

Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta 2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora
Ano 2021

Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta 2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora
Ano 2021

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

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

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfnas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

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

Linguística, Letras e Artes

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

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^ª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Prof^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Prof^ª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Prof^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Engenharia de materiais e metalúrgica: tudo à sua volta 2

Editora Chefe: Prof^ª Dr^ª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremona
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)

E57 Engenharia de materiais e metalúrgica: tudo à sua volta 2 / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5706-962-2
DOI 10.22533/at.ed.622210504

1. Engenharia. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. Título.
CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais, se tornou um dos grandes pilares da revolução técnica industrial, devido a necessidade de desenvolvimento de novos materiais, que apresentem melhores características e propriedades físico-químicas. 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. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Boa leitura.

Henrique Ajuz Holzmann

João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL E PERFIL DE MICRODUREZA DE AÇO API 5L X80 OBTIDO POR PROCESSO TMCR

Cláudio Beserra Martins Júnior
Ana Larissa Soares Cruz
Ermeson David dos Santos Silva
Nicolas Moreira de Carvalho Gomes
Vinícius Pereira Bacurau
Maria das Dores Bandeira Barroso
Rosilda Benício de Souza
Edvânia Trajano Teó ilo

DOI 10.22533/at.ed.6222105041

CAPÍTULO 2..... 14

INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E MICROESTRUTURA DO AÇO SAE 1035 PELO PROCESSO GMAW

Charlon Widson Leite Costa
José Costa de Macêdo Neto
Adalberto Gomes de Miranda
Luiz Antônio de Verçosa

DOI 10.22533/at.ed.6222105042

CAPÍTULO 3..... 29

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO DE NORMALIZAÇÃO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO SAE 1035 UTILIZADO EM MOTOCICLETAS

Andrews Raphael da Silva Vieira
José Costa de Macêdo Neto
Adalberto Gomes de Miranda
Luiz Antônio de Verçosa
Gilberto García Del Pino
Reinaldo de Almeida Rodrigues
Denise Andrade do Nascimento

DOI 10.22533/at.ed.6222105043

CAPÍTULO 4..... 40

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO CRIOGÊNICO PROFUNDO NAS TEMPERATURAS DE TRANSFORMAÇÃO DE FASE E NA ESTABILIZAÇÃO DA CAPACIDADE DE RECUPERAÇÃO DE FORMA DA LIGA Cu-14Al-4Ni COM EFEITO MEMÓRIA DE FORMA

Marcelo Nava
Emmanuel Pacheco Rocha Lima

DOI 10.22533/at.ed.6222105044

CAPÍTULO 5..... 63

ANÁLISE DE FALHA POR FRATURA EM PLACA NÃO ABSORVÍVEL PARA OSTEOSSÍNTESE

Luís Eduardo da Cunha Ferro

Jorge de Souza e Silva Neto
Daniel Kioshi Kawasaki Cavalcanti
Rosemere de Araújo Alves Lima
Marília Garcia Diniz
DOI 10.22533/at.ed.6222105045

CAPÍTULO 6..... 76

PROTEÇÃO ANTICORROSIVA PARA ESTRUTURAS DE AÇO EM ATMOSFERAS INDUSTRIAIS E MARINHAS COM SISTEMA DE TINTA BASE AQUOSA ACRÍLICA

Idalina Vieira Aoki
Fernando Cotting
Paulo Cezar Maziero Tiano

DOI 10.22533/at.ed.6222105046

CAPÍTULO 7..... 92

COLORAÇÃO DO TITÂNIO COM LASER E RUGOSIDADE

Luis Miguel Moncayo Morales
Carlos Nelson Elias
Francielly Moura de Souza Soares
Dyanni Manhães Barbosa

DOI 10.22533/at.ed.6222105047

CAPÍTULO 8..... 100

AVALIAÇÃO DE PROCESSOS DE CORROSÃO INFLUENCIADA MICROBIOLOGICAMENTE EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Mariana Isabeli Valentim
José Carlos Alves Galvão
Karoline Caetano da Silva
Rozane de Fatima Turchiello Gomez

DOI 10.22533/at.ed.6222105048

CAPÍTULO 9..... 111

ANÁLISE DA RECUPERAÇÃO DE CROMO NA LAMA DE ACIARIA POR MEIO DE BRIQUETES AUTORREDUTORES À BASE DE CARBONO

Raphael Mariano de Souza
Diego Santa Rosa Coradini
José Roberto de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.6222105049

CAPÍTULO 10..... 120

RESPOSTA AO IMPACTO BALÍSTICO DE COMPÓSITOS DE ALUMINA-UHMWPE IRRADIADOS COM RAIOS GAMA

André Ben-Hur da Silva Figueiredo
Hélio de Carvalho Vital
Ricardo Pondé Weber
Édio Pereira Lima Júnior
João Gabriel Passos Rodrigues
Letícia dos Santos Aguilera

Ronaldo Sergio de Biasi

DOI 10.22533/at.ed.62221050410

CAPÍTULO 11..... 133

INFLUÊNCIA DA TÉCNICA “TWO STEPS SINTERING” NA REDUÇÃO DA POROSIDADE DAS CERÂMICAS VERMELHAS

André Lucas Reboli Pagoto

Valdi Antonio Rodrigues Junior

DOI 10.22533/at.ed.62221050411

CAPÍTULO 12..... 138

COMPARAÇÃO ENTRE POLI (acrilonitrila-co-butadieno-co-estireno) (ABS) E POLIPROPILENO (PP). POR QUE POLÍMEROS COM ÍNDICE DE FLUIDEZ SIMILARES NÃO APRESENTAM O MESMO DESEMPENHO TÉRMICO E MECÂNICO?

Rogério Massanori Sakahara

Wang Shu Hui

Daniel José da Silva

Luiz Henriques

DOI 10.22533/at.ed.62221050412

CAPÍTULO 13..... 151

UMA SÍNTESE DOS AVANÇOS EM MATERIAIS COMPÓSITOS DE POLIURETANO NA REMOÇÃO DE ÓLEO DA ÁGUA

Karen de França Gonçalves

Luiz Fernando do Nascimento Vieira

Ricardo Pondé Weber

Sergio Neves Monteiro

DOI 10.22533/at.ed.62221050413

CAPÍTULO 14..... 164

FIBRA DE BAMBU: UMA NOVA ALTERNATIVA PARA COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Bárbara Maria Ribeiro Guimarães

Marcelo Barbosa Furtini

Josy Antevêli Osajima

José Benedito Guimarães Junior

DOI 10.22533/at.ed.62221050414

CAPÍTULO 15..... 174

MEMBRANAS DE QUITOSANA-BIOATIVO NATURAL PARA USO POTENCIAL COMO CURATIVOS

Itamara Farias Leite

Wwandson Felipe Wanderley

Alanne Tamize de Medeiros Salviano

DOI 10.22533/at.ed.62221050415

CAPÍTULO 16..... 187

SÍNTESE DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE UMA MEMBRANA BIOLÓGICA

OBTIDA A PARTIR DA FIBROÍNA PRESENTE NO CASULO DO BICHO DA SEDA

Ingrid Russoni de Lima

Mara Carolina do Carmo Paresque

Lucas Furtado Loesh Pereira

Bonifácio de Oliveira Fialho

Heleno Souza da Silva

Renata Antoum Simão

José Adilson de Castro

Gláucio Soares Fonseca

DOI 10.22533/at.ed.62221050416

SOBRE OS ORGANIZADORES200

ÍNDICE REMISSIVO.....201

CAPÍTULO 16

SÍNTESE DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE UMA MEMBRANA BIOLÓGICA OBTIDA A PARTIR DA FIBROÍNA PRESENTE NO CASULO DO BICHO DA SEDA

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 08/03/2021

Ingrid Russoni de Lima

Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica
EEIMVR/UFF
VoltaRedonda-Rio de Janeiro-RJ, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8559550666210154>
<https://orcid.org/0000-0001-7715-4655>

Mara Carolina do Carmo Paresque

Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica
EEIMVR/UFF
VoltaRedonda-Rio de Janeiro-RJ, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0795538502560865>

Lucas Furtado Loesh Pereira

Pós Graduação em Engenharia Mecânica
EEIMVR/UFF
VoltaRedonda-Rio de Janeiro-RJ, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/814169975116092>

Bonifácio de Oliveira Fialho

Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica
EEIMVR/UFF
VoltaRedonda-Rio de Janeiro-RJ, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7485229060205071>

Heleno Souza da Silva

Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica e
de Materiais-COPPE/UFRJ
Rio de Janeiro-RJ, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1931061609906993>

Renata Antoum Simão

Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica e
de Materiais-COPPE/UFRJ
Rio de Janeiro-RJ, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7450433597868881>

José Adilson de Castro

Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica
EEIMVR/UFF
VoltaRedonda-Rio de Janeiro-RJ, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4613010410524009>

Gláucio Soares Fonseca

Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica
EEIMVR/UFF
VoltaRedonda-Rio de Janeiro-RJ, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9663765935778795>

RESUMO: Defeitos críticos em tecido ósseo constituem um problema de reparo do tecido pois a velocidade das células fibroblásticas (do tecido conjuntivo) é maior do que a das células ósseas o que impede estas de compor a maior parte do reparo. Assim, é necessária uma barreira biológica (membrana de fibroína funcionalizada) que atue impedindo que os fibroblastos preencham mais o defeito ósseo do que os osteoblastos e, assim, promover uma reparação efetiva por parte dos osteoblastos. A membrana para regeneração tecidual guiada (RGO) foi desenvolvida pelo método reverso a partir do uso do liofilizador (por processo de liofilização) que é capaz de transformar o estado líquido da fibroína do bicho da seda em estado de cristallitos sólidos com objetivo de realizar o recobrimento de superfície em membrana de fibroína. Desenvolveu-se o protocolo no laboratório até que este recobrimento de superfície se tornasse viável. Foi obtida assim sobre substrato inerte uma membrana contendo cristais sólidos de fibroína. A membrana foi caracterizada por Microscopia de varredura (MEV), Análise termogravimétrica (TGA),

Difração dos Raios X (DRX) e Microscopia de Força Atômica (AFM). Além disso foi possível fazer a modelagem mecânica das propriedades da mesma. Resultados mostram a obtenção da membrana de fibroína com a presença de microporosidades e topografia adequada que favorece a interação celular. As análises de TGA mostram que a perda de massa ocorreu a 200°C. A análise de MEV mostrou uma topografia de superfície com formação de glóbulos de fibroína com perspectiva de biointeração celular devido ao substrato preparado. O substrato mostrou a presença de microcristalitos semicristalinos no DRX e identificou a presença da proteína por meio da identificação no espectro Raman. Foi possível obter a modelagem a partir do ANSYS das propriedades mecânicas da membrana de fibroína. Dessa maneira, a membrana de fibroína com morfologia, estrutura e degradação compatível foi obtida e com grande perspectiva de aplicação futura.

PALAVRAS-CHAVE: Método de síntese por liofilização, fibroína, membrana, caracterização físico-química.

SYNTHESIS OF PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERIZATION OF A BIOLOGICAL MEMBRANE OBTAINED FROM THE FIBROIN IN THE SILKWORM COCOON

ABSTRACT: Critical bone defects constitute a problem of repair of tissue as the velocity of fibroblastic cells (conjunctive tissue) is higher than the bone cells and that stops them from being a greater part of the repair process. As such, a biological barrier is necessary as a functionalized membrane in order to allow an adequate barrier to fibroblasts, and also promote an effective repair by two osteoblasts. A membrane for guided technical regeneration (RGO) was developed by the reverse method from the use of a lyophilizer (by lyophilization process) that is capable of transforming the liquid state of fibroin from the silk bug into a state of solid crystallites for the purpose of manufacturing or surface recovery in fibroin membrane. We developed the laboratory protocol that ensured this surface covering becomes viable. A membrane containing solid fibroin crystals was obtained on an inert and biocompatible substrate. The membrane was characterized by Scanning Electron Microscopy (SEM), Thermogravimetric Analysis (TGA), X-Ray Diffraction () and Atomic Force Microscopy (AFM). Furthermore, it was possible to model the mechanical properties of it. Results show the obtaining of a fibroin membrane with the presence of microporosities and adequate topography that favors cellular interaction. The TGA analysis shows that mass loss occurred at 200°C. SEM analysis shows a surface topography with fibroin globule formation with the prospect of cellular biointeraction due to the prepared substrate. The substrate showed the presence of semi-crystalline microcrystallites on XRD and identified the presence of the protein by means of identification on the Raman spectrum. An ANSYS model of the mechanical properties of the fibroin membrane was obtained. As such, a fibroin membrane with compatible morphology, structure and degradation was obtained with a great prospect of future application.

KEYWORDS: Synthesis method by lyophilization, fibroin, membrane, physical-chemical characterization.

1 | INTRODUÇÃO

Superfícies biocompatíveis e com possibilidade de aplicação em regeneração

tecidual guiada (RGO) vem sendo estudadas. Proteínas de superfícies podem ser funcionalizadas na superfície permitindo uma biointeração mais efetiva com os fluidos biológicos (Kundu, 2013). A Fibroína vem sendo estudada como biomaterial devido à sua perspectiva em relação a biocompatibilidade, e também a suas propriedades mecânicas inerentes de resistência mecânica sob espessuras mínimas. Além disso a fibroína é uma proteína insolúvel sintetizada por aranhas, pela larva do bicho-da-seda (*bombyx mori*) e por outras mariposas como *Antheraea*, *Cricula*, *Samia* (mariposa), *Gonometa* e numerosos outros insetos (Arunkumar, 2006). A fibroína obtida a partir do casulo do bico da seda (*bombyx mori*) é uma das mais pesquisados pela técnica de cultivo aliada a extração e métodos químicos para obtenção de seus fios de fibroína. A estrutura de célula unitária básica é de proteína que consiste em folhas beta antiparalelas onde a sequência Glicina-Serina-Glicina-Alanina-Glicina-Alanina) é a sua estrutura primária. A porcentagem de Glicina maior presente permite a embalagem apertada da folha como podemos observar na Figura 1 abaixo. É composto de fios de espessura nanométrica que consiste em um fio biológico de maior resistência mecânica à tração em menor espessura, o que também contribui para a estrutura e resistência mecânica além da biocompatibilidade da seda. Dentre os materiais biológicos existentes, a fibroína é uma das que possui maior resistência mecânica em nanoescala, em especial em relação as suas nanofibras, por isso tem-se despertado enorme interesse dos cientistas a respeito dessa proteína (Koh, 2015).

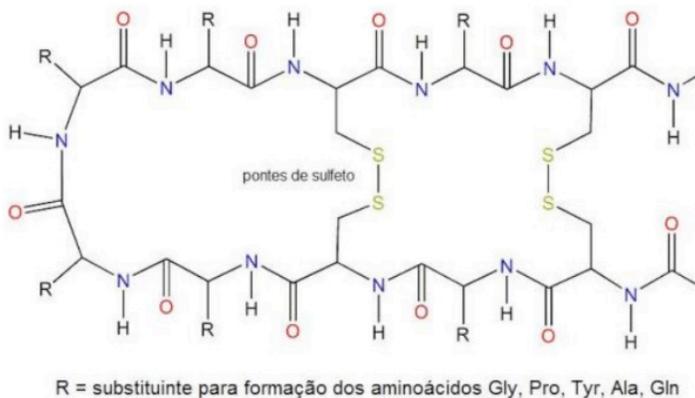


Figura 1: Estrutura molecular da Fibroína

A proteína fibroína usada neste trabalho como recobrimento de membrana é oriunda do bicho da seda. Neste caso o casulo é composto por serina e fibroína, sendo que nosso interesse se concentra apenas na parte da fibroína (proteína com massa molecular de 25 a 325 KDa). Sua organização estrutural sobre 3 estruturas de duas cadeias uma de alto e a outra com baixo peso molecular, suas fibras possuem entre 10 e 25 μm de diâmetro,

e a seda I é a fibroína das glândulas emitida a partir do bicho da seda (*Bombyx mori*), a seda II do arranjo de moléculas de fibroína, sendo a seda I composta de domínios amorfos e a seda II de domínio cristalino e fase com melhores propriedades mecânicas, além seda III que representa a interface entre a proteína, o ar e a água (Araújo, 2018). O objeto de usar a proteína fibroína como superfície da membrana seria o de produzir superfícies mais biocompatíveis favorecendo assim a sua melhor interatividade e biointeração com o meio e fluidos biológicos cujo tempo e interação inicial são condições sinequanon. Assim, o objetivo do nosso trabalho foi o de produzir membrana inteiramente recoberta com a proteína fibroína. Primeiro, preparou-se um padrão inicial de membrana para que, a partir desse ponto focar na parte da otimização do processo propriamente dito. Produziu-se biomembranas com expectativa futura de serem biocompatíveis para aplicação de regeneração óssea guiada. A fibroína vem apresentando um enorme potencial de aplicação na regeneração tecidual, em especial, e regeneração tecidual óssea guiada como membrana de barreira. Neste trabalho houve a produção de membranas de fibroína obtidas pelo método de aspersão. Assim, após a conversão do estado líquido obtido do extrato puro, seguida de congelamento e liofilização o protocolo de obtenção foi otimizado. A metodologia usada foi a do método reverso que foi inteiramente desenvolvida em nosso laboratório com os princípios básicos a partir de algumas referências (Aciari,2013). Em média leva-se cerca de 3 meses para obter os parâmetros ótimos de protocolo padrão. Obteve-se a membrana de fibroína e, em seguida, ela foi caracterizada por análises físico-química investigando a superfície dessa membrana. As análises realizadas foram as de espectroscopia por infra-vermelho (FTIR), Análise termogravimétrica (TGA), Microscopia eletrônica de varredura (MEV). Análise por modelagem também foi realizada a partir do Programa ANSYS. Os resultados mostraram ser possível a obtenção do filme de superfície em membrana de fibroína.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Preparação das membranas de fibroína

Uma cobertura de superfície da proteína fibroína na forma de semicristais de micropartículas dispostas em glóbulos quando usado o processo reverso de transformação de estado da matéria. Isso só foi possível devido ao uso de um liofilizador (Liobras L101). Neste caso obtém-se o extrato puro de fibroína obtidos a partir da extração de casulos do bicho da seda. Em etapa normal do processo de liofilização consegue-se passar do estado da matéria sólido congelado diretamente para o estado sólido seco sem passar pelo estado líquido evitando assim a etapa crítica de “shrinked” onde corre muita perda de líquido durante a etapa intermediária, e com isso há uma contração significativa do polímero, o liofilizar permite a mudança do estado da matéria indo do sólido congelado para o sólido seco sem passar pela etapa líquida, garantindo assim a preservação das medidas das amostras sem alteração de dimensão. Neste caso, obtemos o extrato puro

de fibroína obtido de casulos do bicho da seda, com protocolo específico e dispostos comercialmente. Em seguida alíquotas do extrato são armazenadas em tubos FALCON (5 mL) por dois dias em freezer. Em seguida as alíquotas em gelo são inseridas nos suportes de vidro do liofilizador denominadas maminhas, e, uma rampa específica pré-estabelecida em regime protocolar prévio é acionada. A etapa de liofilização é programada para 48 horas e a temperatura do ciclo permanece a -50°C . Em seguida o ciclo de liofilização se processa por 2 dias consecutivos. As amostras são secas em estufa a 50°C por 5 dias consecutivos. Após o término do processo, as amostras são armazenadas em dessecador. Após a obtenção da fibroína na forma de sólido seco, a mesma é pré-aquecida a 50°C e uma pasta é formada. A pasta é pincelada e pulverizada sobre um substrato polimérico inerte. Após esta etapa a mesma é seca à estufa a 38°C por 5 dias até a aplicação. Assim, com a obtenção de cristais sólidos de fibroína e após um pequeno aquecimento em estufa forma-se uma massa pastosa na consistência de uma tinta grossa. Até conseguirmos parâmetros aceitáveis no laboratório, levamos em média 3 meses Assim elas foram pulverizadas em substrato inerte e obtidas previamente e, a estes foram pinceladas em toda a superfície da membrana com um pincel estéril. Em seguida as membranas são secas em estufa em temperaturas abaixo de 50°C .

A membrana obtida foi caracterizada por Microscopia de varredura (MEV), Análise termogravimétrica (TGA), Análise Raman, espectroscopia do infra-vermelho (FTIR), Difração dos Raios X (DRX), Microscopia de Força Atômica (AFM). Resultados prévios mostram a obtenção da membrana de fibroína com a presença de microporosidades denominadas particularmente para esta proteína como glóbulos que são estruturas que causam irregularidades na superfície como investigadas pelo MEV e AFM e que poderiam favorecer a interação celular. As análises de TGA mostram que a perda de massa das membranas ocorreu a 200°C e isso ocorreu em todas as condições avaliadas. Ajustes em relação a hidrofília a longo prazo ainda devem ser realizados. Dessa maneira, a membrana de fibroína foi obtida e com grande perspectiva de aplicação futura.

2.2 A obtenção da fibroína desidratada por processo de Liofilização

A liofilização é o método mais comumente utilizado para a preparação de proteínas desidratadas, as quais devem apresentar estabilidade adequada por longo período de armazenagem em temperaturas ambientes (Tattini, 2006). Sendo assim, este método desenvolvido é inovador pois diminui a etapa de formação de hidrogéis e manter o formato desejável e melhor controle do processo durante a fase de preparação dos arcabouços (scaffolds) (Araújo, 2018). Obteve-se o extrato da fibroína obtida do casulo de seda, sendo que no nosso caso foi obtido comercialmente, congela-se em tubos Falcon a parte líquida por mais de 1 dia. Em seguida, tira-se imediatamente e leva-se ao liofilizador por 2 dias consecutivos obtendo assim a proteína seca na forma de cristais, de aspecto pré-pastoso.

2.3 Análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi usada a fim de identificar rugosidade de superfície e estrutura topográfica e possíveis concavidades e glóbulos de superfície. As amostras de membrana de fibroína foram metalizadas em um metalizador marca Emitech, modelo K550X, sob corrente de 50 mA por 180 s. O MEV apresenta detector de elétrons secundários (SEM IVO MA 10 Zeiss UFF Volta Redonda). Os parâmetros de operação utilizados foram voltagem de 20kVa 21.24kV, WD de 12mm e distância de trabalho de 14-15mm. Alguns recobrimentos de fibroína feitos por diferentes técnicas têm sido realizados em diferentes ensaios apresentados à Literatura, mas poucos conseguem obter um recobrimento satisfatório (Yamamoto, 2014).

2.4 Análise Termogravimétrica da membrana de Fibroína

As membranas de fibroína, bem como o extrato líquido obtido comercialmente usado como matéria prima base foram analisados no equipamento de Termogravimetria (TGA) cujo equipamento se encontra localizado na Pós-Graduação em Engenharia de Volta Redonda-UFF no equipamento SDT-600 (Steel Dragon, Mayangone, Myanmar). A amostra de membrana foi analisada em uma faixa de 25°C a 1000°C no ar e à uma taxa de aquecimento de 15 °C. As isotermas foram desenhadas para determinar a perda de massa. Sabe-se que o TGA é amplamente utilizado para avaliar degradação, desidratação, inchaço e perda de massa.

2.5 Análise de Difração de raios-X (DRX)

As análises de DRX foram usadas para caracterizar as fases presentes e a cristalinidade da membrana de fibroína obtida. As análises foram realizadas no laboratório de DRX do Instituto de Física de Niterói UFF. As análises foram realizadas em um difratômetro Bruker D8 Advance com fonte de radiação Co-K α , acessórios de medição capilar, spinner e um detector rápido LynXeye. As análises foram realizadas em uma faixa de varredura de 10 a 80 ° com passo de 0,02°, 0,5 s para cada passo e 15 rpm para a rotação do porta-amostra.

2.6 Modelagem da membrana de fibroína feita por ANSYS R 19.1 (student free))

A partir das propriedades mecânicas obtidas na literatura foi realizada uma simulação mecânica estática estrutural de deformação com a aplicação de uma força longitudinal de 1000 N em uma extremidade e um suporte fixo na extremidade oposta usando análise no programa ANSYS R 19.1.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Obtenção da membrana de fibroína

Foi possível obter a membrana de fibroína pela técnica da liofilização, seguida de aspersão sobre o substrato prévio de polímero inerte e secagem em estufa em períodos determinados. O aspecto obtido das membranas biológicas de fibroína pode ser observado abaixo, de coloração marrom acastanhado como visualizado na Figura 1 abaixo.



Figura 1: Membrana de Fibroína

3.2 Microscopia Eletrônica de varredura (MEV)

Podemos analisar no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). Obteve-se uma membrana com conformação estável e morfologia na forma de glóbulos. Foi possível avaliar a superfície topográfica da membrana e identificar um revestimento relativamente homogêneo. A proteína fibroína é disposta de maneira pura como sintetizada e processada no liofilizador e após ciclos de secagem na estufa e sua estrutura de superfície se faz presente em arranjo denominados glóbulos de superfície, estes, estando presentes em toda sua extensão de área de superfície como podemos perceber na análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Estes aspectos topográficos propiciam a presença de microporosidades, além do próprio fato da fibroína ser uma proteína biológica constituindo assim a biomembrana propriamente dita, favorecendo assim a biocompatibilidade, interação com o meio e ausência de aspectos citotóxicos.

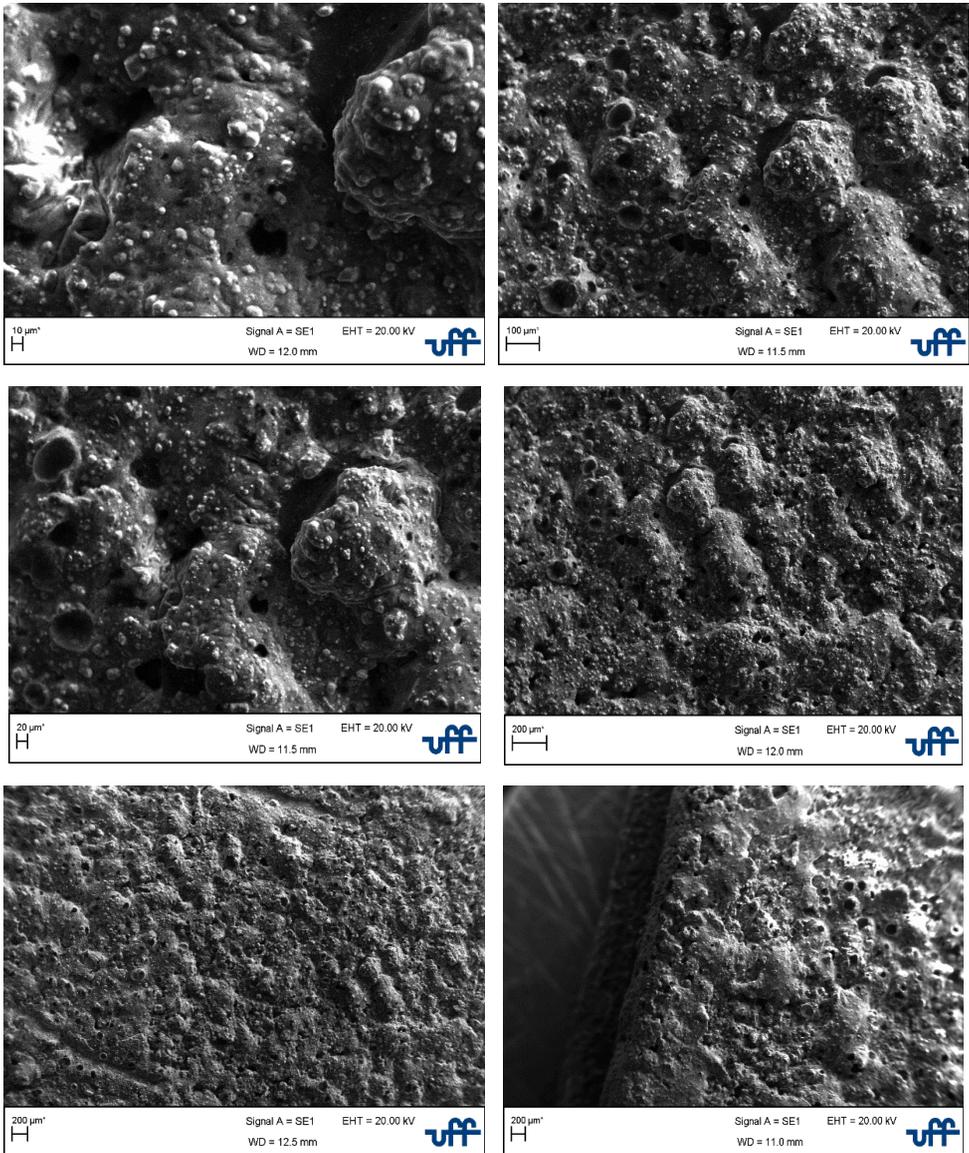


Figura 2: Análise de Microscopia eletrônica de varredura das membranas de Fibroína obtidas a partir do método proposto.

Dessa maneira, obtemos os filmes de proteína ainda que não da espessura esperada, mas a caminho de uma cobertura de superfície homogênea de fibroína, dispostas na forma de preenchimento da proteína fibroína na superfície em topografia de relevo rugoso e com aspectos de superfície do MEV sob formação de glóbulos no aspecto de superfície e capaz de revestir todo o substrato de superfície. Este aspecto no geral favorece a biocompatibilidade.

3.3 Análise termogravimétrica (TGA) das membranas obtidas de fibroína

A análise termogravimétrica (TGA) possibilita determinar continuamente a massa da amostra durante a aplicação de uma taxa de aquecimento e, com isso, a observação contínua do ponto ou faixa referencial em que ocorre a perda de massa e também quantificá-la em função do percentual dessa perda de massa. A TGA é assim muito usada para avaliar a degradação, desidratação, grau de intumescimento (inchimento higroscópico) e perda de massa. A partir da primeira derivada dessas curvas podemos prever fenômenos como o início ou o término dos processos. Durante a etapa do processo, pode-se notar que a perda de massa que ocorre na faixa de 25 a 50°C. A perda de massa também foi avaliada, neste caso a perda de massa da fibroína foi aferida primeiramente em seu estado líquido “in natura” e, em um segundo momento em seu estado sólido já na forma de membrana onde a perda de massa da membrana de fibroína ocorreu na faixa 200°C, faixa um pouco maior que o estado líquido que ocorreu na faixa de 150 °C como podemos observar na Figura 3 abaixo. A perda de massa da fibroína na forma de revestimento de superfície da membrana ocorreu na faixa de 200°C. estes estudos corroboram os estudos de Polak (2010) em um dos primeiros estudos no Brasil a respeito de fibroína.

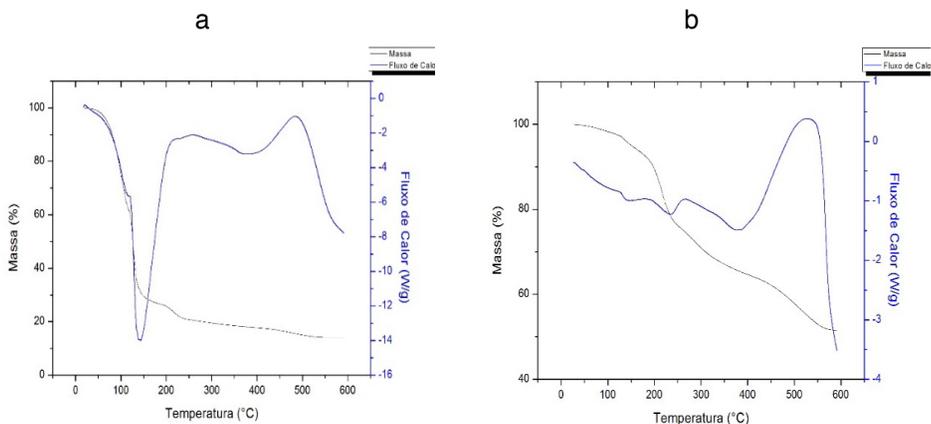


Figura 3: Análise Termogravimétrica (TGA) da proteína fibroína: a) quando ainda no estado líquido da matéria e b) quando no estado sólido da matéria\ como revestimento da membrana

3.4 Análise da membrana de fibroína por espectroscopia Raman

De acordo com esta metodologia inovadora que está sendo usada para identificar os padrões da fibroína por meio da criação de bancos de dados foi possível obter a técnica por meio de identificações dos padrões estudados em todo o mundo. Nossos resultados ainda demonstram haver problemas na determinação dos padrões talvez devido as interferências

ainda presentes na interação do laser diretamente na superfície da membrana de fibroína. Obtemos o sinal de fluorescência das amostras de fibroína estando os picos na faixa de 300, 450 e 700.

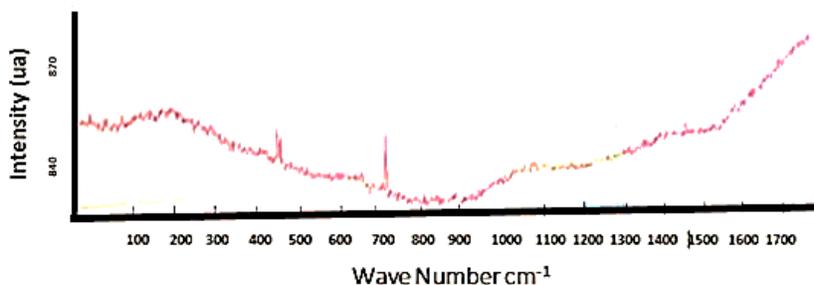


Figura 4: Espectro Raman inicial inferindo apenas fluorescência

A espectroscopia Raman tem se mostrado uma ótima ferramenta na Indústria farmacêutica pela facilidade, rapidez e monitoramento de incontáveis grupamentos químicos. É uma técnica altamente sensível, e por enquanto ainda estamos estabelecendo os padrões da membrana fibroína nos nossos bancos de dados.

3.5 Análise de DRX

As análises de DRX foram usadas para caracterizar as fases presentes e a cristalinidade da membrana de fibroína obtida mostrou um material com cristalinidade significativa estando o pico principal próximo a 37 no espectro o que demonstra significativa presença de fibroína na superfície da membrana, demonstrando assim pico característico da proteína fibroína como podemos visualizar na Figura 5 abaixo. As análises foram realizadas no laboratório de DRX do Instituto de Física de Niterói UFF.

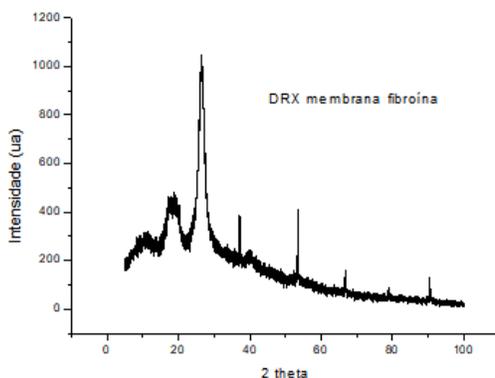


Figura 5: Análise de DRX obtido da membrana de fibroína

3.6 Modelagem da Membrana da Fibroína

Uma espessura ideal da membrana de fibroína foi tomada com base nos estudos de Bexiga, 2014 com dimensões e valores padrão tomadas a partir da tabela abaixo. Tomando as dimensões laterais e espessura média da membrana dimensões assim iremos simulamos as dimensões usando a modelagem por meio do software ANSYS 19.1.

membrana seca	espessura (mm)				massa (g)	diâmetro(mm)			
	1	2	3	média espessura		1	2	3	média D
1	0,03	0,04	0,04	0,04	0,1136	94,00	93,00	95,00	94,00
2	0,03	0,03	0,03	0,03	0,1101	94,00	94,00	94,00	94,00
3	0,03	0,03	0,04	0,03	0,1120	94,00	92,00	93,00	93,00
4	0,03	0,04	0,03	0,03	0,1144	92,00	94,00	95,00	93,67
Total				0,03	0,11				93,67

	espessura	massa (g)	diâmetro	área (cm ²)
média	0,033	0,113	93,667	688,728
variância amostra	0,000	0,000	0,167	35,915
desvio	0,002	0,002	0,408	5,993
nível de confiança	0,003	0,002	0,462	6,782
IC _{95%}	0,03±0,003	0,11±0,002	93,67±0,46	688,73±6,78
n	4	4	4	4

Tabela 1 Parâmetros usados na modelagem da membrana fibroína a partir dos estudos de Bexiga (2014)

A partir dos resultados obtidos por esta modelagem é possível verificar na Figura 6 abaixo as análises de deformação que realizadas pelo mesmo programa (Software de elementos finitos Acadêmico\student free).

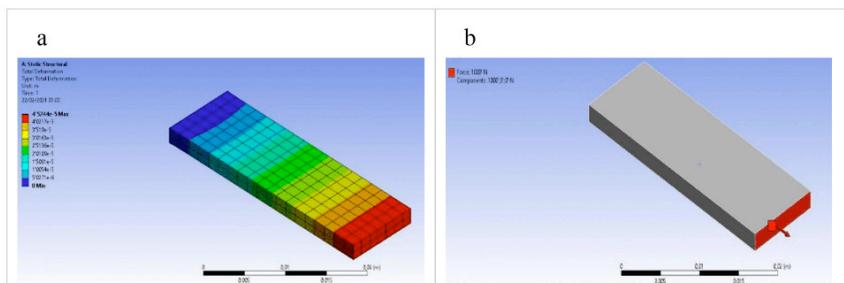


Figura 6: Modelagem a partir das propriedades mecânicas obtidas da membrana de fibroína.

Na figura 6a (perfil de deformação da membrana de fibroína) na figura 6b apresenta a simulação em carregamento de 1000N sob suporte metálico

Baseado na geometria pré disposta nos ensaio experimentais obtidos da literatura

foi possível similar o comportamento de deformação em tração da membrana de fibroína. Os resultados mostraram uma deformação máxima de 0,04mm a partir do carregamento longitudinal de 1000 newtons em uma extremidade da membrana, com a extremidade oposta em condição de suporte fixo. Os resultados obtidos da membrana de fibroína também estão de acordo com os estudos de Moraes (2010).

4 | CONCLUSÃO

Nossos resultados iniciais demonstram ser possível obter a membrana de fibroína para aplicação em regeneração óssea guiada (RGO) em defeitos críticos de tecidos ósseos, entretanto ensaios de otimização entre os parâmetros ideais em relação aos parâmetros obtidos. Foi possível obter a membrana de fibroína por meio do uso do processo de liofilização, convertendo o estado líquido da fibroína extraída do casulo do bicho da seda para semicristalitos sólidos como recobrimentos de superfície do material sintetizado perfazendo o revestimento das membranas de fibroína. As técnicas de caracterização físico-química demonstraram ser possível caracterizar as amostras no seu ponto chave em todos os parâmetros checados por meio do uso das análises realizados, sendo que o MEV demonstrou a obtenção de uma topografia favorável, já análise termogravimétrica (TGA) mostrou a perda de massa na faixa de 200°C e o pico da fibroína como grupamento químico foi identificado pela metodologia Raman.

ACKNOWLEDGMENTS

Os autores agradecem à CAPES\PNPD pelo suporte financeiro e aos Programas de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFF-Volta redonda e COPPE\UFRJ pelas análises. Agradecemos ao laboratório de DRX do Instituto de Física da UFF de Niterói.

CONFLICTS OF INTEREST

“The authors declare no conflict of interest.”

REFERÊNCIAS

Aciari, J. R.F., **Preparação de micropartículas de fibroína da seda calcificadas**. Dissertação de mestrado do programa Interunidades Bioengenharia da escola de Engenharia de São Carlos da Faculdade de Medicina de ribeirão preto. Instituto de Química de São Carlos. Universidade de São Paulo\USP, 2013.

Araújo, L. C. P., Júnior, J. M. O., Aranha, N., **Síntese e caracterização de scaffolds de fibroína**, *Matéria*, V. 23., 4., 2018, <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620180004.0546>.

Arunkumar, K. P. Muralidhar Metta & J. Nagaraju “**Molecular phylogeny of silkmoths reveals the origin of domesticated silkmoth, Bombyx mori from Chinese Bombyx mandarina and paternal inheritance of Antheraea proylei mitochondrial DNA**”. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 40 (2): 419–427., 2006.

Bexiga, N.M., **Preparo e avaliação comparativa das propriedades físico-químicas de hidrogéis de seda com conteúdo variado de serina obtidos a partir dos cloretos de cálcio e lítio em sistemas distintos de solventes**, Universidade de São paulo\USP, dissertação de mestrado faculdades de Ciências farmacêuticas, 2014.

Freire, R. A., Assunção de Jesus, M. A., Rocha, I. A., Andrade, G. S., Lima, P. A, **Preparação e caracterização de diferentes composições de enxertos 3D à base de Quitosana e fibroína para regeneração óssea guiada**, os desafios contemporâneos para a sustentabilidade e equidade em saúde, CIE. De Enfermagem., v. 1.,m. 1, 2017.

Grínia, M.,Marisa, N., Beppu, M., **Preparação e caracterização mecânica de membranas porosas e densas de fibroína de seda**, UNICAMP, departamento de Termofluidodinâmica, 8º Congresso brasileiro de polímeros.

Kundu, B., Rajkhowa, R., Kundu, S.C., Wang, X., **Silk fibroin biomaterials for tissue regenerations**, *Advanced Drug delivery reviews*, V. 65, pp. 457-470, 2013.

Koh, L, Cheng, Y, teng, C, Xian-JunLoh, Low, M., **Structures, mechanical properties and applications of silk fibroin materials, progress in polymer**, V. 46, pp.86-110, 2015.

Yamamoto, S., Okamoto, H., Asakura, T., **Rapid endothelialization and thin luminal layers in vascular grafts using silk fibrin**, *Journal of Materials Chemistry B* 4(5), 2014.

Moraes, M. A., **Obtenção e caracterização de blendas e compósitos poliméricos de fibroína de seda e alginate de sódio**., Dissertação de Mestrado à Faculdade de Engenharia Química. Universidade Estadual de CampinasÁrea de concentração de Engenharia de Processos, UNICAMP, 2010.

Polak, R., **Preparação, avaliação físico-química e biológica *in vitro*, de pericárdio bovino conjugado fibroína de seda\quitosana via liofilização e irradiação**, Universidade de São Paulo-USP, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Dissertação de mestrado, 2010.

Tattini, V., Parra, D. F., Pitombo, R. N. M, **Influência da taxa de congelamento no comportamento físico-químico e estrutural durante a liofilização da albumina bovina**, *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*; *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, v. 42, n.1, 2006.

SOBRE OS ORGANIZADORES

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

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

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aciação elétrica 111, 119
Aço inoxidável 28, 63, 64, 68, 74, 111, 112, 113
Aços ARBL 1, 2
Ambientes agressivos 76, 89

B

Bambu 164, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172
Blindagem balística 120

C

Cicatrização 67, 174, 175, 181, 182
Coloração 92, 93, 94, 95, 96, 176, 179, 193
Compactação 133
Compósito 120, 122, 123, 124, 125, 130, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 172
Corrosão 64, 69, 70, 71, 73, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 92, 93, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 200

E

Efeito memória 40, 41, 47, 51, 58, 59, 60, 61
Esponjas de poliuretano 151

F

Fadiga 63, 64, 69, 70, 71, 72, 73, 74
Fibras 153, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 172, 173, 189
Fibroína 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199

I

Impacto 24, 120, 121, 122, 124, 129, 130, 134, 138, 139, 141, 144, 145, 146, 149, 156, 164

L

Liofilização 187, 188, 190, 191, 193, 198, 199

M

Membranas 174, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 184, 185, 186, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 198, 199
Metálica 16, 79, 100, 102, 118, 165

Microdureza 1, 2, 4, 5, 7, 8, 14, 16, 19, 20, 22, 23, 26, 28, 29, 31, 34, 40, 42, 47, 56, 57, 58, 59, 63

Microestrutura 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 14, 15, 23, 24, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 39, 42, 46, 50, 59, 65, 149

MIG 14, 15, 16, 17, 27, 28

O

Óleo de rã 174, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 184

Óxido de Ti 92

P

Penetração de solda 14, 25, 26

Prótese femoral 63

Q

Quitosana 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 183, 184, 185, 186, 199

R

Recuperação 40, 41, 47, 48, 58, 59, 60, 111, 113, 116, 117, 118, 119

Redução 9, 3, 6, 7, 40, 48, 51, 58, 59, 60, 67, 100, 111, 112, 113, 117, 118, 133, 139, 141, 149

Remoção de óleo 151

Resíduos 107, 111, 112, 119, 151, 160, 166, 175

Resíduos siderúrgicos 111

Resina 164, 167, 169, 170, 172

Revestimento acrílico 76

Rota térmica 133

Rugosidade 79, 92, 94, 95, 96, 97, 98, 154, 155, 192

T

Temperatura 3, 15, 23, 24, 26, 30, 32, 35, 41, 46, 47, 48, 49, 51, 54, 76, 85, 97, 102, 103, 114, 116, 122, 123, 133, 135, 136, 137, 138, 139, 156, 166, 167, 169, 176, 177, 178, 185, 191

Tintas 76, 77, 78, 79, 85

Tratamento criogênico 40, 41, 48, 59, 60

Tratamento de esgoto 100, 102, 106, 109, 110

Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta

2

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

Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta

2

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