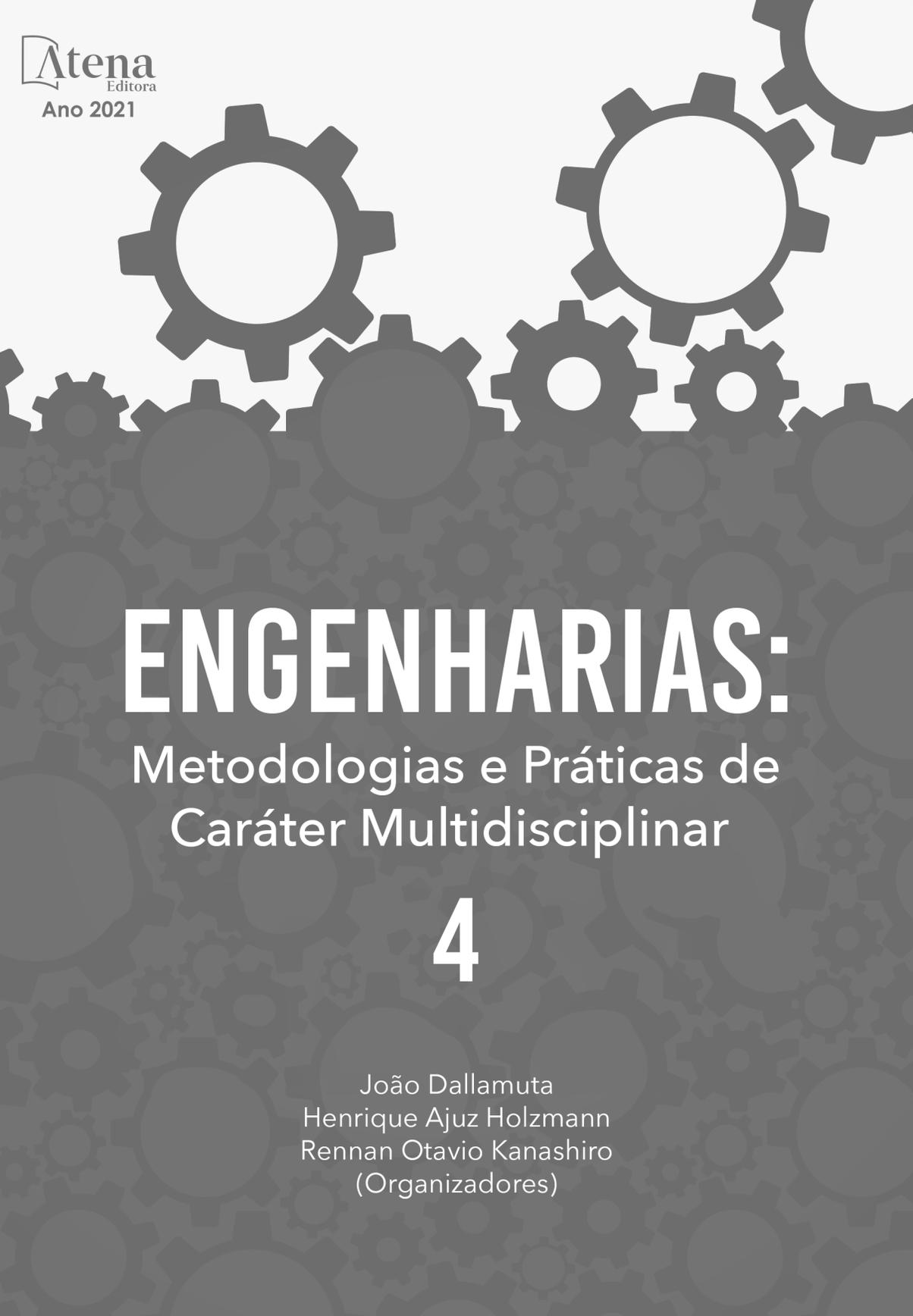


ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

4

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro
(Organizadores)



ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

4

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro
(Organizadores)

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. Liliansi 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

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia: metodologias e práticas de caráter multidisciplinar 4 / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann, Rennan Otavio Kanashiro. - Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-889-2

DOI 10.22533/at.ed.892211003

1. Engenharia. I. I. Dallamuta, João (Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III. Kanashiro, Rennan Otavio (Organizador). IV. 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

Caro(a) leitor(a)

Como definir a engenharia? Por uma ótica puramente etimológica, ela é derivada do latim *ingenium*, cujo significado é “inteligência” e *ingeniare*, que significa “inventar, conceber”.

A inteligência de conceber define o engenheiro. Fácil perceber que aqueles cujo ofício está associado a inteligência de conceber, dependem umbilicalmente da tecnologia e a multidisciplinaridade.

Nela reunimos várias contribuições de trabalhos em áreas variadas da engenharia e tecnologia. Ligados sobretudo a indústria petroquímica com potencial de impacto nas engenharias. Aos autores dos diversos trabalhos que compõe esta obra, expressamos o nosso agradecimento pela submissão de suas pesquisas junto a Atena Editora. Aos leitores, desejamos que esta obra possa colaborar no constante aprendizado que a profissão nos impõe.

Boa leitura!

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE FLEXÃO DE VIGAS DE CONCRETO SIMPLES

Vinícius Borges de Moura Aquino

Marco Donisete de Campos

DOI 10.22533/at.ed.8922110031

CAPÍTULO 2..... 18

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE FLEXÃO DE VIGAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO ARMADO

Afonso Henrique de Campos Rodrigues

Marco Donisete de Campos

DOI 10.22533/at.ed.8922110032

CAPÍTULO 3..... 34

THE USE OF BABASSU COCONUT FIBERS IN THE PRODUCTION OF CONCRETE

Wilson Alves Oliveira Junior

Maria Elayne Rodrigues Alves

Bruna Leal Melo de Oliveira

João Batista de Oliveira Libório Dourado

Aluska do Nascimento Simões Braga

Valdeci Bosco dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.8922110033

CAPÍTULO 4..... 40

RECICLAGEM DO POLIPROPILENO PARA OBTENÇÃO DO COMPÓSITO POLIMÉRICO REFORÇADO COM PÓ DE OSTRA

Terezinha Jocelen Masson

Rafael dos Santos Lima

DOI 10.22533/at.ed.8922110034

CAPÍTULO 5..... 58

DESMITIFICANDO A RADIOATIVIDADE

Leandro Soares da Silva

Déborah Vitória de Souza Silva

Eduardo Mendonça Pereira Cavalcanti

Kauã Felipe Santiago

José Allan da Silva

DOI 10.22533/at.ed.8922110035

CAPÍTULO 6..... 66

PROPOSTA DE SILO GRANELEIRO TEMPORÁRIO PARA FAZENDAS DA FRONTEIRA AGRÍCOLA DO BRASIL

José Roberto Rasi

Jorge Augusto Serafim

Jonathan Figueiredo Broetto

DOI 10.22533/at.ed.8922110036

CAPÍTULO 7.....84

USO DE METANOL E ETANOL NO DIAGNÓSTICO DE FALHAS TÉRMICAS ENVOLVENDO PAPEL KRAFT ISOLANTE

Helena Maria Wilhelm
Paulo Oliveira Fernandes
Geovana Carolina dos Santos
Maria Letícia Gomes dos Santos
Thatiane Tamyris Kuczera Pereira
Laís Pastre Dill
Daniel da Conceição Aroucha Filho
Marcelo Luiz de Carvalho Ribeiro
Arley de Paula Mar
Pedro José dos Santos Junior

DOI 10.22533/at.ed.8922110037

CAPÍTULO 8.....97

SÍNTESE E AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM COMPÓSITO CERÂMICO ZIRCÔNIA E ALUMINA PARA APLICAÇÃO EM PRÓTESE CRANIOMAXILOFACIAL

José Victor Passos Santiago
Viviane Silva Gomide

DOI 10.22533/at.ed.8922110038

CAPÍTULO 9.....108

SUITABILITY OF INTERNAL TANK COATINGS FOR AROMATIC HYDROCARBONS STORAGE

Ulysses Ramos
Aldo Ramos Santos
Joaquim Pereira Quintela
Carlos Rene Klotz Rabello
Cleber Gonçalves Ferreira
Emmanuelle Sá Freitas

DOI 10.22533/at.ed.8922110039

CAPÍTULO 10.....120

DISEÑO DE UN FALDÓN ESTRUCTURAL CIRCULAR DE APOYO PARA UN SILO METÁLICO CON CAPACIDAD DE ALMACENAR 300 M³ DE CLINKER

Luis Orlando Cotaquispe Zevallos

DOI 10.22533/at.ed.89221100310

CAPÍTULO 11.....136

DETERMINAÇÃO DE DESCARGAS DE LODO DE REATORES UASB COM PÓS-TRATAMENTO AERADO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS DO EFLUENTE

Jane Mary Targino Moreira
Ruam Magalhães da Silva
Renata Carlos Freire

DOI 10.22533/at.ed.89221100311

CAPÍTULO 12.....	147
AVALIAÇÃO DE ÓLEO VEGETAL ISOLANTE OBTIDO DE UMA NOVA FONTE DE MATÉRIA-PRIMA: AS MICROALGAS	
Helena Maria Wilhelm Giorgi Dal Pont Claudio Aparecido Galdeano Eduardo João de Palma Luiz A. Ravaglia	
DOI 10.22533/at.ed.89221100312	
CAPÍTULO 13.....	158
ANÁLISE ESTRUTURAL DO COMPORTAMENTO SÍSMICO DE BARRAGENS DE REJEITO	
Antonio Nilson Zamunér Filho Gabriel Gomes Silva Wellington Andrade da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.89221100313	
CAPÍTULO 14.....	171
ANÁLISE DE TENSÃO E COMPARAÇÃO DE PROCESSO DE FABRICAÇÃO EM ROD END	
Jói da Silva Theis Luiz Carlos Gertz André Cervieri Antonio Flavio Aires Rodrigues Gustavo Pizarro Meneghello	
DOI 10.22533/at.ed.89221100314	
CAPÍTULO 15.....	179
INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE TRATAMENTO TÉRMICO NO DESEMPENHO FOTOCATALÍTICO DE FIBRAS DE TiO₂	
Luana Góes Soares da Silva Annelise Kopp Alves	
DOI 10.22533/at.ed.89221100315	
CAPÍTULO 16.....	189
EFEITOS DA PIRÓLISE SUAVE EM PELLETS DE <i>Pinus</i>	
Nathalia Heloisa Dullius Anderson Rodrigo Heydt Adriana Ferla de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.89221100316	
CAPÍTULO 17.....	197
ESTUDO DE SISTEMAS ISOLANTES DE REFERÊNCIA USADOS NA DETERMINAÇÃO DA CLASSE TÉRMICA DE NOVOS SISTEMAS ISOLANTES SEGUNDO A NORMA IEEE C57.100	
Helena Maria Wilhelm Paulo Oliveira Fernandes	

Leandro Gonçalves Feitosa
Geovana Carolina dos Santos
Laís Pastre Dill
Leonardo Galhardo
Richard Marek

DOI 10.22533/at.ed.89221100317

CAPÍTULO 18.....209

**DESENVOLVIMENTO DE MADEIRA PLÁSTICA: COMPÓSITOS HÍBRIDOS
POLIPROPILENO/PÓ DE MADEIRA/FIBRA NATURAL**

Terezinha Jocelen Masson
Leila Figueiredo de Miranda
Antonio Hotêncio Munhoz Junior

DOI 10.22533/at.ed.89221100318

CAPÍTULO 19.....220

**AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE EXTRATO DE LIGNINA OBTIDO A
PARTIR DA HIDRÓLISE ALCALINA DA CASCA DE CAFÉ**

Beatriz Leite
Daniel Vieira Mendes
Matheus de Souza Santos
Thiago Wilker Souza do Carmo
Renata Carolina Zanetti Lofrano
Boutros Sarrouh

DOI 10.22533/at.ed.89221100319

CAPÍTULO 20.....233

**ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL COM PROFESSORES E
ALUNOS, NA ZONA RURAL DO MUNICÍPIO BREU BRANCO-PA**

Beatriz Souza da Silveira
Enayle Maria de Freitas Silva
Marcelo Melo dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.89221100320

CAPÍTULO 21.....245

**O BISCOITO ARTESANAL DE VITÓRIA DA CONQUISTA E O SEU POTENCIAL PARA
REGISTRO COMO UMA INDICAÇÃO GEOGRÁFICA**

Valdir Silva da Conceição
Dayana Ferraz Silva
Angela Machado Rocha
Marcelo Santana Silva

DOI 10.22533/at.ed.89221100321

CAPÍTULO 22.....259

**EXTENSÃO INTERDISCIPLINAR NAS PRÁTICAS DE CUIDADOS – CENOPOESIA E
AQUARELA NA SAÚDE MENTAL**

Midiã Kaddja Nunes de Souza

Maria Aridenise Macena Fontenelle

DOI 10.22533/at.ed.89221100322

SOBRE OS ORGANIZADORES	273
ÍNDICE REMISSIVO.....	274

SÍNTESE E AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM COMPÓSITO CERÂMICO ZIRCÔNIA E ALUMINA PARA APLICAÇÃO EM PRÓTESE CRANIOMAXILOFACIAL

Data de aceite: 01/03/2021

Data de submissão: 01/12/2020

José Victor Passos Santiago

Pontifícia Universidade Católica de Minas
Gerais (PUCMG)

Belo Horizonte – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/9448145190239553>

Viviane Silva Gomide

Pontifícia Universidade Católica de Minas
Gerais (PUCMG)

Belo Horizonte – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/8511051015746763>

RESUMO: Devido à necessidade de reparar ou reconstruir tecidos ósseos, são desenvolvidos biomateriais com aplicações biomédicas para proporcionar melhor qualidade de vida às pessoas que necessitam recorrer a esse tipo de tratamento. Para a seleção do material a ser utilizado, é necessário avaliar alguns fatores fundamentais como, sua resistência mecânica, biocompatibilidade e biofuncionalidade. Muitas vezes, apenas um material não possui todas as propriedades desejadas, sendo necessária a formação de um compósito, com a finalidade de garantir as características adequadas. O presente trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades mecânicas de um compósito cerâmico zircônia/alumina desenvolvido para aplicação em prótese craniomaxilofacial, bem como sua citotoxicidade em fibroblastos humanos. Serão feitos ensaios de resistência à

compressão, tenacidade à fratura, Microscopia Eletrônica de Varredura e medida do tamanho de partículas.

PALAVRAS-CHAVE: Biomateriais, zircônia, alumina, prótese craniomaxilofacial, propriedades mecânicas.

SYNTHESIS AND EVALUATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF A CERAMIC ZIRCONIA AND ALUMINA COMPOSITE FOR APPLICATION IN CRANIOMAXILLOFACIAL PROSTHESIS

ABSTRACT: Due to the need to repair or reconstruct bone tissues, biomaterials for biomedical applications are developed to provide better quality of life for people who need to use this kind of treatment. Firstly, to select the material to be used, it is necessary to consider some fundamental factors about it such as its mechanical resistance, biocompatibility and biofunctionality. Often, only simple material does not have all the desired properties, requiring the formation of a composite, in order to guarantee adequate characteristics. The present research aims to evaluate the mechanical properties of a ceramic zirconia / alumina composite developed for application in craniomaxillofacial prosthesis, as well as its cytotoxicity in human fibroblasts. Tests will be made of resistance to compression, fracture toughness, scanning electron microscopy analyze and particle size measurement.

KEYWORDS: Biomaterials, zirconia, alumina, craniomaxillofacial prosthesis, mechanical properties.

1 | INTRODUÇÃO

O corpo humano tem uma habilidade limitada para corretamente auto regenerar grande, se não total, parte de seus tecidos e órgãos que eventualmente tenham perdido sua integridade por um dano severo como resultado de transtornos médicos envolvendo certa disfunção em seus tecidos ou graves danos ao seu funcionamento. (CHEN; LIU, 2016)

Encarando este cenário onde é possível encontrar cada vez uma maior quantidade de traumas, doenças degenerativas e anormalidades congênitas a engenharia de tecidos e a medicina prometem encontrar novos métodos para uma gama de diversas doenças que, atualmente, são intratáveis. Além disso, na maioria dos casos, esse tipo de pesquisa procura auxiliar e acelerar o processo regenerativo, estimulando o potencial de cura inerente do paciente ou, alternativamente, para criar tecidos biológicos de substituição (ou, mais desafiadoramente, órgãos inteiros) às partes do corpo substituídas, deterioradas ou perdidas. (CHEN; LIU, 2016)

2 | CONCEITUAÇÃO TEÓRICA

2.1 Biomaterias e Biocompatibilidade

Os biomateriais são materiais de origem sintética ou biológica que são utilizados na criação de implantes e sistemas que terão contato com sistemas biológicos ou tecidos vivos com o intuito de reparar algum tipo de injúria tecidual a fim de restaurar funções que foram comprometidas por traumatismos ou processos degenerativos naturais. Contudo, vários autores buscam definir biomaterial como qualquer material “não-vivo” utilizado na medicina que têm o propósito de interagir com um organismo ou sistema vivo. Biocompatibilidade também é um conceito associado aos biomateriais, que é tratada como a capacidade de um material tem de desempenhar uma certa função quando alocado em um certo sistema vivo, ou seja, de receber uma resposta do organismo positiva. (TURRER; FERREIRA, 2008)

Um grande desafio no estudo do campo dos biomateriais é que todo dispositivo que substitui um tecido vivo têm que substituir um tecido ao qual a natureza levou milhões de anos para otimizar seu funcionamento, ou seja, durante milhões de anos houve diversas mudanças evolutivas nos mesmos que possibilitaram uma melhora significativa de suas propriedades físicas. Estes tecidos também possuem capacidade de crescimento, regeneração e reparo que dificultam ainda mais a busca de um biomaterial perfeito. Desta forma, todos os biomateriais que são artificiais representam somente ajustes de características e propriedades físicas encontrados previamente no tecido. O sucesso ou fracasso destes materiais dependem totalmente de que função ele está sendo aplicado e, principalmente, a interação que este novo corpo terá com o ambiente vivo de certa parte do corpo. (ORÉFICE et al, 2006)

Biocompatibilidade pode ser entendida como uma característica de um material que é usado como substituto de um tecido ou órgão de não causar reações indesejáveis ao paciente. Este material deve desempenhar a função durante longo tempo sem haver a necessidade de substituí-lo. Um material que apresenta essa característica não pode causar danos onde é alocado e/ou nos tecidos próximos a ele, assim como também, não pode causar reações imunológicas locais – infecções – em tecidos, órgãos ou sistemas distantes do local onde foi implantado. (DA SILVA, 2017)

A biocompatibilidade de um material está associada a quatro fatores muito importantes. O primeiro fator está relacionado aos fenômenos físico-químicos que acontecem entre o implante e o tecido nos primeiros instantes de contato. O segundo aspecto é a resposta do corpo mediante ao biomaterial implantado. As mudanças que os materiais sofrem no meio em que foram implantados, como corrosão e degradação, é o terceiro fator. E por último, o organismo pode ter reações em outras partes que não estão conectados com o implante. (MAIA et al, 2017)

2.2 Biocerâmicas

Materiais cerâmicos apresentam como característica comum possuir tanto metais como não-metais em sua constituição. Estes componentes são unidos através de ligações iônicas e/ou covalentes. Desta forma, suas propriedades diferem dos metais, sendo tratados, geralmente, como isolantes, translúcidos, não-deformáveis e bem estáveis. Com isto, são muito usados como materiais refratários, assim como o MgO, pois pode suportar grandes temperaturas sem perder sua estabilidade. (VAN VLACK, 1984)

Os materiais cerâmicos são compostos inorgânicos, não metálicos, tipicamente duros, frágeis, com altas temperaturas de fusão, baixa condutividade elétrica e térmica, e boa estabilidade química. (CALLISTER)

Os materiais cerâmicos e vítreos têm sido usados durante um longo tempo pela indústria médica devido ao fato de sua ampla capacidade de aplicação em diversos casos. Porém, o uso de cerâmicas intracorpóreas (próteses) é um fato recente da medicina. Por exemplo, a alumina vem sendo usada somente há 20 anos. (ORÉFICE et al, 2006)

Por ser uma classe de biomateriais, as cerâmicas, vidros e vitrocerâmicas são utilizadas principalmente para a substituição de tecidos conectivos ditos duros. Muitas destas cerâmicas já foram testadas em corpos humanos, mas não apresentaram características favoráveis para sua utilização. O sucesso de uma biocerâmica está na associação de uma relação favorável com tecidos vizinhos ao seu local de implante e um bom comportamento mecânico para exercer a função do tecido danificado. (ORÉFICE et al, 2006)

Cerâmicas têm sido usadas como componentes ortopédicos desde a década de 70, quando Boutin e Blanquaert começaram a usar uma articulação artificial de quadril composta de alumina (Al_2O_3) em um estudo que durou 10 anos. Por volta da mesma época, Shikata (1977) reportou sua experiência com alumina usada em articulações da

cabeça femoral de pacientes. (KURTZ et al, 2014)

O potencial de uma cerâmica como biomaterial recai em suas compatibilidades fisiológicas com o ambiente. Biocerâmicas são compatíveis porque são compostas de íons comumente encontradas em ambiente fisiológico (cálcio, potássio, magnésio, sódio e etc) e por íons que apresenta toxicidade limitada para tecidos do corpo (zircônia e titânia). (HENCH, 2013)

Como é conhecido, nenhum material é realmente inerte, já que todos materiais incitam algum tipo de reação do organismo mesmo sendo muito pequena. Cerâmicas bioinertes possuem comportamento quase inerte. As cerâmicas inertes não são solúveis em meio fisiológico conseguindo garantir uma estabilidade neste ambiente por muito tempo. Quando é aplicada em implantes, materiais cerâmicos possuem ligações por meio de ancoramento mecânico. Quando é alocada, há a formação de um tecido fibroso em volta do material. (ORÉFICE et al, 2006)

Em aplicações biomédicas, cerâmicas bioinertes com uma alta resistência são usadas como ossos, juntas e aplicações dentárias para suportar altas cargas mecânicas. Alumina é conhecida por possuir alta resistência ao desgaste e comportamento bioinerte notável. Por outro lado, a zircônia apresenta um menor Módulo de Young e apresenta uma dureza maior que a alumina. Um estudo prévio demonstrou que um compósito de Zircônia-Alumina possui ~ 6,7 MPa de resistência a fratura maior que um osso cortical. (ESFAHANI et al, 2006)

Biocerâmicas baseadas em alumina e zircônia têm encontrado variadas aplicações na ortopedia e implantes dentários devido a sua alta resistência a corrosão, excelente dureza, alto Módulo de Young, resistência mecânica adequada e comportamento bioinerte. (PANDEY et al, 2013)

2.3 Alumina

O óxido de alumínio, também chamado de alumina que possui fórmula molecular Al_2O_3 apresenta diversas formas cristalinas. A principal forma de extração deste material é através do beneficiamento pelo processo de refinamento Bayer do alumínio feito a partir de minérios de bauxita. (SARTORI, 2015)

Uma das mais importantes propriedades da alumina é sua alta temperatura de fusão, estabilidade química, resistência elétrica e dureza. (LEE; RAINFORTH, 1994)

A alumina é utilizada na forma densa ou porosa principalmente na forma $\alpha-Al_2O_3$ policristalina produzida através de um processo de prensagem e sinterização numa temperatura de 1.600°C. Seus usos principais são como ponto de apoio de carga em uma prótese de quadril e implantes dentários, pois suas principais características apresentam uma excelente combinação da resistência à corrosão, resistência à abrasão, alta resistência mecânica e uma boa biocompatibilidade, sendo considerada bioinerte. (ORÉFICE et al, 2006)

2.4 Zircônia

O dióxido de zircônio (ZrO_2) ou zircônia, foi um material cerâmico identificado pela primeira vez em 1789 pelo químico alemão Martin Heinrich Klaproth ao ser obtido com o aquecimento de algumas pedras preciosas de zircão. Foi isolado pela primeira vez pelo químico sueco Jöns Jacob Berzelius em 1824, seu principal uso durante um tempo foi como pigmentação para cerâmica quando misturado com raros óxidos de terras. (LANÇA, 2017)

Cerâmicas feitas de zircônia tem grandes vantagens em relação a outros materiais cerâmicos, devido aos mecanismos de endurecimento que operam durante sua transformação de microestrutura que dão aos seus componentes, propriedades mecânicas muito interessantes. As pesquisas sobre o uso de cerâmicas de zircônia como biomaterial começaram por volta de vinte anos atrás, e agora a zircônia estabilizada com ítria (Y-YZP) é amplamente usada na área biomédica. (PICONI; MACCAURO, 1999)

Entre todos os materiais usados na ortopedia, zirconia é talvez uma que possui a maior controvérsia entre os cientistas, indústria e médicos. Zirconia foi introduzida 20 anos atrás para resolver problemas relacionados a fragilidade da alumina e seu consequente potencial de falha em seu uso para implantes. Atualmente, mais de 600.000 de implantes relacionados a cabeça femoral – parte do fêmur que entra em contato com o quadril – são feitos de zirconia. (CHEVALIER, 2006)

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Processamento Cerâmico

Para a realização deste experimento, foi preciso desenvolver experimentalmente uma biocerâmica para diversos ensaios e testes. Durante a preparação da barbotina, foi feita uma mistura de 50 gramas de zircônia e 50 gramas de alumina, para a formação do compósito alumina-zircônia. Para completar o volume adequado, foi adicionado 400 mL álcool etílico 70%. O defloculante utilizado foi bicarbonato de sódio na quantidade de 3 gramas.

Os procedimentos básicos desenvolvidos durante este experimento, realizado nos pós cerâmicos, seguem as seguintes etapas: preparação da barbotina, moagem da barbotina em um moinho de bolas, desaglomeração da barbotina, secagem do material, conformação dos corpos de prova utilizando uma prensa uniaxial, sinterização e preparação das amostras através de lixamento e polimento. Foi utilizado um molde cilíndrico de aço inox 310 com cavidade no centro de 18 mm de diâmetro e 500 mm de profundidade segundo a norma ASTM C773-88.

3.2 Caracterização das amostras e avaliação das propriedades mecânicas

A categorização das microestruturas das amostras geradas durante o experimento, utilizou o processo de Microscopia eletrônica de Varredura. Este trabalho utilizou o

microscópio eletrônico de varredura, ou MEV, modelo JSM- IT300LV. Esta operação tem como objetivo avaliar e estudar as porosidades abertas superficiais das amostras e de fratura, conforme a norma NBR 13818. A análise foi dividida em duas etapas distintas. Uma delas foi realizada em uma região superficial do material e a outra em uma região de fratura.

Para o ensaio de granulometria das amostras, foi realizado um teste em duas amostras distintas. A análise da distribuição granulométrica dos pós cerâmicos foi realizada na Universidade Federal de Minas Gerais por meio do Software Cilas. Para a determinação da microestrutura e das propriedades mecânicas das amostras, foram realizados ensaios de compressão, compressão diametral, cálculo da absorção de água, análise feita em microscópio ótico e medida de tamanho de poro.

3.3 Ensaios biológicos

Para determinar a citotoxicidade de agentes medicinais potenciais e de outros materiais tóxicos foi realizado o Ensaio de MTT. O ensaio de captação do corante Tetrazolium (MTT) tem capacidade de avaliar a metabolização deste sal pela ação de enzimas mitocondriais. (BERRIDGE et al., 1993). As linhagens celulares foram cultivadas em meio de cultura em uma placa de 24 poços numa densidade de 5×10^4 células por poço e incubadas por 18 horas a 37°C em estufa com 5%CO₂ (GOMIDE, 2010).

4 | RESULTADOS

4.1 Processamento Cerâmico

A primeira etapa do presente trabalho tinha como foco a sintetização de um compósito de 50% de alumina e 50% de zircônia. Ambos os materiais, inicialmente em formato de pó cerâmico demonstraram uma excelente capacidade de serem mesclados e administrados em um formato cilíndrico. As amostras padrões foram de 5 e 10 gramas. As amostras de 10 gramas foram utilizadas para ensaios mecânicos de compressão, compressão diametral e ensaio MTT, e as amostras de 5 gramas foram utilizadas para a análise do MEV, granulometria o ensaio de Arquimedes.

4.2 Caracterização das amostras e avaliação das propriedades mecânicas

A utilização do MEV, ou microscópio eletrônico de varredura, foi necessária para caracterizar a microestrutura das amostras geradas durante o experimento. A análise foi dividida em duas etapas distintas. Uma delas foi realizada em uma região superficial do material e a outra em uma região de fratura. As figuras 1 e 2 representam, com ampliação de 500x (à esquerda) e 2000x (à direita), as imagens obtidas pelo MEV respectivamente nas regiões de superfície e de fratura do material.

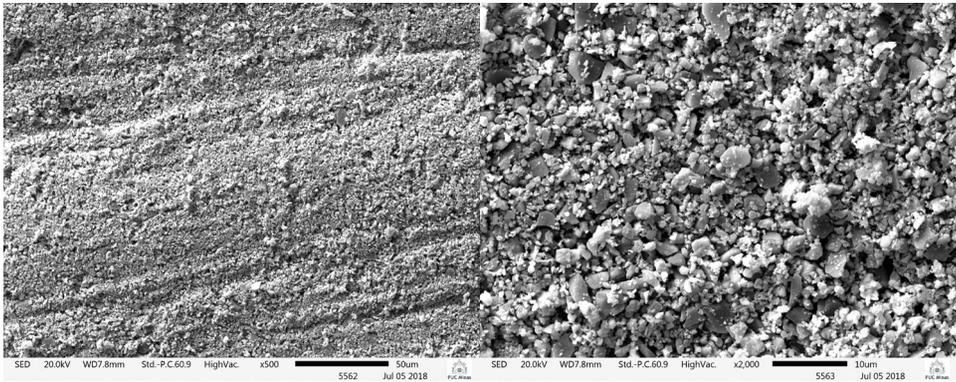


Figura 1: MEV na Região de superfície

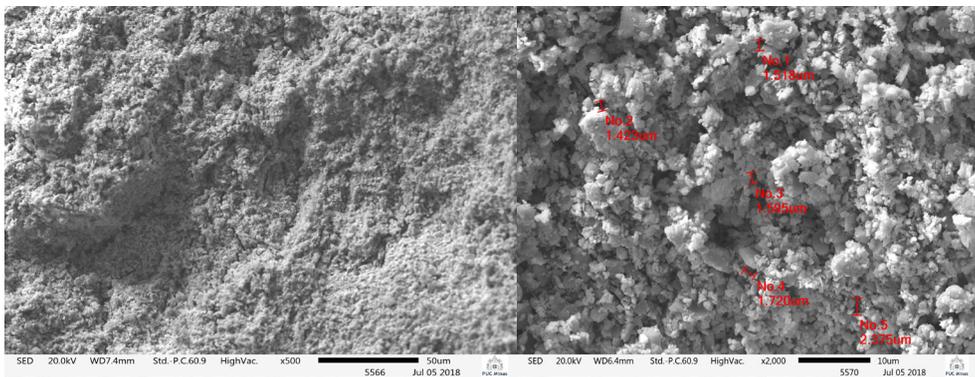


Figura 2: MEV na Região de fratura

Os resultados observados no MEV experimento foram satisfatórios, a superfície apresentou uma porosidade média de $1.9224 \mu\text{m}$ enquanto a região de fratura apresentou uma porosidade média de $1.7262 \mu\text{m}$. Este fenômeno evidencia que o material tem uma maior densidade interna em relação a densidade superficial, isto se deve ao fato do processamento cerâmico que foi realizado nas amostras, desde o processo de compactação do pó até o processo de sinterização.

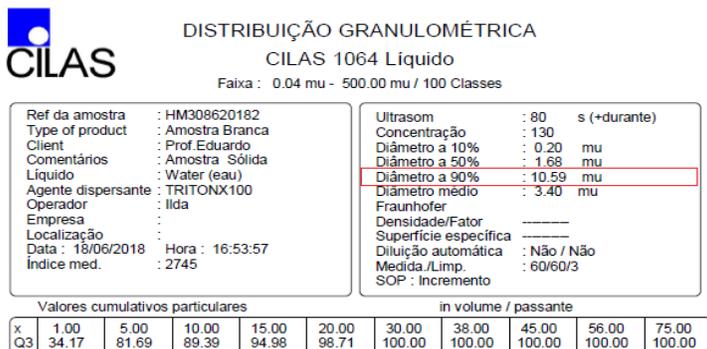
Como o material tratado é uma biocerâmica utilizada para próteses, é desejável que o mesmo tenha uma baixa porosidade, já que o material quando utilizado como substituto ósseo requer que haja um desenvolvimento celular na superfície do mesmo.

Os experimentos de compressão normal e compressão lateral apresentaram uma média de tensão de ruptura de $12,61 \text{ MPa}$ e $4,22 \text{ MPa}$, respectivamente. Estes valores, estipulados por experimentos anteriores, demonstram uma excelente capacidade do material como substituto ósseo.

O ensaio de absorção de água, ou também chamado de Ensaio de Arquimedes,

foi realizado utilizando 7 amostras. A média de absorção de água pelo biomaterial foi de 20,09% do seu peso em água. De forma resumida, quando em contato com o corpo, o compósito estudado apresentaria uma massa relativa 20% maior que quando seca.

Para o ensaio de granulometria das amostras, utilizando duas amostras distintas, apresentaram valores de diâmetros de grãos médio de 10,59 μm e 12,52 μm . Esse resultado foi satisfatório, pois o objetivo era atingir o tamanho mínimo de 10 μm devido a biocompatibilidade do material. Os resultados deste ponto estão demonstrados na figura 3 abaixo.



x : diâmetro / mu Q3 : valor cumulativo / % q3 : Histograma / %

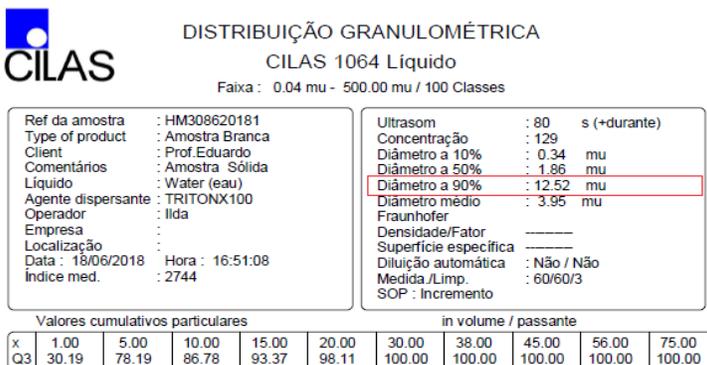


Figura 3: Distribuição granulométrica

4.3 Ensaios biológicos

A figura 6 exibe graficamente o resultado dos experimentos de viabilidade celular realizados em laboratório, usando placas Petri contendo fibroblastos humanos e o compósito Al2O3/ZrO2.

O primeiro experimento, representado pela primeira coluna do gráfico, representa um

controle para fins comparativos, onde nele há uma população de células correspondendo 100% do total. No segundo, há um cultivo de células em um meio contendo produto iônico (10% v.v. de soro bovino fetal (SBF) (Gibco, EUA)), formando um ambiente propício para o crescimento da população de fibroblastos. Na última coluna, pode ser observado o resultado de um meio contendo o produto iônico, os fibroblastos e o compósito. Como pode ser visto, as células conseguiram sobreviver nesse meio e além disso, continuaram a se proliferar. Esse fato mostrou que o compósito, fruto desse trabalho, não apresentou toxidez às células de fibroblastos humanos, propiciando um ambiente favorável à fixação e ao desenvolvimento das células. Percebe-se, no entanto, que o crescimento das populações de células, comparando-se as colunas do meio e à esquerda, não foi significativo (cerca de 17%), o que torna inconclusivo se o biomaterial incentiva ou não a proliferação de células humanas.

Com a análise de citotoxicidade conclui-se que as células humanas conseguem viver em um meio contendo o material Al_2O_3/ZrO_2 , o que permite concluir que o compósito possui as características de um biomaterial.

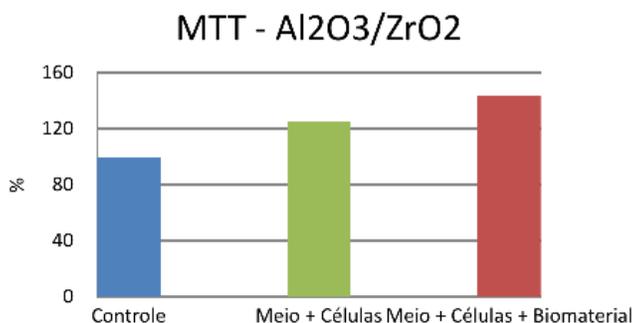


Figura 4: Resultado de citotoxicidade

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelos ensaios e resultados demonstrados ao decorrer deste artigo é possível afirmar que um compósito de Alumina e Zircônia apresenta de forma contundente as características necessárias para a sua utilização como um biomaterial com a função de substituir tecidos ósseos danificados na região craniomaxilofacial.

REFERÊNCIAS

BERRIDGE, M.V.; TAN, A.N. **Characterization of the cellular reduction of 3- (4,5-dimethylthiazol-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT): subcellular localization, substrate dependence and involvement of mitochondrial electron transport in MU reduction.** Arch. Biochem, v. 303, p. 474–482, 1993.

CALLISTER, W. D. Jr. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de materiais: Uma Abordagem Integrada**. Segunda Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2011. Volume Único.

CHEVALIER, J., “**What future for zirconia as biomaterial?**”, *Biomaterials*, Vol. 27, pp. 535-543, 2006.

CHEN, F.M, LIU, X., “**Advancing Biomaterials of Human Origin for Tissueengineering**”, *Progress in Polymer Science*, Vol. 53, pp. 86-168, 2016.

DA SILVA, J.C. “**ESTUDO COMPARATIVO DE SUPERFÍCIES DE TITÂNIO UTILIZADAS EM IMPLANTES**”. 2006. 68 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em: <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/108.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2017.

ESFAHANI, H., NEMATI, A., SALAH, E., “**Synthesis and characterisation of β -tricalcium phosphate coating on zirconia toughened alumina by biomimetic method**”, *Advances in Applied Ceramics Structural, Functional and Bioceramics* , Vol. 112, pp. 140-145, 2013.

GOMIDE, V. S. **Avaliação do potencial osteogênico de matrizes de vidro bioativo / PVA in vitro e in vivo**. Universidade Federal de Minas Gerais. 2010. Belo Horizonte.

HENCH, Larry L. **An Introduction to Bioceramics**. 2. ed. United States: [s.n.], 2013. 620 p.

KURTZ, S.M., KOCAGÖZ, S., ARNHOLT, C., HUET, R., UENO, M., WALTER, W.L. “**Advances in Zirconia Toughened Alumina Biomaterials for Total Joint Replacement**”, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* , Vol. 31, pp. 107-116, 2014.

LANÇA, André Gustavo Horst. **Estágio atual dos implantes cerâmicos**. 2011. 69 p. Monografia (Especialista em Implantodontia)- Faculdade de Odontologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUBD-956LMZ>>. Acesso em: 31 jun. 2017.

LEE, W.E; RAINFORTH, M. **Ceramic Microstructures: Property control by processing**. 1. ed. [S.I.]: Springer Netherlands, 1994. 590 p.

MAIA, M., KLEIN, E.S., MONJE, T.V., PAGLIOSA, C., “**Reconstrução da Estrutura Facial por Biomateriais – Revisão**”, *Rev. Bras. Cir. Plást.* , Vol. 25, pp. 566-572, 2010.

ORÉFICE, Rodrigo Lambert; PEREIRA, Marivalda de Magalhães; MANSUR, Herman Sander, **Biomateriais: Fundamentos e Aplicações**. 1ª Ed. Rio de Janeiro 2006, 552p.

PANDEY, A.K., PATI, F., MANDAL, D., DHARA, S, BISWAS, K., “**In vitro evaluation of osteoconductivity and cellular response of zirconia and alumina based ceramics**”, *Materials Science and Engineering*, Vol. 33, pp. 3923-3930, 2013.

PICONI, C., MACCAURO, G., “**Zirconia as a ceramic biomaterial**”, *Materials*, Vol. 20, pp. 1-25, 1999.

SARTORI, Thauane Aparecida Inácio da Costa. **Biocerâmicas porosas de alumina e de alumina-zircônia recobertas com fosfatos de cálcio para implantes ósseos**. 2015. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais)- Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2015. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74133/tde-17092015-092938/pt-br.php>>. Acesso em: 29 set. 2017.

TURRER, C.L.; FERREIRA, F.P.M. **Biomateriais em cirurgia craniomaxilofacial: princípios básicos e aplicações: revisão de literatura**. *Rev. Bras. Cir. Plast.*, v.23, p.234-239, 2008.

VAN VLACK, Lawrence H. **Princípios de Ciência dos Materiais e Tecnologia dos Materiais**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 1984. 568 p. v. 1.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Alumina 97, 99, 100, 101, 102, 105, 106, 107

Ansys 3, 17, 18, 120, 132, 135, 176

Armazenagem de grãos 66, 67, 68, 69, 81, 82, 83

B

Barragens de rejeito 158, 159, 164, 169, 170

Biomateriais 97, 98, 99, 106, 107

C

Concreto 1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 26, 27, 31, 32, 33, 35, 39, 66, 69, 71, 75, 76, 80, 81, 82, 121, 170

Concreto armado 1, 2, 17, 18, 19, 33, 71, 76, 82

D

Descarte de lodo 136, 137, 139

Diseño 120, 121, 123, 124, 125, 128

E

Energia nuclear 58, 61

Ensaio de flexão de três pontos 1, 9, 16

Estabilidade 2, 99, 100, 136, 137, 147, 148, 149, 151, 153, 154, 156, 158, 159, 163, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 192

Estructuras 82, 120, 123, 128

Etanol 84, 85, 87, 89, 94, 95, 212, 222, 226, 231

Extensômetro 171

F

Falhas térmicas 84, 85, 86, 87, 93

Fibra de coco babaçu 35

Flexión 120, 130, 131

Forjamento 172, 174, 178

Frequência de descarga 136, 142

G

Gases de falha 85

M

Metanol 84, 85, 87, 89, 94, 95, 224

Método numérico 2, 18

Microalgas 147, 148, 149, 156

Microfundido 172, 175, 178

O

Óleo isolante 84, 85, 86, 87, 92, 147

P

Pandeo 120, 134, 135

Papel kraft isolante 84, 85, 87, 198

Pó de ostra 40, 42, 44, 45, 46, 47, 49

Polipropileno 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 52, 54, 55, 56, 57, 209, 211, 217, 218, 219

Popularização da ciência 58

Preservação ambiental 40, 42

Propriedades mecânicas 26, 35, 39, 97, 101, 102, 202, 203, 204, 211

Prótese craniomaxilofacial 97

R

Reforço 35, 40, 45, 48, 56, 209, 210, 212, 219

Resistencia à compressão 35

Rigidez 45, 120, 127, 128, 153, 209, 223

Rod end 171, 172, 173, 174, 175, 178

S

Silo horizontal 66, 71, 72, 75, 76

Simulação numérica 1, 18, 19, 23, 31, 32, 33, 171, 176

Sismicidade 158, 159, 162, 167, 170

Sólidos sedimentáveis 136, 138, 139, 141, 145

T

Teatro científico 58, 59

Trabalhabilidade 35

V

Viga cilíndrica 18, 19, 20, 22, 27

Z

Zircônia 97, 100, 101, 102, 105, 107

ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

4

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

4

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 