B.; CLARO, A.P.R.A. Surface Characterization of Ti-7.5Mo Alloy Modified by Biomimetic Method. *Surface and Coatings Technology*, v. 205, n. 2, p. 383-387, 2010.

FLOROIAN, L.; RISTOSCU, C.; MIHAILESCU, N.; NEGUT, I.; BADEA, M.; URSUTIU, D.; CHIFIRIUC, M.C.; URZICA, J.; DYIA, H.M.; BLEOTU, C.; MIHAILESCU, I.N. Functionalized Antimicrobial Composite Thin Films Printing for Stainless Steel Implant Coatings. *Molecules*, v. 21, p. 2-18, 2016.

GEPREEL, M.A.H.; NIINOMI M. Biocompatibility of Ti-alloys for long-term implantation. *Journal of them mechanical behavior of biomedical materials*, v. 20, p. 407-415, 2013.

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, n. 6, p. 1352-1358, 2010.

HO, W.F., JU, C.P., CHERN LIN, J.H. Structure and properties of cast binary Ti-Mo alloys. *Biomaterials*, v. 20, n. 22, p. 2115-2122, 1999.

HUSSEIN, A.H.; GEPREEL, M.A.H.; GOUDA, M.K.; HEFNAWY, A.M.; KANDIL, S.H. Biocompatibility of new Ti-Nb-Ta base alloys. *Materials Science and Engineering*, v. 61, p. 574-578, 2016.

KHORASANI, A.M.; GOLDBERG, M.; DOEVEN, E.H.; LITTLEFAIR, G. Titanium in Biomedical Applications-Properties and Fabrication: A Review. *Journal of Biomaterials and Tissue Engineering*, v. 5, p. 593-619, 2015.

KIRMANIDOU, Y.; SIDIRA, M.; DROSOU, M.E.; BENNANI, V.; BAKOPOULOU, A.; TSOUKNIDAS, A.; MICHAILIDIS, N.; MICHALAKIS, K. New Ti-Alloys and Surface Modifications to Improve the Mechanical Properties and the Biological Response to Orthopedic and Dental Implants: A Review. *BioMed Research International*, p. 1-21, 2016.

KONATU, R.T.; SILVA, K.B.; BARROS, F.S.; CLARO, A.P.R.A. Análise do processamento da liga Ti30Ta visando aplicação biomédica. *Arch Health Invest*, v. 5, p. 235-240, 2016.

KUNCICKÁ, L.; KOCICH, R.; LOWE, T.C. Advances in metals and alloys for joint replacement. *Progress in Materials Science*, v. 88, p. 232-280, 2017.

LI, T., KENT, D.; SHA, G.; STEPHENSON, L.T.; CEGUERRA, A.V.; RINGER, S.P.; DARGUSCH, M.S.; CAIRNEY, J. M. New insights into the phase transformations to isothermal ω and ω -assisted α in near β -Ti alloys. *Acta Materialia*, v. 106, p. 353-366, 2016.

MADHUKAR, S.; SAI, P.V.; KUMAR, S.; PRAKASH, D.J. Experimental Investigation on Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties of Titanium Alloy (Ti-6Al-4V). *International Journal of Current Engineering and Technology*, v. 7, n. 1, p. 238-242, 2017.

MANAM, N.S.; HARUN, W.S.W.; SHRI, D.N.A.; GHANI, S.A.C.; KURNIAWAN, T.; ISMAIL, M.H.; IBRAHIM, M.H.I. Study of corrosion in biocompatible metals for implants: A review. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 701, p. 698-715, 2017.

MOHAMMED, M.T.; KHAN, Z.A.; SIDDIQUEE, A.N. Surface Modifications of Titanium Materials for developing Corrosion Behavior in Human Body Environment: A Review. **Procedia Materials Science**, v. 6, p. 1610-1618, 2014.

NIINOMI, M. Fatigue characteristics of metallic biomaterials. **International Journal of Fatigue**, v. 29, p. 992 – 1000, 2007.

NIINOMI, M. Mechanical biocompatibilities of titanium alloys for biomedical applications. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v.1, p.30-42, 2008.

NIINOMI, M.; NAKAI, M.; HIEDA, J. Development of new metallic alloys for biomedical applications. **Acta Biomaterialia**, v. 8, p. 3888-3903, 2012.

OLIVEIRA, B.J.S.; CAMPANELLI, L.C.; OLIVEIRA, D.P.; GUERRA, A.P.B.; BOLFORINI, C. Surface characterization and fatigue performance of a chemical-etched Ti-6Al-4V femoral stem for cementless hip arthroplasty. **Surface & Coatings Technology**, v. 309, p. 1126-1134, 2017.

OLIVEIRA, F., FERREIRA, J. L. A., ARAÚJO, J. A. 2009. **Determinação da resistência à fadiga do aço astm a743 – CA6NM**. Brasília: Universidade de Brasília, Tomo 1 Curva s-n, metodologia, ensaios e resultados.

OU, S., WANG, C. Fabrication of a hydroxyapatite-containing coating on Ti-Ta alloy by electrical discharge coating and hydrothermal treatment. **Surface & Coatings Technology**, v. 302, p. 238-243, 2016.

PIRES, A.L.R.; BIERHALZ, A.C.K.; MORAES, A.M. Biomateriais: tipos, aplicações e mercado. **Química nova**, v. 28, n. 7, p. 957-971, 2015.

PRASAD, S.; EHRENSBERGER, M.; GIBSON, M.P.; KIM, H.; MONACO JR, E. A. Biomaterial properties of titanium in dentistry. **Journal of oral Biosciences**, v. 52, p. 192-199, 2015.

RODRIGUES, L.B. Aplicações biomédicas em ortopedia. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 9, p. 63-76, 2013.

VOORWALD, H.J.C., PADILHA, R., COSTA, M.Y.P., CIOFFI, M.O.H. Effect of electroless nickel interlayer on the fatigue strength of chromium electroplated AISI 4340 steel. **International Journal of Fatigue**, v. 29, n.4, p. 695-704, 2007.

WADA, C.M. **Estudo da osseointegração de implantes de liga Ti30Ta instalados sem estabilidade primária. Influência da associação adesivo fibrínico/ácido tranexâmico e da superfície bioativa**. 2016. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2016.

WANG, P.; WU, L.; FENG, Y.; BAI, J.; ZHANG, B.; SONG, J.; GUAN, S. Microstructure and mechanical properties of a newly developed low Young's modulus Ti-15Zr-5Cr-2Al biomedical alloy. **Materials Science and Engineering**, v. 72, p. 536-542, 2107.

ZAREIDOOST, A., YOUSEFPOUR, M., GHASEME, B., AMANZADEH, A. The relationship of surface roughness and cell response of chemical surface modification of titanium. **J Mater Sci Mater Med**, v. 23, n. 6, p. 1479-88, 2012

ZHOU, Y.L.; NIINOMI, M.; AKAHORI, T. Effects of Ta content on Young's modulus and tensile properties of binary Ti-Ta alloys for biomedical applications. **Materials Science and Engineering**, v. 371, p. 283-290, 2004.

ZHOU, Y.L.; NIINOMI, M.; AKAHORI, T.; FUKUI, H.; TODA, H. Corrosion resistance and biocompatibility of Ti-Ta alloys for biomedical applications. **Materials Science and Engineering**, v. 398, p. 28-36, 2005.

ZHOU, Y.L.; NIINOMI, M.; AKAHORI, T.; NAKAI, M.; FUKUI, H. Comparison of Various Properties between Titanium-Tantalum Alloy and Pure Titanium for Biomedical Applications. **Materials Transactions**, v. 48, n. 3, p. 380-384, 2007.

ZHOU, Y.L., NIINOMI, M. Ti-25Ta alloy with the best mechanical compatibility in Ti-Ta alloys for biomedical applications. **Materials Science and Engineering: C**, v. 29, n.3, p. 1061-1065, 2009.

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



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



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