

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/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. 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 Andreza 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

BIOMATERIAIS COMO PRECURSORES DE CARBONOS POROSOS ATIVADOS PARA APLICAÇÃO EM SUPERCAPACITORES – REVISÃO

Data de aceite: 04/01/2021

Data de submissão: 06/10/2020

Alexandre da Silva Sales

Instituto Federal do Piauí – IFPI
Teresina – Piauí

<http://lattes.cnpq.br/4110004902909779>

Érico Rodrigues Gomes

Instituto Federal do Piauí - IFPI
Teresina – Piauí

<http://lattes.cnpq.br/7804518918824528>

Gilvan Moreira da Paz

Instituto Federal do Piauí – IFPI
Teresina – Piauí

<http://lattes.cnpq.br/2445265199339536>

RESUMO: Os supercapacitores aparecem como uma solução viável para resolver a busca por processos de conversão e armazenamento de energia, que atuem de forma sustentável, eficiente e que respondam de forma eficaz as necessidades globais do setor energético. Seu desempenho está ligado a composição do eletrodo e de seu ciclo de vida, dessa forma, novos materiais são analisados em busca desses parâmetros e nesses aspectos os materiais de carbono poroso tem sido usados largamente como matéria-prima para eletrodos, ganhando destaque, devido ao seu baixo custo, estrutura de poros bem desenvolvida, ótima estabilidade química e não agressividade ao ambiente. Nesta revisão, comparamos o desempenho de diferentes materiais de eletrodo obtidos a partir

de precursores à base de biomateriais. Este trabalho pode indicar um caminho para a escolha apropriada do precursor de carbono, a partir de vários precursores de biomateriais, e otimizar as condições de síntese de carvão ativado para aplicação de supercapacitor de alto desempenho.

PALAVRAS-CHAVE: Supercapacitores, Biomateriais, Eletrodo e Carbono Poroso.

BIOMATERIALS AS PRECURSORS OF ACTIVE POROUS CARBONS FOR APPLICATION IN SUPERCAPACITORS - REVIEW

ABSTRACT: Supercapacitors appear as a viable solution to solve the search for energy conversion and storage processes that act sustainably, efficiently and effectively respond to the global needs of the energy sector. Its performance is linked to the composition of the electrode and its life cycle, thus, new materials are analyzed in search of these parameters and in these aspects pore carbon materials have been widely used as raw material for electrodes, gaining prominence due to its low cost, well developed pore structure, excellent chemical stability and not aggressiveness to the environment. In this review, we compared the performance of different electrode materials obtained from biomaterial-based precursors. This work can indicate a path to the appropriate choice of carbon precursor, from various precursors of biomaterials, and optimize the conditions of activated carbon synthesis for application of high performance supercapacitor.

KEYWORDS: Supercapacitors, Biomaterials, Electrode and Porous Carbono.

1 | INTRODUÇÃO

O esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, associada as necessidades globais nos setores de energia, a clara e necessária preocupação com o meio ambiente ocasionam uma procura crescente por mecanismos de conversão e armazenamento de energia limpos, sustentáveis e mais eficientes (XUE *et al.*, 2020; SIMON *et al.*, 2008; TANG, *et al.*, 2014; ZHAO *et al.*, 2018). Assim os supercapacitores (SCs) estão atraindo, de forma intensa, a atenção pois podem fornecer densidade de energia em ordens de magnitude maior do que os capacitores dielétricos, além de maior densidade de energia e capacidade de ciclos mais longas comparado as baterias (YANG *et al.*, 2013; WANG *et al.*, 2013; YU *et al.*, 2015; FAN *et al.*, 2012; PENG *et al.*, 2014).

Os SCs oferecem uma solução viável para o fornecimento de energia em áreas não urbanas, onde inexistem disponibilidade de redes públicas ou envolve um custo elevado para o abastecimento. Em veículos elétricos e híbridos os SCs poderiam oferecer densidade de potência elevada, necessária para aceleração de curto prazo junto com a recuperação de energia durante a frenagem, economizando energia, além de proteger as baterias do processo de carga-descarga rápida de alta frequência, outra possibilidade seria como fontes de alimentação para dispositivos eletrônicos portáteis. Assim, os SCs funcionam como uma “nova energia” podendo atenuar o problema do consumo elevado de energia no mundo moderno (WINTER, 2004; POONAM *et al.*, 2019).

Materiais de carbono poroso têm sido usados largamente como matéria-prima de eletrodo devido ao seu baixo custo, estrutura de poros bem desenvolvida, ótima estabilidade química e não agressividade ao ambiente (LIU *et al.*, 2020; ZHANG *et al.*, 2017; ZHANG *et al.*, 2018; LI *et al.*, 2020).

Entre os vários métodos não padronizados, a adoção de biomaterial sustentável como o precursor para preparar material de carbono poroso é muito significativo (LI *et al.*, 2020; LI *et al.*, 2018; LI *et al.*, 2017), devido sua viabilidade, ser escalonável, não hostil ao meio ambiente e de baixo custo, em comparação com os precursores fósseis não renováveis e limitados (XUE *et al.*, 2020; VER *et al.*, 2020), além disso, o carbono poroso gerado apresenta uma elevada área de superfície, alta porosidade devido às suas arquiteturas micro e meso-porosas hierárquicas únicas e boa condutividade elétrica, além de excelente estabilidade eletroquímica, que são fortemente almejadas nos SCs (SHRESTHA *et al.*, 2020; SHRESTHA *et al.*, 2016; YANG *et al.*, 2019; CAO *et al.*, 2018).

Dessa forma, o desenvolvimento de novos materiais porosos de alto desempenho à base de carbono é imprescindível para a crescente demanda por armazenamento eficiente de energia na sociedade atual (LI *et al.*, 2020).

2 | SUPERCAPACITORES

Dentre os muitos mecanismos para o armazenamento de energia, em especial os destinados a aplicação de alta potência, os SCs destacam-se devido as suas propriedades, tais como: (i) alta densidade de potência, (ii) razoável densidade de energia, (iii) ciclo de vida longo, e (iv) uma ampla gama de aplicações desde eletrônicos portáteis a veículos elétricos híbridos (RANI *et al.*, 2020; QU *et al.*, 2015).

Fundamentado no mecanismo de armazenamento de energia ou na configuração da célula podem ser apontados três tipos de SCs: (i) os capacitores elétricos de camada dupla (EDLCs) e (ii) os pseudocapacitores e (iii) os capacitores híbridos (WAN *et al.*, 2020; XIE *et al.*, 2016; LIU *et al.*, 2018). O primeiro se caracteriza pelo armazenamento de carga eletrostática na interface eletrodo/eletrólito, o que o torna dependente da área de superfície dos materiais do eletrodo, mas comparado aos pseudocapacitores, carregam mais rápido e são mais estáveis. Já os pseudocapacitores armazenam carga devido a reações redox de superfície, onde processos farádicos rápidos e reversíveis ocorrem devido a espécies eletroativas (RANI *et al.*, 2020; ZHANG *et al.*, 2009; WU *et al.*, 2020).

Por fim, temos os capacitores híbridos que podem ser definidos como uma junção do EDLCs e dos pseudocapacitores, pois são formados por um eletrodo EDLC e um eletrodo pseudocapacitivo, combinando suas propriedades, o que resulta em alguns casos a um desempenho intermediário (GONZÁLEZ *et al.*, 2016).

Capacitor eletroquímico de camada dupla (EDLC)	Pseudocapacitor	Capacitor Híbrido
carbono como material do eletrodo	óxidos de metal e polímeros condutores são usados como material de eletrodo.	combinação de óxidos metálicos, polímeros condutores e carbono como material do eletrodo
mecanismo de armazenamento de carga através da formação de dupla camada eletroquímica (processo não Faradaico)	a carga é armazenada por meio de reações redox. (processo Faradaico)	a carga é armazenada por processos Faradaico e não Faradaico
baixa densidade de energia, boa capacidade de taxa, boa estabilidade cíclica e baixa capacitância específica	alta capacitância específica, alta densidade de energia, alta densidade de potência e capacidade de taxa baixa	alta densidade de energia e potência, com boa ciclabilidade

Quadro 1. Comparação de EDLCs, pseudocapacitores e capacitores híbridos

Fonte: Adaptado de POONAM *et al.*, 2019.

Nos EDLCs os eletrodos são normalmente constituídos de materiais de carbono poroso, graças a disponibilidade e custo relativamente baixo, já nos pseudocapacitores são formados por polímeros condutores ou eletrodos baseados em óxido metálico e, em alguns casos, em carbonos porosos funcionais que combinam estruturas de armazenamento de

carga eletrostática e pseudocapacitiva (GONZÁLEZ *et al.*, 2016).

Os eletrodos dos SCs necessitam de temperatura estável, condutividade elevada, boa estabilidade química, grande área específica de superfície, baixo custo, resistência a corrosão e devem ser ecologicamente corretos, características que tornam os materiais de carbono poroso o constituinte adequado para os eletrodos dos SCs. Além disso, a boa forma retangular das curvas de voltametria cíclica e o perfil de carga-descarga galvanostática simétrico indicam o carbono o material capacitivo adequado (POONAM *et al.*, 2019; XIE *et al.*, 2016; FRACKOWIAK, 2001).

3 I BIOMATERIAIS COMO PRECURSORES DE CARBONOS POROSOS

É expressivo a adoção de biomaterial sustentável como o precursor para preparar material de carbono poroso, pois são materiais orgânicos ricos em carbono podendo ser obtidos por meio de carbonização/ativação em alta temperatura com diferentes agentes de ativação. Outra característica importante é que esses precursores podem ser obtidos a partir de recursos naturais renováveis (LI *et al.*, 2020; GONZÁLEZ *et al.*, 2016).

Esta revisão destaca o uso de vários biomateriais como precursores para eletrodos usados em SCs, preparados a partir de casca de laranja, casca de arroz, vagem de soja, semente de *Walnut*, casca de Pomelo, palha de milho, espinha de peixe, folhas de lótus, cascas de sementes de argan, bagaço do dendê e sabugo de milho. Onde a escolha do precursor de biomaterial e as formas de ativação, junto com a área de superfície específica, a distribuição do tamanho dos poros e capacitância dos eletrodos de carbono poroso, motivam o desempenho eletroquímico (DIVYASHREE, 2015).

3.1 Síntese de carbonos porosos derivados da casca de laranja

Formada por celulose, hemicelulose e lignina, a casca de laranja contém numerosas espécies de carbono, oxigênio (O), nitrogênio (N) e enxofre (S). Assim, é expressivo desenvolver um método simples e viável para usar a casca de laranja como precursor de carbono para a síntese de materiais de carbono porosos contendo N, O, S. Nesta síntese, a casca de laranja seca e carbonato de cobre básico ($\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$) foram moídos em um almofariz. Em seguida, o pó obtido foi colocado em um forno tubular e aquecido a uma temperatura de pirólise designada e mantido nesta temperatura por 2 horas em uma atmosfera de ar. Após resfriamento à temperatura ambiente, o produto resultante foi imerso em uma solução de 50 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2) na proporção de 1: 1, e agitado vigorosamente por 12 horas. Em seguida, a substância sólida foi filtrada, lavada com bastante água desionizada e seca a 100 °C por 12 h, produzindo carbonos porosos derivados da casca de laranja. Nitrogênio, oxigênio e carbonos porosos hierárquicos contendo enxofre foram sintetizados com sucesso a partir da casca de laranja usando carbonato de cobre básico como agente ativador. O carbono poroso ativado após o tratamento apresentara área de superfície de 912,4 m²g⁻¹, capacitância gravimétrica

específica de $375,7 \text{ Fg}^{-1}$ e volume de poros de $0,576 \text{ cm}^3\text{g}^{-1}$ e excelente estabilidade de ciclo com uma retenção de capacitância de 92,7% após 50.000 ciclos em eletrólito de Na_2SO_4 1M (WAN *et al.*, 2020).

3.2 Síntese de carbonos porosos derivados da casca de arroz

Devido ao seu baixo custo, abundância natural e presença de molde de sílica, a casca de arroz é um precursor desejável para a preparação de carbono poroso. Nesta síntese, casca de arroz e ureia foram misturadas com almofariz e pilão. A mistura foi colocada em um recipiente de alumina e encharcada em 20 ml de água desionizada para a impregnação completa. O material foi aquecido em um forno de $85 \text{ }^\circ\text{C}$ por 6 horas para evaporar a água, seguido de aquecimento a $800 \text{ }^\circ\text{C}$ por 2 horas em um forno tubular. Após a calcinação, os produtos de pirólise foram imersos em solução de HF a 10% em peso à temperatura ambiente para lixiviar o molde de sílica. Em seguida, a amostra foi lavada com água desionizada até $\text{pH} = 7$, seca a $110 \text{ }^\circ\text{C}$ por 12 horas, produzindo carbonos porosos derivados da casca de arroz. Carbono poroso hierárquico e dopado com nitrogênio foi fabricado via pirólise de casca de arroz tratadas com ureia, apresentando área de superfície de $416 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, capacitância gravimétrica específica de 242 Fg^{-1} e volume de poros de $0,29 \text{ cm}^3\text{g}^{-1}$ e excelente estabilidade de ciclo com uma retenção de capacitância de 95% após 10.000 ciclos em eletrólito de H_2SO_4 1M (XUE *et al.*, 2020).

3.3 Síntese de carbonos porosos derivados da vagem de soja

A vagem de soja foi utilizada para sintetizar carbono poroso por exibir a matriz de microtubos como canal de íons natural e por ser rica em nitrogênio, o processo foi realizado por ativação alcalina. A vagem de soja foi carbonizada a $500 \text{ }^\circ\text{C}$ por 2 horas em um forno industrial. Em seguida, o material carbonizado foi misturado com o ativador NaOH na proporção de massa de $\text{NaOH}/(\text{vagem carbonizada}) = 1-5$ e aquecido a $800 \text{ }^\circ\text{C}$ por 2 horas em atmosfera de nitrogênio. Após lavagem e secagem, foi produzido carbonos porosos derivados da vagem de soja. O produto derivado da vagem de soja como preparado exibiu um formato de tubo paralelo com poros abundantes, o que é adequado para uso em canais iônicos. Apresentando área de superfície de $2.612 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, capacitância gravimétrica específica de $352,6 \text{ Fg}^{-1}$ e volume de poros de $1,838 \text{ cm}^3\text{g}^{-1}$ e excelente estabilidade de ciclo com uma retenção de capacitância de 94,2% após 50.000 ciclos em eletrólito de Na_2SO_4 1M, além de apresentar alto teor de nitrogênio (1,52%) (KONG *et al.*, 2020).

3.4 Síntese de carbonos porosos derivados da semente de *washnut*

Semente de *washnut* poderia ser um biomaterial alternativo para a produção de eletrodos de carbono escalonáveis para SCs de alto desempenho pois apresentam baixo custo. A semente de *washnut* foi lavada com água destilada, seca a $80 \text{ }^\circ\text{C}$ por 6 horas e moída em um triturador mecânico. O pó obtido foi pré-carbonizado a $300 \text{ }^\circ\text{C}$ ao ar por 3

horas. Posteriormente foi misturado com ZnCl_2 , agente de ativação química na proporção de 1:1 em peso e carbonizado em diferentes temperaturas sob o fluxo de nitrogênio em um forno de tubo durante 3 horas. As amostras de carbono poroso obtidas foram tratadas com uma solução diluída de ácido clorídrico (0,5 M de HCl), seguido de lavagem com água destilada (várias vezes). O produto foi seco em vácuo a 80 °C por 6 horas, produzindo o carbono poroso derivado de semente de *walnut*. Os carbonos porosos provenientes de sementes de *walnut* apresentam uma arquitetura porosa hierárquica contendo o micro e meso poros e oferecem uma área de superfície específica alta de $1.309 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ com volume de poros igual a $0,789 \text{ cm}^3\text{g}^{-1}$. Apresentou excelente desempenho de capacitância gravimétrica específica de $225,1 \text{ Fg}^{-1}$. Além disso, demonstrou estabilidade de 98% após 10.000 ciclos de carga e descarga em eletrólito aquoso ($1\text{M H}_2\text{SO}_4$) (SHRESTHA *et al.*, 2020).

3.5 Síntese de carbonos porosos derivados da casca de Pomelo

Os materiais de carbono dopados com nitrogênio e ou oxigênio, com estrutura porosa hierárquica, combinando com pseudocapacitância e capacitância de camada dupla, são considerados como o melhor material para eletrodo avançado para SCs. Assim a fibra da casca do pomelo, por ser formada principalmente por hemicelulose, celulose e lignina, pode ser utilizada como precursora de material de carbono poroso hierárquico dopado com nitrogênio e oxigênio. Fibras da casca do pomelo foram cortadas em fatias finas, lavadas e secas, e então pulverizada para obter um pó fino. O pó obtido foi misturado com cloreto de zinco (ZnCl_2) dissolvido numa quantidade apropriada de água desionizada durante 4 horas, proporção de 1:2 em peso. Após a secagem a 110 °C, a mistura uniformemente moída de pó de casca de pomelo e ZnCl_2 foi calcinada a 600 °C por 2 horas. Após redução natural da temperatura, o produto sólido foi moído até um pó preto, lavado adequadamente com HCl (0,1M) e água desionizada por filtração a vácuo. Finalmente, o produto foi seco a 75 °C em um forno a vácuo por 12 horas, gerando o carbono poroso derivado da casca de Pomelo. O carbono poroso hierárquico codificado por nitrogênio e oxigênio, ativado por ZnCl_2 , foi desenvolvido com sucesso por etapa de carbonização/ativação de casca de pomelo como material de partida. Possui 5,2% em peso de nitrogênio e 5,5% em peso de oxigênio, com área de superfície específica do carbono poroso de $1.582 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$. Apresentou excelente desempenho de capacitância gravimétrica específica de 180 Fg^{-1} . Além disso, apresentou excelente capacidade de taxa com uma retenção de capacitância de 75,6% e estabilidade de ciclo fantástica com quase 100% de eficiência por 5.000 ciclos em KOH (6M) (LI *et al.*, 2020).

3.6 Síntese de carbonos porosos derivados da palha de milho

A palha de milho é utilizada como precursor dos carbonos ativados por ser um bio-resíduos de baixo custo e apresentar sílica antes da ativação, pois a presença de sílica antes da ativação leva ao aumento do volume mesoporoso. As palhas de milho doce foram

lavadas em água deionizada para remover quaisquer contaminantes e secas em um forno de ar quente a 60 °C durante a noite. Após a secagem pedaços de palha de milho doce foram carbonizados em um forno tubular a 1000 °C sob atmosfera de argônio por 1 hora. Os pós carbonizados foram adicionados à solução de hidróxido de potássio (KOH) em duas proporções de peso diferentes (proporção de 1:1 e 1:4) em peso de carbono para KOH, respectivamente. As misturas resultantes foram processadas durante 20 minutos usando um sonicador de banho, seguido de agitação durante 2 horas à temperatura ambiente. O produto foi seco em estufa de ar quente a 105 °C. Os pós secos foram posteriormente tratados termicamente a 800 °C por 2 horas sob atmosfera de argônio. Os materiais de carbono poroso ativados foram lavados com água desionizada e secos na estufa a 60 °C. Os carbonos ativados apresentam uma área superficial específica elevada ($1.370 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$), com 90% da capacitância inicial retida após 5.000 ciclos, volume de poros de $0,8 \text{ cm}^3\text{g}^{-1}$, com capacitância específica de 127 Fg^{-1} no eletrólito aquoso (6M) KOH (RANI *et al.*, 2020).

3.7 Síntese de carbonos porosos derivados da espinha de peixe

Anualmente toneladas de resíduos de peixes, incluindo as espinhas, são descartados. Em vez disso, a espinha de peixe pode ser aproveitada como uma fonte de biomaterial natural barata e confiável para síntese de carbonos porosos. A espinha de peixe foi lavada com água desionizada para remover impurezas e seca a 80 °C por 24 horas. O material foi carbonizado em um forno tubular sob diazoto (N_2) a 200 °C por 1 hora para remover a água da espinha de peixe. Depois de resfriado naturalmente à temperatura ambiente, o pó de carbono obtido foi lavado com HCl (1M), seguido de limpeza com água destilada até o pH atingir 7. Neste processo temos uma estratégia fácil para preparar carbono poroso usando hidroxifosfato de cálcio de bio-precursor com molde de espinha de peixe. Este método de síntese é ecologicamente correto e econômico na ausência de qualquer agente químico de ativação. Os carbonos apresentam uma área superficial específica de $1337 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ com 5,8% de nitrogênio e 7,99% de oxigênio, 91% da capacitância original mantida após 10.000 ciclos contínuos, volume de poros de $0,85 \text{ cm}^3\text{g}^{-1}$, com capacitância específica de 476 Fg^{-1} em $1 \text{ M H}_2\text{SO}_4$ (VER *et al.*, 2020).

3.8 Síntese de carbonos porosos derivados de folhas de lótus

As características naturais das folhas de lótus podem ser benéficas para a preparação de carvão ativado poroso hierárquico: (i) riqueza em sais de metal ou alto teor de cinzas, que podem ser potencialmente graves como modelos naturais rígidos para gerar uma estrutura porosa hierárquica; (ii) alto teor de proteínas e lipídios, o que proporcionou a chance de autodopagem com heteroátomos O, N e S. Folhas de lótus foram pirolisadas em um reator de leito fixo sob atmosfera de nitrogênio a 600 °C por 1 hora. Para o processo de ativação, o pó obtido na etapa de pirólise foi misturado com KOH na proporção de massa de 1:2 e 1:4. Posteriormente, a mistura foi colocada em um forno tubular a 800 °C por 1 hora. Finalmente, o pó resultante foi resfriado à temperatura ambiente e lavado em

solução de HCl (1M), água destilada até pH igual a 7, seco a 110 °C por 12 horas para obter carbonos porosos hierárquicos derivados de folhas de lótus. Como valores máximos, os carbonos ativados apresentam uma área superficial específica de 3.601 m²g⁻¹, com 99% da capacitância inicial retida após 10.000 ciclos, volume de poros de 2,44 cm³g⁻¹, com capacitância específica de 523 Fg⁻¹ no eletrólito aquoso (6M) KOH (LIU *et al.*, 2020).

3.9 Síntese de carbonos porosos derivados de sementes de argan

As sementes de argan são usadas para produzir óleo para uso culinário e cosmético e esse processamento do óleo produz grandes quantidades de resíduos de biomaterial da semente que são usados principalmente para fins de aquecimento, mas podem ser utilizados como precursores de carbono poroso para SCs. As sementes de argan moídas até um tamanho de partícula entre 2 e 3 mm, para posteriormente ser carbonizadas a 500 °C por 3 horas. O material foi quimicamente ativado com KOH. A amostra foi aquecida a 60 °C por 12 horas e então a 110 °C até a secura. Posteriormente foram pirolisadas a 300 °C por 2 horas e depois a 800 °C por 3 horas, resultando em carbono poroso ativado derivado de sementes de argan. Os carbonos ativados apresentam, como valores máximos, uma área superficial específica de cerca de 2100 m²g⁻¹, com 93% da capacitância inicial retida após 1.000 ciclos, volume de poros de 0,96 cm³g⁻¹, com capacitância específica de 355 Fg⁻¹ no eletrólito aquoso (1M) H₂SO₄ (ELMOUWAHIDI *et al.*, 2012).

3.10 Síntese de carbonos porosos derivados do bagaço de dendê

O dendê (*Elaeis Guineensis*), de cujos frutos é extraído o óleo de dendê, é bastante plantado em todo o planeta, e o resíduos, pós extração do óleo, podem ser facilmente levados para o processo de ativação de carbono, reciclando o produto e agregado valor. Os frutos do dendezeiro processados, lavados abundantemente com água destilada para remover sujeira e posteriormente seco a 100 °C em um forno. O material seco foi então pirolisado a 500 °C em um forno por 4 horas. Os pós de carvão obtidos foram ativados para melhorar a área de superfície específica por métodos de ativação química (KOH) e física (vapor). Todo o processo de pirólise e ativação é feito em ambiente com deficiência de oxigênio. Os carbonos ativados apresentam, como valores máximos, uma área superficial específica de cerca de 727,3 m²g⁻¹, com 97% da capacitância inicial retida após 1.000 ciclos, volume de poros de 0,42 cm³g⁻¹, com capacitância específica de 210 Fg⁻¹ no eletrólito aquoso (6M) KOH (MISNON *et al.*, 2015).

3.11 Síntese de carbonos porosos derivados do sabugo de milho

O milho é um dos materiais alimentares mais populares do mundo e sua parte central é descartada como bio-lixo, assim demonstramos uma maneira fácil para a preparação de material de carbono poroso a partir de sabugo de milho para aplicação de SCs em eletrólitos aquosos e não aquosos. Carvão ativado derivado de sabugo de milho

foi preparado via carbonização seguida pela ativação de materiais carbonizados, assim os resíduos de sabugo de milho bruto coletados em terras urbanas foram cortados em pequenos pedaços e lavados com água deionizada várias vezes e secos a 100 °C por 48 horas. Em seguida, carbonizado a 400 °C em um forno tubular sob atmosfera inerte (Ar) por 4 horas. O material carbonizado foi submetido ao processo de ativação química, por KOH na proporção de peso de 3:1. posteriormente, a mistura foi tratada termicamente a 600, 700 e 800 °C em um forno tubular sob atmosfera de Ar por 1 hora. Após a ativação, foram lavados completamente com água deionizada até o pH se tornasse 7, seguido por etanol e seco a 60 °C por 3 horas. Os carbonos ativados apresentam, como valores máximos, uma área superficial específica de cerca de 800 m²g⁻¹, com 98% da capacitância inicial retida após 5.000 ciclos, volume de poros de 0,337 cm³g⁻¹, com capacitância específica de 390 Fg⁻¹ no eletrólito aquoso (1M) H₂SO₄ (KARNAN *et al.*, 2017).

3.12 Comparação dos carbonos porosos derivados de precursor de biomaterial.

Muitos biomateriais resultam em carbonos porosos com excelente desempenho, especialmente no armazenamento e conversão de energia para sua rede condutora porosa, com elevada área de superfície específica, ambientalmente amigável e barata (LI *et al.*, 2020). No entanto, as propriedades do carbono derivado de biomaterial variam significativamente (Tabelas 1 e 2), portanto, há uma necessidade de otimizar a fonte para uma aplicação desejada (MISNON *et al.*, 2015).

Precursor de biomaterial	Método de ativação	Área de superfície específica (m ² g ⁻¹)	Capacitância específica (Fg ⁻¹)	Eletrólito	Referência
Casca de laranja	Cu ₂ (OH) ₂ CO ₃	912,4	375,7	Na ₂ SO ₄ 1M	WAN <i>et al.</i> , 2020
Casca de arroz	Sem ativação	416,0	242,0	H ₂ SO ₄ 1M	XUE <i>et al.</i> , 2020
Vagem de soja	NaOH	2.612,0	352,6	Na ₂ SO ₄ 1M	KONG <i>et al.</i> , 2020
Semente de washnut	ZnCl ₂	1.309,0	225,1	H ₂ SO ₄ 1M	SHRESTHA <i>et al.</i> , 2020
Casca de Pomelo	ZnCl ₂	1.582,0	180,0	KOH 6M	LI <i>et al.</i> , 2020
Palha de Milho	KOH	1.370,0	127,0	KOH 6M	RANI <i>et al.</i> , 2020
Espinha de peixe	Sem ativação	1.337,0	476,0	H ₂ SO ₄ 1M	VER <i>et al.</i> , 2020
Folhas de lótus	KOH	3.601,0	523,0	KOH 6M	LIU <i>et al.</i> , 2020
Sementes de argan	KOH	2.100,0	355,0	H ₂ SO ₄ 1M	ELMOUWAHIDI <i>et al.</i> , 2012
Bagaço de dendê	KOH	727,3	210,0	KOH 6M	MISNON <i>et al.</i> , 2015
Sabugo de milho	KOH	800,0	390	H ₂ SO ₄ 1M	KARNAN <i>et al.</i> , 2017

Tabela 01 - Diferentes métodos de ativação para obter elevadas áreas de superfície e capacitância específica.

Precursor de biomaterial	Volume de poros (cm ³ g ⁻¹)	Retenção de capacitância (%)	Ciclo de estabilidade	Referência
Casca de laranja	0,576	92,7	50.000	WAN et al., 2020
Casca de arroz	0,290	95,0	10.000	XUE et al., 2020
Vagem de soja	1,838	94,2	50.000	KONG et al., 2020
Semente de washnut	0,789	98,0	10.000	SHRESTHA et al., 2020
Casca de Pomelo	-	75,6	5.000	LI et al., 2020
Palha de Milho	0,800	90,0	5.000	RANI et al., 2020
Espinha de peixe	0,850	91,0	10.000	VER et al., 2020
Folhas de lótus	2,440	99,0	10.000	LIU et al., 2020
Sementes de argan	0,960	93,0	1.000	ELMOUWAHIDI et al., 2012
Bagaço de dendê	0,420	97,0	1.000	MISNON et al., 2015
Sabugo de milho	0,337	98,0	5.000	KARNAN et al., 2017

Tabela 02 - Volume de poros, seu ciclo de estabilidade e retenção de capacitância.

4 | CONCLUSÃO

O desempenho eletroquímico dos carbonos porosos, provenientes dos vários biomateriais revisados, mostraram potencial na área dos supercapacitores. Os dados mostram a área de superfície específica, volume dos poros, capacitância gravimétrica específica e tempo de vida útil que são altamente desejadas nos supercapacitores de armazenamento de energia eletroquímica emergentes. Destacam-se as folhas de lotus com a maior área de superfície específica, com 3.601,0 m²g⁻¹, 37% maior que o biomaterial mais próximo revisado. As folhas de lotus também tem grande relevância no volume total de poros (2,44 cm³g⁻¹). Em relação a capacitância gravimétrica específica tem destaque os carbonos porosos derivados da espinha de peixe e folhas de lotus, já os provenientes da casca de laranja e vagem de soja apresentaram melhor vida útil, na faixa dos 50.000 ciclos. Esta revisão pode indicar um caminho para a escolha mais apropriada do precursor de carbono, a partir de vários precursores de biomateriais, e otimizar as condições de síntese de carvão ativado para aplicação de supercapacitor de alto desempenho.

REFERÊNCIAS

CAO, Y. *et al.* Hollow carbon microtubes from kapok fiber: structural evolution and energy storage performance. **Sustain. Energy Fuels** (2018), 2, 455–465.

DIVYASHREE, A.; HEGDE, G. Activated carbon nanospheres derived from bio-waste materials for supercapacitor applications – a review. **Rsc Advances**, 5 (2015) 107, pp. 88339-88352

ELMOUWAHIDI A. *et al.* Activated carbons from KOH-activation of argan (*Argania spinosa*) seed shells as supercapacitor electrodes. (2012) **Bioresource Technology**, 111, pp. 185-190.

FAN, Z. J. *et al.* Template directed synthesis of pillared-porous nanosheet architectures: high-performance electrode materials for supercapacitor. **Adv. Energy Mater.**, 2 (2012), pp. 419-424

FRACKOWIAK, E.; BEGUIN, F. Carbon materials for the electrochemical storage of energy in capacitors. **Carbon**, 39 (2001), pp. 937-950

GONZÁLEZ, A. *et al.* Review on supercapacitors: Technologies and materials. **Renew Sustain Energy Rev.**, 58 (2016), pp. 1189-1206

KARNAN M *et al.* Electrochemical Studies on Corncob Derived Activated Porous Carbon for Supercapacitors Application in Aqueous and Non-aqueous Electrolytes. (2017) **Electrochimica Acta**, 228, pp. 586-596.

KONG, X. *et al.* Synthesis of natural nitrogen-rich soybean pod carbon with ion channels for low cost and large areal capacitance supercapacitor. **Applied Surface Science**, 516 (2020) 146162

LI, J. *et al.* Oxygen-rich hierarchical porous carbon made from pomelo peel fiber as electrode material for supercapacitor. **Appl. Surf. Sci.**, 416 (2017), pp. 918-924

LI, J. *et al.* Pomelo peel-based N, O-codoped hierarchical porous carbon material for supercapacitor application. **Chemical Physics Letters** (2020)

LI, J.; WU, Q. Activated carbon derived from harmful aquatic plant for high stable supercapacitors. **Chem. Phys. Lett.**, 691 (2018), pp. 238-242

LIU, H. *et al.* Oxygen–nitrogen–sulfur self-doping hierarchical porous carbon derived from lotus leaves for high-performance supercapacitor electrodes. **Journal of Power Sources**, 479 (2020) 228799

LIU, M. Y. *et al.* Potassium compound-assistant synthesis of multi-heteroatom doped ultrathin porous carbon nanosheets for high performance supercapacitors. **Nano Energy**, 51 (2018), pp. 366-372

MISNON I.I., *et al.* Electrochemical properties of carbon from oil palm kernel shell for high performance supercapacitors. (2015) **Electrochimica Acta**, 174 (1), pp. 78-86.

PENG, H. *et al.* Formation of Carbon Nanosheets via Simultaneous Activation and Catalytic Carbonization of Macroporous Anion-Exchange Resin for Supercapacitors Application. **ACS Appl. Mater. Interfaces**, 6 (2014), pp. 20795-20803

POONAM, *et al.* Review of supercapacitors: Materials and devices. **Journal of Energy Storage**, 21 (2019) 801–825

QU, W.-H. *et al.* Converting biowaste corncob residue into high value added porous carbon for supercapacitor electrodes. **Bioresour. Technol.**, 189 (2015), pp. 285-291

RANI, M. U. *et al.* Corn husk derived activated carbon with enhanced electrochemical performance for high-voltage supercapacitors. **J. Power Sources**, 471 (2020), Article 228387

SHRESTHA, L.K. *et al.* Nanoporous carbon materials with enhanced supercapacitance performance and non-aromatic chemical sensing with C1/C2 alcohol discrimination. **Sci. Technol. Adv. Mater.** (2016), 17, 483–492

SHRESTHA, R. L. *et al.* Nanoporous Carbon Materials Derived from Washnut Seed with Enhanced Supercapacitance. **Materials**, (2020), 13, art. 2371

SIMON, P.; GOGOTSI, Y. Materials for electrochemical capacitors. **Nat. Mater**, 7 (2008), pp. 845-854

TANG C. *et al.* Nitrogen-Doped Aligned Carbon Nanotube/Graphene Sandwiches: Facile Catalytic Growth on Bifunctional Natural Catalysts and Their Applications as Scaffolds for High-Rate Lithium-Sulfur Batteries. **Advanced Materials**, 26 (2014), p. 6100

VER, J. *et al.* Fishbone-derived N-doped hierarchical porous carbon as an electrode material for supercapacitor. **Journal of Alloys and Compounds**, 832 (2020) 154950

WAN, L. *et al.* Facile preparation of porous carbons derived from orange peel via basic copper carbonate activation for supercapacitors. **Journal of Alloys and Compounds**, 823 (2020) 153747

WANG, Y. G.; XIA, Y. Y. Recent Progress in Supercapacitors: From Materials Design to System Construction. **Advanced Materials**, 25 (2013), pp. 5336 – 5342

WINTER, M.; BRODD, R. J. What Are Batteries, Fuel Cells, and Supercapacitors? **Chem. Rev.** 2004, 104, 10, 4245–4270

WU, J. *et al.* Hierarchical porous carbon derived from wood tar using crab as the template: Performance on supercapacitor. **Journal of Power Sources**, 455 (2020), Article 227982

XIE, L. *et al.* Hierarchical porous carbon microtubes derived from willow catkins for supercapacitor applications. **J. Mater. Chem. A**, 4 (2016), pp. 1637-1646

XIE, L.J. *et al.* Hierarchical porous carbon microtubes derived from willow catkins for supercapacitor applications. **J. Mater. Chem.**, 4 (2016), pp. 1637-1646

XUE, B. *et al.* Self-template synthesis of nitrogen-doped porous carbon derived from rice husks for the fabrication of high volumetric performance supercapacitors. **J. Energy Storage**, 30 (2020), Article 101405

YANG, S. *et al.* Biomass derived interconnected hierarchical micro-meso-macro- porous carbon with ultrahigh capacitance for supercapacitors. **Carbon** (2019), 147, 540–549.

YANG, X. *et al.* Liquid-mediated dense integration of graphene materials for compact capacitive energy storage. **Science**, 341 (2013), pp. 534-537

YU, Z. *et al.* Supercapacitor electrode materials: nanostructures from 0 to 3 dimensions. **Energy & Environmental Science**, 8 (2015), pp. 702-730

ZHANG, L.L.; ZHAO, X.S. Carbon-based materials as supercapacitor electrodes. **Chem. Soc. Rev.**, 2009, 38, 2520-2531

ZHANG, Y. *et al.* Review of macroporous materials as electrochemical supercapacitor electrodes. **J. Mater. Sci.**, 52 (2017), pp. 11201-11228

ZHANG, Y.F. *et al.* Ultrahigh energy fiber-shaped supercapacitors based on porous hollow conductive polymer composite fiber electrodes. **J. Mater. Chem. A**, 6 (2018), pp. 12250-12258

ZHAO, B. *et al.* Rational design of nickel hydroxide-based nanocrystals on graphene for ultrafast energy storage. **Adv. Energy Mater.**, 8 (2018), Article 1702247

ZHAO, Y. *et al.* One-step production of O-N-S co-doped three-dimensional hierarchical porous carbons for high-performance supercapacitors. **Nano Energy**, 47 (2018), pp. 547-555

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
Eletrofiação 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 