

Impactos das Tecnologias na Engenharia de Materiais e Metalúrgica 2

Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

Impactos das Tecnologias na Engenharia de Materiais e Metalúrgica 2

Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

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
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale 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
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª 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
Profª Drª 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
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

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

Ciências Biológicas e da Saúde

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

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

Linguística, Letras e Artes

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

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Secconal 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. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

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

Editora Chefe: Profª Drª 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
Organizador: Henrique Ajuz Holzmann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

I34 Impactos das tecnologias na engenharia de materiais e metalúrgica 2 / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-731-4

DOI 10.22533/at.ed.314211901

1. Metalurgia. 2. Engenharia de Materiais e Metalúrgica. 3. Tecnologias. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Título.

CDD 669

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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

APRESENTAÇÃO

No atual cenário mundial, onde se exige cada vez mais competitividade empresarial, buscar a redução de custos aliadas e a melhoria de qualidade é quase que uma exigência para se manter ativo no mercado. Desta forma a multidisciplinaridade é quase que obrigatória aos profissionais das áreas de engenharia, transitando entre conceito e prática, tendo um viés humano e técnico.

Neste sentido este livro traz capítulos ligados a teoria e prática em um caráter multidisciplinar, apresentando de maneira clara e lógica conceitos pertinentes aos profissionais das mais diversas áreas do saber. Apresenta temas relacionados a área de engenharia mecânica e materiais, dando um viés onde se faz necessária a melhoria contínua em processos, projetos e na gestão geral no setor fabril.

Destaca-se a apresentação das áreas da engenharia de materiais com o desenvolvimento e melhoria de produtos já existentes ou de novos produtos. De abordagem objetiva e prática a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Aos autores, agradeço pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ESTUDO DA CORROSÃO DE AÇO CARBONO EM DIFERENTES MEIOS E O TRATAMENTO POR ELETRÓLISE

Matheus Assumpção Ventura
Lorrana Marchon Silva das Neves
Marlon Demaur Cozine Silva

DOI 10.22533/at.ed.3142119011

CAPÍTULO 2..... 10

CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS TÉRMICAS DE SOLIDIFICAÇÃO COM DUREZA E MICROESTRUTURA DO LATÃO $\alpha + \beta$ CU- 42% ZN

Paulo Kazuto Suyama Junior
Givanildo Alves dos Santos
Francisco Yastami Nakamoto
Márcio Rodrigues da Silva
Vinicius Torres dos Santos
Antonio Tadeu Rogerio Franco
Maurício Silva Nascimento
Antonio Augusto Couto

DOI 10.22533/at.ed.3142119012

CAPÍTULO 3..... 19

ANÁLISE DE LIGAS DE COBRE E A INFLUÊNCIA DA INSERÇÃO DE NIÓBIO: UMA REVISÃO

Anderson do Bomfim Gonzaga
Eduardo Palmeira da Silva
Rogério Teram
Maurício Silva Nascimento
Vinicius Torres dos Santos
Márcio Rodrigues da Silva
Antonio Augusto Couto
Givanildo Alves dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.3142119013

CAPÍTULO 4..... 27

FABRICAÇÃO DE REVESTIMENTO SUPER-HIDROFÓBICO EM LIGA DE ALUMÍNIO 5052 E AVALIAÇÃO DA PROPRIEDADE DE AUTOLIMPEZA

Wagner Daniel Oliveira de Araújo
Rafael Gleymir Casanova da Silva
Maria Isabel Collasius Malta
Magda Rosângela Santos Vieira
Severino Leopoldino Urtiga Filho

DOI 10.22533/at.ed.3142119014

CAPÍTULO 5..... 37

COMPORTAMENTO MECÂNICO EM TRAÇÃO E IMPACTO DE COMPÓSITOS DE

MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS COM FIBRAS DE TIMBÓ-AÇU

José Maria Braga Pinto
Douglas Santos Silva
Roberto Tetsuo Fujiyama

DOI 10.22533/at.ed.3142119015

CAPÍTULO 6..... 49

ROADMAP PROPOSAL: PCB AND NANOFIBERS AS STRATEGY FOR INCREASING PROCESS INTENSIFICATION

Ana Neilde Rodrigues da Silva
Neemias de Macedo Ferreira
Maria Lúcia Pereira da Silva

DOI 10.22533/at.ed.3142119016

CAPÍTULO 7..... 62

CERÂMICA COM ADIÇÃO DE RESÍDUO SÓLIDO: AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO APÓS FORMAÇÃO DE EFLORESCÊNCIA

Thayane Pereira da Silva
Elias Fagury Neto
Adriano Alves Rabelo

DOI 10.22533/at.ed.3142119017

CAPÍTULO 8..... 71

SÍNTESE DE CERÂMICAS BIFÁSICAS DE FOSFATOS DE CÁLCIO PELO MÉTODO PECHINI

Geysivana Késsya Garcia Carvalho
José Rosa de Souza Farias
Veruska do Nascimento Simões
Aluska do Nascimento Simões Braga

DOI 10.22533/at.ed.3142119018

CAPÍTULO 9..... 82

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DO ALUMINATO DE ESTRÔNCIO DOPADO COM TÉRPIO ATRAVÉS DO MÉTODO DE POLIMERIZAÇÃO POR EMULSÃO REVERSA E A INFLUÊNCIA DO PH NO POLIMORFISMO

Talyta Silva Prado
Paulo Neilson Marques dos Anjos

DOI 10.22533/at.ed.3142119019

CAPÍTULO 10..... 97

ESTUDO DA ÁREA SUPERFICIAL DA PALIGORSKITA: REVISÃO

Gilsiane Costa Spíndola
Érico Rodrigues Gomes
Gilvan Moreira da Paz
Jaciel Cleison Pereira dos Santos
Herivelton de Araujo Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.31421190110

CAPÍTULO 11	107
USO DE PÓ DE ROCHAS SILICÁTICAS COMO FONTE DE NUTRIENTES PARA SOLOS DA AGRICULTURA: REVISÃO	
Vanessa Ribeiro Castro	
Leandro Josuel da Costa Santos	
Érico Rodrigues Gomes	
DOI 10.22533/at.ed.31421190111	
CAPÍTULO 12	119
A INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO RENDIMENTO EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS COMERCIAIS – REVISÃO	
Gustavo Neves Margarido	
Federico Bernardino Morante Trigoso	
Carlos Frajuca	
DOI 10.22533/at.ed.31421190112	
CAPÍTULO 13	122
BIOMATERIAIS COMO PRECURSORES DE CARBONOS POROSOS ATIVADOS PARA APLICAÇÃO EM SUPERCAPACITORES – REVISÃO	
Alexandre da Silva Sales	
Érico Rodrigues Gomes	
Gilvan Moreira da Paz	
DOI 10.22533/at.ed.31421190113	
CAPÍTULO 14	135
TRANSISTOR DE FILME FINO ORGÂNICO <i>BOTTOM GATE – BOTTOM CONTACT</i> PARA ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA	
José Enrique Eirez Izquierdo	
Marco Roberto Cavallari	
Dennis Cabrera García	
Loren Mora Pastrana	
Marcelo Goncalves Honnicke	
Fernando Josepetti Fonseca	
DOI 10.22533/at.ed.31421190114	
SOBRE O ORGANIZADOR	148
ÍNDICE REMISSIVO	149

SÍNTESE DE CERÂMICAS BIFÁSICAS DE FOSFATOS DE CÁLCIO PELO MÉTODO PECHINI

Data de aceite: 04/01/2021

Data de submissão: 29/09/2020

Geysivana Késsya Garcia Carvalho

Universidade Federal do Piauí, Departamento
de Engenharia de Materiais
Teresina - Piauí
<http://lattes.cnpq.br/0242153749540840>

José Rosa de Souza Farias

Universidade Federal do Piauí, Departamento
de Engenharia de Materiais
Teresina - Piauí
<http://lattes.cnpq.br/9404467330103347>

Veruska do Nascimento Simões

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Departamento de Engenharia Química
Natal - Rio Grande do Norte
<http://lattes.cnpq.br/1149592827133122>

Aluska do Nascimento Simões Braga

Universidade Federal do Piauí, Departamento
de Engenharia de Materiais
Teresina - Piauí
<http://lattes.cnpq.br/2429557575387821>

RESUMO: A busca por materiais que satisfaçam as exigências necessárias para utilização em enxertos ósseos ou na substituição/recuperação de defeitos ósseos, exige uma maior demanda de pesquisas, uma vez que esses materiais devem ser biocompatíveis, biodegradáveis e osteocondutivos. Entre os atuais biomateriais utilizados para essa finalidade, tem-se as biocerâmicas, em especial as de fosfato de cálcio, como a hidroxiapatita (HAp) e o beta fosfato

tricálcico (β -TCP). Atualmente, as pesquisas revelam que esses biomateriais podem ter suas propriedades melhoradas quando são utilizados de forma associada, originando um material denominado de fosfato de cálcio bifásico (BCP). Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi sintetizar cerâmicas bifásicas compostas por HAp e β -TCP pelo método Pechini, analisando a influência do uso de três solventes distintos. Foram sintetizadas três amostras usando álcool etílico, álcool isopropílico e água destilada como solventes, preparadas variando a relação entre o ácido cítrico e os cátions em 1:1, 3:1 e 5:1, e calcinadas na temperatura de 1000°C durante 1 hora, com taxa de aquecimento de 10°C/min. As amostras obtidas foram caracterizadas por difração de raios X (DRX) para identificação das fases, percentagem de fases, cálculo de cristalinidade e tamanho de cristalito e por análise termogravimétrica (TG/DTG) para avaliar as perdas de massa ocorridas durante o aquecimento do material. Os resultados de DRX mostraram que todas as amostras foram formadas pelas duas fases desejadas, apresentaram elevados valores de cristalinidade e tamanhos nanométricos de cristalitos, e as análises termogravimétricas mostraram curvas semelhantes para ambas as amostras, onde as perdas de massa ocorreram em três etapas e em faixas de temperaturas semelhantes, relacionados à perda de água, decomposição da matéria orgânica e a descarbonização.

PALAVRAS-CHAVE: Biocerâmicas, Síntese, método Pechini.

SYNTHESIS OF CALCIUM PHOSPHATES BIPHASIC CERAMICS USING THE PECHINI METHOD

ABSTRACT: The search for materials that satisfy the necessary requirements for use in bone grafts or in the replacement / recovery of bone defects, demands a greater demand for research, since these materials must be biocompatible, biodegradable and osteoconductive. Among the current biomaterials used for this purpose, there are bioceramics, especially those of calcium phosphate, such as hydroxyapatite (HAp) and beta tricalcium phosphate (β -TCP). Currently, research reveals that these biomaterials can have their properties improved when used in combination, originating a material called biphasic calcium phosphate (BCP). In this context, the objective of this work was to synthesize biphasic ceramics composed of HAp and β -TCP by the Pechini method, analyzing the influence of the use of three different solvents. Three samples were synthesized using ethyl alcohol, isopropyl alcohol and distilled water as solvents, prepared by varying the ratio between citric acid and cations in 1: 1, 3: 1 and 5: 1, and calcined at 1000 ° C for 1 hour, with heating rate of 10 ° C / min. The samples obtained were characterized by X-ray diffraction (XRD) for phase identification, percentage of phases, calculation of crystallinity and crystallite size and by thermogravimetric analysis (TG / DTG) to assess the mass losses occurred during the heating of the material . The XRD results showed that all samples were formed by the two desired phases, had high crystallinity values and nanometric sizes of crystallites, and thermogravimetric analyzes showed similar curves for both samples, where the mass losses occurred in three stages and in similar temperature ranges, related to water loss, decomposition of organic matter and decarbonization.

KEYWORDS: Bioceramics, Synthesis, Pechini method

1 | INTRODUÇÃO

A busca para a substituição de tecidos ósseos lesionados remonta a idade antiga, tendo o primeiro relato sido no século XVII, quando se pesquisava implantar uma placa de ouro para reparar uma deformidade craniana. Desde então distintos biomateriais são desenvolvidos para substituição/ recuperação de partes lesadas do corpo humano (Moraes *et al.*, 2004).

Os biomateriais são definidos como todo e qualquer material, natural ou artificial, manipulados para assumir uma forma que, por si só ou como parte de um sistema complexo, é utilizado para direcionar, mediante controle de interações com componentes dos sistemas vivos, o curso de qualquer procedimento terapêutico ou diagnóstico, executando, acrescentando ou substituindo uma função natural (Williams, 2009; Chim e Gosain, 2009). Tais materiais podem ser classificados atualmente em cinco tipos mais utilizados nas aplicações biomédicas: metais, cerâmicas, materiais biológicos, compósitos e polímeros, apresentando-se em cada caso, suas características físicas, químicas e mecânicas onde deve ser observado de forma criteriosa às vantagens e/ou desvantagens quando da sua aplicação e/ou utilização (Cruz, 2018).

As aplicações de cerâmicas como biomateriais se destacam em áreas médicas

e odontológicas, sendo empregadas na substituição de juntas de quadris e de fêmur, dentes, vértebras e em reparo de ossículos do ouvido interno (Cao e Hench, 1996). Estes materiais são amplamente utilizados devido às suas propriedades de biocompatibilidade, hemocompatibilidade, fácil disponibilidade, conformação, esterilização, ausência de toxicidade, não imunogênicos e em geral inertes aos fluidos corpóreos (Ratner *et al.*, 2013).

Os fosfatos de cálcio são cerâmicas amplamente utilizadas como biomateriais, pelo fato de possuírem composição análoga ao da matriz óssea e apresentam características como: biocompatibilidade, bioatividade, osteointegração, ausência em reações e/ou respostas inflamatória, reabsorbilidade gradual, tempos de pega e endurecimento controlável, com perfeita adesão ao tecido duro, condutor e estimulador na formação de tecido ósseo (Rigo *et al.*, 2007; Viana *et al.*, 2020). Os fosfatos de cálcio ocorrem naturalmente no corpo, mas também aparecem na natureza em rochas minerais e podem ser sintetizadas em laboratório (Ratner *et al.*, 2013). Os ossos, em particular dos mamíferos, são constituídos tipicamente de 25% (em peso) de água, 15% de materiais orgânicos (principalmente colágeno) e 60% de fases minerais. A fase mineral consiste principalmente de íons fosfatos e cálcio com traços de magnésio, carbonato, hidroxila, cloreto, fluoreto e citrato (Balbuena, 2015). Destacam-se como materiais biocerâmicos hidroxiapatita, alumina, fosfatos tricálcicos, zircônia e biovidros (Smith *et al.*, 2017; Balbuena, 2015).

Dentre as cerâmicas de fosfatos de cálcio, a hidroxiapatita (HAp) e o beta fosfato tricálcico (β -TCP) são os fosfatos de cálcio mais estudados e utilizados para finalidades clínicas, uma vez que a HAp é o maior componente do tecido duro humano, constituindo até 69% da massa óssea natural (Bonan, *et al.*, 2014) e o β -TCP apresenta altas taxas de reabsorbilidade, sendo rapidamente absorvido pelo corpo humano (Cruz, 2018).

Pesquisas têm mostrado que a combinação de fases de fosfatos de cálcio, conhecidos como fosfatos de cálcio bifásicos (BCP, *biphasic calcium phosphates*), é uma alternativa promissora para o desenvolvimento de materiais com taxa de biodegradabilidade controlada, que são capazes de favorecer uma rápida formação óssea e uma melhor ligação com o osso (Ramakrishna *et al.*, 2010). Essa associação busca obter composições com características diferenciadas dos biomateriais convencionais nos níveis microestruturais e nanoestruturais, como microporosidade aberta, elevada área superficial de grãos e microporos com tamanho adequado. Deste modo, desenvolveu-se uma cerâmica bifásica formada pela composição HAp/ β -TCP, com o intuito de aperfeiçoar o controle de dissolução de íons Ca^{2+} e P^{3-} nos processos biológicos de neoformação óssea (Bouler *et al.*, 2017).

Em comparação com a biocerâmica β -TCP, a hidroxiapatita é bastante estável em condições fisiológicas e menos solúvel em meio aquoso, daí a sua baixa cinética de reabsorção (Santos *et al.*, 2005). Assim, quanto maior a proporção de β -TCP em uma formulação bifásica contendo HAp e β -TCP, maior será a biodegradabilidade da biocerâmica (Dorozhkin, 2012). A dissolução mais rápida do β -TCP em meio fisiológico facilita a precipitação de HAp carbonatada, similar ao osso biológico, na interface osso/

implante (Lukić et al., 2012), capaz de favorecer uma rápida formação óssea e uma melhor ligação com o osso (Ramakrishna et al., 2010).

Em virtude da sua crescente aplicação, diversas técnicas têm sido mencionadas na literatura para a produção de biocerâmicas de fosfatos de cálcio, tais como: o método de precipitação química, sol-gel, micro-ondas/hidrotermal e o método Pechini (Veljović *et al.*, 2010). Dentre esses métodos, o método Pechini (método dos precursores poliméricos), destaca-se como uma técnica alternativa e promissora para a preparação de pós cristalinos e nanométricos, uma vez que permite realizar a síntese com tamanho de partícula controlado, possibilita utilizar diferentes temperaturas, diferentes proporções de ácido cítrico e cátions metálicos, permite o controle na estequiometria, na morfologia das partículas e/ou aglomerados, originando produtos monofásicos e nanométricos (Suchanek e Riman, 2006; Ribeiro *et al.*, 2010).

No entanto, existem pouquíssimos relatos na literatura que citam o uso do método Pechini na síntese de cerâmicas BCP. Peña e Vallet-Regí. (2003) utilizaram o método Pechini para sintetizar diferentes fosfatos de cálcio, onde obtiveram HAp, β -TCP e α -TCP monofásicos e também materiais bifásicos cujo conteúdo de β -TCP e HAp pode ser previsto com precisão a partir da razão $Ca/P=1,667$ nas soluções precursoras. Ao analisarem a estabilidade térmica da fase HAp monofásica obtida no estudo, observaram que o β -TCP é obtido por este método após o recozimento a $900^{\circ}C$ permanecendo estável até $1.100^{\circ}C$. Além disso, notaram que tratamentos térmicos entre 1.000 e $1.300^{\circ}C$ sobre os materiais sintetizados levaram à formação de materiais bifásicos α -TCP e HAp em diferentes proporções. No mesmo estudo, quando foi utilizada a relação $Ca/P= 1,5$, foi necessário calcinar a amostra por uma segunda vez a $1.400^{\circ}C$ por 72 h para concluir a transformação de β -TCP, isolando o mesmo entre 90° e $1.100^{\circ}C$ para transformar em α -TCP puro.

Neste contexto, este trabalho tem por objetivo a obtenção de cerâmicas bifásicas de fosfatos de cálcio compostas pelas fases Hap e β -TCP, sintetizadas pelo método Pechini, analisando a influência do uso de três solventes distintos na obtenção das fases desejadas, visando contribuir com a nanotecnologia no que tange a criação de novas rotas de síntese na obtenção dessa biocerâmica em escala nanométrica.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizaram-se os seguintes materiais para a síntese da cerâmica bifásica: água destilada, álcool etílico PA absoluto, álcool isopropílico PA absoluto, ácido cítrico monohidratado (AC), etileno glicol (EG), fosfato de amônio dibásico e nitrato de cálcio. Foram analisados três solventes diferentes: água destilada, álcool etílico e álcool isopropílico. Para cada solvente estudado a síntese foi realizada da seguinte maneira: Foram adicionados 100 ml do solvente (água, álcool etílico ou álcool isopropílico) em um bécker, o qual foi colocado em uma placa de aquecimento, com agitação constante, a

uma faixa de temperatura de 70°C. O AC foi adicionado na solução, e em seguida os precursores, nitrato de cálcio e fosfato de amônio. A relação do AC/cátions metálicos (AC/CM) variou entre 1:1, 3:1, e 5:1. Posteriormente, o etileno glicol foi adicionado à solução. O etileno glicol (EG) foi mensurado de acordo com a razão 60/40 de AC/EG para cada uma das proporções ácido cítrico/cátion metálico. Após a dissolução do etileno glicol a temperatura foi aumentada e mantida entre 100 a 120°C para a realização das reações de poliesterificação e, conseqüente, formação do gel.

Foi realizada uma pirólise no gel a 400°C/1h, com uma taxa de aquecimento de 10°C/min, para a eliminação de matéria orgânica. O material obtido foi desaglomerado com o auxílio de um almofariz e pistilo, passado em peneira ABNT nº200 (0,074mm), e calcinado na temperatura de 1000°C, durante 1 hora, com taxa de aquecimento de 10°C/min, para obtenção das fases desejadas. A difração de raios X (DRX) foi realizada em um equipamento da marca Shimadzu, modelo XRD-6000, utilizando radiação Cu-K α (40kV/30mA), varredura de 20° a 60°, com velocidade de 2°/min em intervalos de 0,02° e tempo de 0,6 segundos. Para identificação e quantificação das fases utilizou-se o software X'pert Panalytical High Score Plus e o banco de dados JCPDF (Joint Committee on Powder Diffraction and Standards). O cálculo do tamanho de cristalito foi realizado a partir do pico da reflexão basal de maior intensidade por meio da deconvolução do pico por meio da primeira equação (1) conhecida como equação de Scherrer (1918) e o grau de cristalinidade através da segunda equação (2).

$$D = \frac{K \cdot \lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

Em que D é o tamanho médio dos cristalitos, K é uma constante da forma dos cristais, que nesse caso, corresponde a 0,91 β é o valor da largura a meia altura do pico de difração e θ é o ângulo de Bragg do pico difratado.

$$\%C = \frac{P_c - P_a}{P_c} \times 100 \quad (2)$$

Onde, %C é a porcentagem de cristalinidade da amostra, P_c é o pico referente a parte cristalina e P_a é a intensidade onde se inicia o pico cristalino.

As amostras foram analisadas por análise termogravimétrica (TG/DTG), a fim de avaliar as perdas de massa ocorridas durante o aquecimento do material. A análise termogravimétrica foi realizada em um analisador térmico, modelo TA-60, da Shimadzu, com taxa de aquecimento de 10°C/min, em atmosfera de nitrogênio, usando um cadinho de alumina e faixa de temperatura ambiente (25°C) até a temperatura máxima de 1000°C.

As amostras obtidas foram nomeadas de acordo com a Tabela 1.

Amostra	Solvente utilizado	Proporção de ácido cítrico/cátions metálicos
AE1	ÁLCOOL ETÍLICO	1:1
AE3	ÁLCOOL ETÍLICO	3:1
AE5	ÁLCOOL ETÍLICO	5:1
AI1	ÁLCOOL ISOPROPÍLICO	1:1
AI3	ÁLCOOL ISOPROPÍLICO	3:1
AI5	ÁLCOOL ISOPROPÍLICO	5:1
AN1	ÁGUA DESTILADA	1:1
AN3	ÁGUA DESTILADA	3:1
AN5	ÁGUA DESTILADA	5:1

Tabela 1- Nomenclatura das amostras obtidas.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 ilustra os difratogramas das amostras sintetizadas com água destilada, álcool etílico e álcool isopropílico nas proporções 1:1, 3:1 e 5:1, respectivamente.

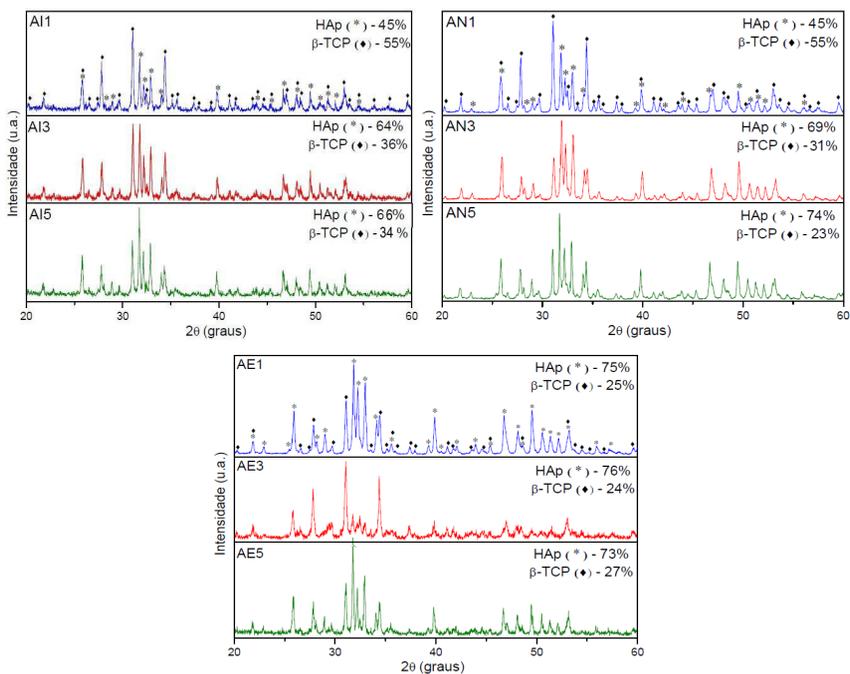


Figura 1 - Difratogramas de raios X das amostras sintetizadas usando água destilada, álcool etílico e álcool isopropílico como solvente, variando a relação AC/CM em 1:1, 3:1 e 5:1, respectivamente.

Analisando os difratogramas percebe-se que o padrão é semelhante para todas as amostras, com a formação das duas fases desejadas, sendo estas: hidroxiapatita (HAp) e beta fosfato tricálcico (β -TCP)., de acordo com as fichas JCPDF (9 – 432) e JCPDF (9 – 169), respectivamente. De modo geral, verifica-se que o aumento no teor de ácido cítrico na solução proporcionou um aumento da fase hidroxiapatita, e conseqüentemente uma diminuição da fase beta, devido possivelmente ao teor crescente de ácido cítrico dentro da solução, pois o mesmo possui em sua composição três grupos carboxila (COOH), que em solução se tornam íons citratos devido à perda de um próton, além de uma hidroxila (OH) central, tais grupos agem como agente quelante, sequestrando íons metálicos da solução e formando um complexo. Com o aumento de ácido cítrico, há uma maior possibilidade de captura dos íons metálicos, pois houve um maior número de carboxilas e hidroxilas que permitiram tal ação, dessa forma o percentual de fase HAp aumentou, pois os íons que a formavam estavam presente em maior número, obedecendo a razão para formação de HAp (Mashreghi e Davoudi, 2015). Nota-se que não existiu uma relação bem estabelecida entre os solventes e a percentagem das fases formadas. Possivelmente, o motivo dessa variabilidade dos resultados com relação aos solventes se deve pelas condições de variação sofrida durante a síntese, como por exemplo, tempo de dissolução dos reagentes, homogeneidade e controle rigoroso da temperatura durante a síntese.

A Tabela 2 apresenta a quantificação das fases, cristalinidade e tamanho de cristalito das amostras sintetizadas com água destilada, álcool etílico e álcool isopropílico nas proporções 1:1, 3:1 e 5:1 respectivamente.

Amostra	Tamanho do cristalito (nm)	Cristalinidade (%)	Fase Hap (%)	Fase β -TCP (%)
AE1	42	82,5	75	25
AE3	73	88,2	76	24
AE5	80	91,5	73	27
AI1	63	84,9	45	55
AI3	64	92,9	64	36
AI5	78	93,7	66	34
AN1	36	86,6	45	55
AN3	56	90,5	69	31
AN5	48	93,0	74	23

Tabela 2- Quantificação das fases, nomenclatura, cristalinidade e tamanho de cristalito das amostras sintetizadas.

Analisando-se os dados da Tabela 2 percebe-se que os valores de cristalinidade são altos para todas as amostras, variando de 82,5 para 93,7 %, e aumenta com a variação

de AC/CM. Tal acréscimo é explicado devido à maior concentração de ácido cítrico à medida que a razão AC/CM também aumenta, o que proporciona uma distribuição mais uniforme dos cátions em solução e na resina (Mariappan *et al.*, 2006). Os tamanhos dos cristaltos variaram de 36 a 80 nm, evidenciando o caráter nanométrico das amostras, onde os cristaltos aumentaram de tamanho com o aumento da razão AC/CM. Possivelmente, o maior teor de ácido cítrico proporcionou uma maior tendência de formação de agregados durante o processo de calcinação (Berger *et al.*, 2004).

A Figura 2 exibe as curvas de TG/DTG das amostras AN5, AE5 e AI5 sintetizadas utilizando álcool etílico, água destilada e álcool isopropílico como solventes, na proporção AC/CM de 5:1, respectivamente.

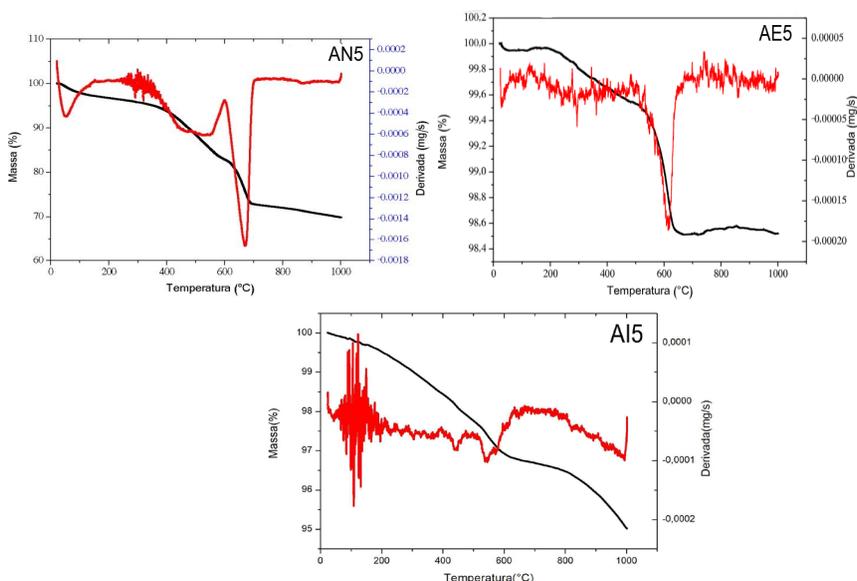


Figura 2 - Curvas de TG/DTG das amostras AE5, AN5 e AI5 sintetizadas utilizando álcool etílico, água destilada e álcool isopropílico como solventes, respectivamente, variando a relação AC/CM em 5:1

Analisando a figura 2 é possível observar que todas as amostras apresentaram curvas de TG/DTG similares, independente do solvente utilizado. As amostras sintetizadas com álcool etílico e água destilada apresentaram três eventos de perda de massa e a amostra sintetizada com álcool isopropílico apresentou quatro eventos de perda de massa. O primeiro evento de perda de massa ocorreu há aproximadamente 40°C para todas as amostras, e está relacionado à perda de água adsorvida. O segundo evento ocorreu em aproximadamente 300° C para a amostra AE5, e em aproximadamente 480°C para a amostra AN5, referentes a perda de água da rede e à decomposição residual da matéria

orgânica. Na amostra AI5 o segundo e terceiro evento ocorreram em 430° e 550°C, também referente a perda de água da rede e à decomposição residual da matéria orgânica. O último evento ocorreu em aproximadamente 600°, 670° e 800°C para as amostras AE5, AN5 e AI5, respectivamente, relacionado à descarbonização (Manjubala e Sivakumar, 2001).

4 | CONCLUSÕES

O método Pechini mostrou-se eficiente na síntese de nanopartículas de cerâmicas bifásicas de fosfatos de cálcio para todas as amostras estudadas. De maneira geral, o aumento da proporção AC/CM favoreceu a formação das amostras com maior teor de Hap e também mais cristalinas, porém, não houve alterações significativas na percentagem das fases formadas, com os diferentes solventes estudados. Em todos os parâmetros da síntese estudados, as amostras obtidas apresentaram elevados valores de cristalinidade e tamanhos de cristalitos nanométricos. Os eventos de perda de massa das cerâmicas bifásicas obtidas foram similares, ocorrendo em faixas de temperaturas semelhantes, para todos os solventes, inerentes das perdas de água adsorvida, além dos processos de decomposição de compostos orgânicos, descarbonização e desidroxilação.

REFERÊNCIAS

BALBUENA, O.B.F. **Síntese de fosfato de cálcio bifásico via sol-gel e processamento de amostras para aplicação em bioengenharia**. 2015. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

BERGER, D; FRUTH, V; JITARU, I; SCHOONMAN, J. **Synthesis and Characterisation of $\text{La}_x\text{Sr}(1-x)\text{CoO}_3$ With Large Surface Area**. Materials Letters, vol. 58, p.2418-2422, 2004.

BONAN, R.F; BONAN, P.R.F; BATISTA, A.U.D; OLIVEIRA, J.E; MENEZES, R.R; MEDEIROS, E.S. **Methods of microstructural strengthening of hydroxyapatite**. Cerâmica, vol.60, no.355, São Paulo, July/Sept. 2014.

BOULER, J.M.; PILET, P.; GAUTHIER, O.; VERRON, E. **Biphasic calcium phosphate ceramics for bone reconstruction: A review of biological response**. Acta Biomaterialia, 53, 1-12, 2017.

CAO, W.; HENCH, L.L. **Bioactive materials**. Ceramics International, v. 22, pp. 493-507, 1996.

CHIM, H; GOSAIN, A.K. **Biomaterials in craniofacial surgery: experimental studies and clinical application**. J Craniofac Surg, vol. 20, p.29-33, 2009.

Cruz, J.A. **Estudo do efeito da composição e da temperatura de sinterização nas propriedades estruturais do compósito hap/nb2o5 e da evolução das fases da biocerâmica hap/ β -tcp em ossos de peixe calcinados em função da idade**. 2008. 144 f. Tese (Doutorado em Física) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

DOROZHKIN, S. **Biphasic, triphasic and multiphasic calcium orthophosphates**. Acta Biomaterialia, Vol.8, Pag.963-977, 2012.

LUKIĆ, M.; VESELINOVIĆ, L.; STOJANOVIC, Z.; MAČEK-KRŽMANC, M.; BRACKO, I.; SKAPIN, S.; MARKOVIC, S.; USKOKOVIC, D. **Peculiarities in sintering behavior of Ca-deficient hydroxyapatite nanopowders**. Materials Letters, Vol.68, Pag.331-335, 2012.

MANJUBALA, I; SIVAKUMAR, M. **In-situ synthesis of biphasic calcium phosphate ceramics using microwave irradiation**. Mater Chem Phys, vol. 71, p.272-278, 2001.

MASHREGHI, A; DAVOUDI, F. **The effect of ethylene glycol/citric acid molar ratio in the initial precursor of TiO₂ nanoparticle paste synthesized by a polymerizable complex method on the photovoltaic properties of dye-sensitized solar cells**. Materials Science in Semiconductor Processing, Volume 30, 2015, Pages 618-624.

MARIAPPAN, C.R; GALVEN, C; CROSNIER-LOPEZ, M.P; LE BERRE, F; BOHNKE, O. **Synthesis of nanostructured LiTi₂(PO₄)₃ powder by a Pechini-type polymerizable complex method**. Journal of Solid State Chemistry, vol. 179, p.450-456, 2006.

Moraes, P. C.; Filho, J. G. P.; Canola, J. C.; Santos, L. A.; Macoris, D. Graça.; Alessi, A. C.; Castro, M. B.; Neto, F. A. D. **Biocompatibilidade do cimento de fosfato de cálcio implantado no rádio de coelhos**. Acta Cir Bras, vol. 19, n°4, p.351-359, 2004.

PENÁ, J; VALLET-REGI, M. **Hydroxyapatite, tricalcium phosphate and biphasic materials prepared by a liquid mix technique**. Journal of the European Ceramic Society, vol.23, p.1687-1696, 2003.

RAMAKRISHNA, S., RAMALINGAM, M., KUMAR, T., SOBOYEJO, W., 2010, **Biomaterials: A Nano Approach**. 1 ed. CRC Press.

RATNER, B., HOFFMAN, A., SCHOEN, F., LEMONS, J., 2013, **Biomaterials Science: An introduction to Materials in Medicine**. 3 ed. California , Academic Press.

RIBEIRO, P.C.; DA COSTA, A.C.F.M; KIMINAMI, R.H.G.A; SASAKI, J M; LIRA, H.L. **Caracterização estrutural e morfológica de nanocristais de TiO₂ pelo método pechini**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 5, n. 3, p.58-64, 2010.

RIGO, E.C.S., GEHRKE, S.A., CARBONARI, M. **Síntese e caracterização de hidroxiapatita obtida pelo método de precipitação**. Revista Dental Press de Periodontia Implantol, Maringá, vol. 1, n. 3, pp. 39-50, 2007.

SANTOS, M.L.; FLORENTINO, A.O.; SAEKI, M.J.; APARECIDA, A.H.; LIA-FOOK, M.V.; GUASTALDI, A.C. Síntese de hidroxiapatita pelo método sol-gel utilizando precursores alternativos: nitrato de cálcio e ácido fosfórico . Eclética Química, vol.30, n°3, p.29-35, 2005.

SMITH, B.T; SANTORO, M; GROSFELD, E.C; SHAH, S.R; BEUCKEN, J.J.J.P; JANSEN, J.A; MIKOS, A.G. **Incorporation of fast dissolving glucose porogens into an injectable calcium phosphate cement for bone tissue engineering**. Acta Biomater, vol.50, p.68-77, 2017.

SUCHANEK, W.L.; RIMAN, R.E. **Hydrothermal Synthesis of Advanced Ceramic Powders**. Advances In Science And Technology, v. 45, p.184-193, 2006.

VELJOVIĆ, D.J; PALCEVSKIS, E; DINDUNE, A; PUTIC, S; BALAC, I; PETROVIC, R; JANACKOVIC, D.J. **Microwave sintering improves the mechanical properties of biphasic calcium phosphates from hydroxyapatite microspheres produced from hydrothermal processing.** Journal Of Materials Science, v. 45, n. 12, p.3175-3183, 2010.

VIANA, J.R; MACÊDO, A.A.M; SANTOS, A.O; FILHO, P.F.F; GRAÇA, M.P.F; SILVA, C.C. **Análise comparativa da síntese de hidroxiapatita via estado sólido.** Matéria, vol.25 n°1, 2020.

WILLIAMS, D. **On the nature of biomaterials.** Biomaterials, v. 30, p. 5897- 5909, 2009.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aço carbono 1, 2, 3, 5, 6
Aluminatos 82, 84, 90, 91, 92, 93, 94, 95
Ângulo de contato 27, 28, 32, 33
Ângulo de deslizamento 27, 28, 33
Autolimpeza 27, 28, 29, 33, 34

B

Biocerâmicas 71, 74
Biomateriais 71, 72, 73, 122, 125, 130, 131

C

Carbono poroso 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129
Cobre 11, 12, 13, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 119, 121, 125
Compósitos poliméricos 37, 38, 39, 40, 44, 47
Corrosão 1, 2, 6, 7, 9, 11, 20, 21, 22, 26, 28, 125, 138, 148
Cultivo 116

D

Descorantes 104
Dureza 10, 11, 13, 15, 16, 17, 26, 66

E

Eletrodo 122, 123, 124, 127, 137
Eletrofição 49
Estrôncio 82, 83, 84, 85, 87, 89, 90, 91, 94, 95

F

Fertilizantes 107, 108, 110, 111, 112, 114, 115, 116, 117
Fibras de timbó-açu 37, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47

I

Intensificação de processos 49

L

Latão 10, 11, 12, 13, 18
Liga de alumínio 27, 28, 29, 31, 32, 34

Luminescência 82, 83, 95

M

Microestrutura 10, 11, 12, 13, 17, 18, 19, 21, 24, 25, 26, 67, 68

Morfologia 28, 29, 30, 31, 32, 34, 47, 74, 92, 98, 136

N

Nióbio 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26

O

OTFT 136, 137, 138

P

Paligorskita 97, 98, 101, 102, 103

PBTTT-C14 136, 138, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146

PCI 49

Pechini 71, 72, 74, 79, 80, 84

Pó de despoejamento 62, 63, 64, 69, 70

Porosidade 62, 63, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 100, 123

Processo de fabricação 3, 19

Propriedades 11, 13, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 28, 29, 37, 38, 39, 43, 62, 63, 64, 66, 68, 69, 71, 73, 79, 84, 89, 95, 97, 98, 99, 101, 102, 103, 107, 109, 112, 113, 117, 124, 130, 146

R

Remineralizantes 107

Roadmap 49, 51, 52, 53, 54, 59, 60, 61

Rochas 73, 107, 108, 109, 111, 112, 113, 114, 115, 116

S

Sensores 135, 136, 137, 139, 140, 145

Silicatos 96, 98

Síntese 25, 71, 74, 77, 79, 80, 81, 82, 84, 87, 89, 94, 95, 96, 97, 100, 101, 102, 105, 122, 125, 126, 127, 128, 129, 131

Solidificação 10, 11, 13, 14, 15, 17, 18, 23, 24, 25, 26, 109

Sorção 97, 98

Supercapacitores 122, 123, 124, 131

Super-hidrofobicidade 27, 28, 29, 32, 33, 34

T

Terraços 136, 140, 141, 145

Terras-raras 82, 83

Impactos das Tecnologias na Engenharia de Materiais e Metalúrgica 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Impactos das Tecnologias na Engenharia de Materiais e Metalúrgica 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 