



JOÃO DALLAMUTA  
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN  
RENNAN OTAVIO KANASHIRO  
(ORGANIZADORES)

# AMPLIAÇÃO E APROFUNDAMENTO DE CONHECIMENTOS NAS ÁREAS DAS ENGENHARIAS 3

 **Atena**  
Editora  
Ano 2020



JOÃO DALLAMUTA  
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN  
RENNAN OTAVIO KANASHIRO  
(ORGANIZADORES)

# **AMPLIAÇÃO E APROFUNDAMENTO DE CONHECIMENTOS NAS ÁREAS DAS ENGENHARIAS 3**

**Atena**  
Editora  
Ano 2020

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecário**

Maurício Amormino Júnior

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Karine de Lima Wisniewski

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 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 4.0 Internacional (CC BY 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.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

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  
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 Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
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. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
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. 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  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
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. Lillian 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. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
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. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof. 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  
**Bibliotecário** Maurício Amormino Júnior  
**Diagramação:** Luiza Alves Batista  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadores:** João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
Rennan Otavio Kanashiro

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

A526 Ampliação e aprofundamento de conhecimentos nas áreas das engenharias 3 [recurso eletrônico] / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann, Rennan Otavio Kanashiro. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-389-7

DOI 10.22533/at.ed.897201709

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovações tecnológicas. I. Dallamuta, João. II. Holzmann, Henrique Ajuz. III. Kanashiro, Rennan Otavio.

CDD 620

Elaborado por Maurício Amormino Júnior | CRB6/2422

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

Caro(a) leitor(a)

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

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

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

Boa leitura!

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
Rennan Otavio Kanashiro

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **PROPOSAL OF A CONCEPT FOR MODELING SMALL WIND TURBINES**

Heitor Andrade Porto  
Arthur José Vieira Porto  
Carlos Alberto Fortulan

**DOI 10.22533/at.ed.8972017091**

### **CAPÍTULO 2..... 14**

#### **PROPOSTA DE ALGORITMO PARA REGRAS DE CIRCULAÇÃO DE TRENS EM FERROVIA SINGELA COM PONTOS DE CRUZAMENTO EM MODELO DE SIMULAÇÃO BASEADA EM EVENTOS DISCRETOS OU AGENTES**

Rafael Buback Teixeira  
Luiz Henrique Lima Faria  
Afonso Celso Medina  
Augusto Cesar Pereira  
Frederico Augusto Coelho Vieira da Costa  
Luiz Antonio Silveira Lopes  
Ivan Ronei Herzog Mação Campos  
Lucas Corteletti Rodrigues

**DOI 10.22533/at.ed.8972017092**

### **CAPÍTULO 3..... 31**

#### **OTIMIZAÇÃO NÃO LINEAR E REDES NEURAIS ARTIFICIAIS: FERRAMENTAS NA LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO**

Simone Aparecida Rocha  
Thiago Gomes de Mattos  
Rodrigo Tomás Nogueira Cardoso  
Eduardo Gonzaga da Silveira

**DOI 10.22533/at.ed.8972017093**

### **CAPÍTULO 4..... 47**

#### **ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE APROVEITAMENTO COM GERAÇÃO HÍBRIDA HIDRÁULICO-FOTOVOLTAICO**

Marianna Aranda Lima

**DOI 10.22533/at.ed.8972017094**

### **CAPÍTULO 5..... 59**

#### **DIAMOND INTEGRATED COATING BY ELECTROPLATING PROCESS - AN OVERVIEW**

Regina Bertília Dantas de Medeiros  
Janary Martins Figueiredo Filho  
Meysam Mashhadikarimi  
Uilame Umbelino Gomes

**DOI 10.22533/at.ed.8972017095**

### **CAPÍTULO 6..... 70**

#### **TECNOLOGIA ASSISTIVA: PROTÓTIPO DE DISPOSITIVO PARA ESTÍMULO SENSORIAL**

## INTENSIVO

Mauro Fonseca Rodrigues  
Diane Johann  
Leonardo Rafael Willers  
Gracieli Cristina Scherer  
Kelly Gabriela Poersch

**DOI 10.22533/at.ed.8972017096**

## **CAPÍTULO 7..... 83**

### **OBTENÇÃO DE NANOFERRITA DE MANGANÊS PELO MÉTODO DE COMBUSTÃO EM SOLUÇÃO (SCS) PARA APLICAÇÃO EM BIONANOCOMPOSITO**

Ana Clara Ferreira de Sousa  
Débora Albuquerque Vieira  
Mireli Tomazi Fidelis  
Anderson Souza Silva  
Ana Cristina Figueiredo de Melo Costa

**DOI 10.22533/at.ed.8972017097**

## **CAPÍTULO 8..... 94**

### **TRATAMENTO DE METAIS PESADOS PRESENTES EM RESÍDUOS SÓLIDOS PERIGOSOS POR ESTABILIZAÇÃO E SOLIDIFICAÇÃO EM MATRIZ DE CIMENTO**

Eder Saulo de Freitas Galindo  
André Luiz Fiquene de Brito

**DOI 10.22533/at.ed.8972017098**

## **CAPÍTULO 9..... 109**

### **ESTUDO DA COMPACTAÇÃO E SINTERIZAÇÃO DE PÓS CERÂMICOS DE ZnO (ÓXIDO DE ZINCO) OBTIDOS POR REAÇÃO DE COMBUSTÃO COM POTENCIAL PIEZOELÉTRICO**

Verônica Barbosa da Silva  
Débora Albuquerque Vieira  
José Bruno Silva Gomes  
Sara Paulina Noronha Lima  
Herbert Fonseca da Silva  
Ana Cristina Figueiredo de Melo Costa

**DOI 10.22533/at.ed.8972017099**

## **CAPÍTULO 10..... 122**

### **INFLUÊNCIA DO USO DE AGENTE MODIFICADOR DE IMPACTO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO COPOLÍMERO RANDÔMICO DE POLIPROPILENO**

Jesus Rogério Damé Pereira  
Carmen Iara Walter Calcagno  
Ruth Marlene Campomanes Santana

**DOI 10.22533/at.ed.89720170910**

## **CAPÍTULO 11..... 134**

### **INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE SORBITOL E PROPILENOGLICOL NAS**

## CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS DE FILMES DE QUITOSANA

Letícia Pereira Almeida

Francisco Fábio Oliveira de Sousa

**DOI 10.22533/at.ed.89720170911**

## **CAPÍTULO 12..... 140**

### O QUE FAZER COM OS REEE DO CESC E CESC?

Fernando Wesley Pinheiro Brito

Railane dos Santos de Sousa

Ana Sávia Constâncio da Silva

Maria de Fátima Salgado

**DOI 10.22533/at.ed.89720170912**

## **CAPÍTULO 13..... 152**

### LEVANTAMENTO SOCIOAMBIENTAL DOS MUNICIPIOS PERTENCENTES AO COMITÊ DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS SANTA TEREZA E SANTO ANTÔNIO

Walberisa Magalhães Gregório

Maria Cristina Bueno Coelho

Mauro Luiz Erpen

Maurilio Antônio Varavallo

Juliana Barilli

Asafe Santa Bárbara Gomes

Marcos Vinicius Giongo Alves

Marcos Vinícius Cardoso Silva

Yandro Santa Brigida Ataíde

**DOI 10.22533/at.ed.89720170913**

## **CAPÍTULO 14..... 160**

### REGRESSÃO MÚLTIPLA COMO INSTRUMENTO DE EXPLICAÇÃO DO ÍNDICE DE VIOLÊNCIA NO BRASIL EM 2014

Afonso Fonseca Fernandes

Américo Matsuo Minori

Heber José de Moura

**DOI 10.22533/at.ed.89720170914**

## **SOBRE OS ORGANIZADORES ..... 173**

## **ÍNDICE REMISSIVO..... 174**

# CAPÍTULO 9

## ESTUDO DA COMPACTAÇÃO E SINTERIZAÇÃO DE PÓS CERÂMICOS DE ZNO (ÓXIDO DE ZINCO) OBTIDOS POR REAÇÃO DE COMBUSTÃO COM POTENCIAL PIEZOELÉTRICO

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 05/06/2020

### **Verônica Barbosa da Silva**

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
– UNIFESSPA, Faculdade de Engenharia de  
Materiais  
Marabá - PA  
<http://lattes.cnpq.br/6712936355064797>

### **Débora Albuquerque Vieira**

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
– UNIFESSPA, Faculdade de Engenharia de  
Minas e Meio Ambiente  
Marabá - PA  
<http://lattes.cnpq.br/513473001535070>

### **José Bruno Silva Gomes**

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
– UNIFESSPA, Faculdade de Engenharia de  
Materiais  
Marabá - PA  
<http://lattes.cnpq.br/0897265484867350>

### **Sara Paulina Noronha Lima**

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
– UNIFESSPA, Faculdade de Engenharia de  
Minas e Meio Ambiente  
Marabá - PA  
<http://lattes.cnpq.br/5431919567597735>

### **Herbert Fonseca da Silva**

Universidade Federal do Sul e Sudeste do  
Pará – UNIFESSPA, Instituto de Geociências e  
Engenharia  
Marabá - PA  
<http://lattes.cnpq.br/2887672417256094>

### **Ana Cristina Figueiredo de Melo Costa**

Universidade Federal de Campina Grande –  
UFCG, Unidade Acadêmica de Engenharia de  
Materiais. Campina Grande/PB.  
<http://lattes.cnpq.br/6309225172752964>

**RESUMO:** A pesquisa e desenvolvimento de materiais nanoestruturados têm ganhado muita atenção nos últimos anos. Isso ocorre devido às possibilidades de melhoria das diversas propriedades que estes materiais podem apresentar em relação aos materiais microestruturados. As propriedades desses materiais são dependentes de sua composição química e microestrutura desenvolvida principalmente durante o tratamento térmico a que são submetidos. Dessa forma, este trabalho relata o estudo da compactação e sinterização de pós nanométricos de Óxido de Zinco (ZnO) sintetizados pelo método de reação de combustão para potencial aplicação piezoelétrica. Para tanto, os pós sintetizados foram compactados por prensagem uniaxial sob pressão de 130Mpa e 390MPa e sinterizados a 1000°C em forno convencional. Em seguida, realizou-se a avaliação das propriedades físico-químicas das pastilhas e a caracterização microestrutural e morfológica, através das técnicas de ensaio de Arquimedes difração de raios-X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV), respectivamente. O processo de sinterização não alterou significativamente as características do material. A análise por difração de raios X identificou a fase única cristalina hexagonal ZnO com estrutura de wurtzita, com tamanho

médio de cristalito de 57 nm. As micrografias obtidas por MEV revelaram que o pó de ZnO é formado basicamente por partículas primárias irregulares. A prensagem uniaxial foi eficaz para a produção de peças cerâmicas a base de ZnO com geometria esférica. E o processo de sinterização proporcionou cerâmicas com maiores densidades e menores porosidades nas amostras com pressão de compactação mais elevada (390MPa).

**PALAVRAS – CHAVE:** Óxido de zinco, compactação, reação de combustão, piezoelectricidade.

## STUDY OF THE COMPACTION AND SINTERIZATION OF CERAMIC ZNO (ZINC OXIDE) POWERS OBTAINED BY COMBUSTION REACTION WITH PIEZOELECTRIC POTENTIAL

**ABSTRACT:** Research and development of nanostructured materials has gained a lot of attention in recent years. This is due to the possibilities of improving the various properties that these materials can have in relation to microstructured materials. As properties of these materials are dependent on their chemical composition and microstructure developed mainly during the heat treatment that are used. Thus, this work reports the study of compacting and sintering zinc oxide nanometric powders (ZnO) synthesized by the combustion reaction method for potential piezoelectric application. For that, the post-synthesized were compacted by uniaxial pressure under 130Mpa and 390MPa pressure and sintered at 1000°C in the conventional oven. Then, it carried out an evaluation of the physical-chemical properties of the tablets and microstructural and morphological characterization, using the Archimedes X-ray diffraction (DRX) and scanning electron microscopy (SEM) test techniques, respectively. The sintering process does not change the characteristics of the material. An analysis by X-ray diffraction identified a single phase of hexagonal crystal ZnO with wurtzite structure, with an average crystal size of 57 nm. The micrographs selected by SEM reveal that the ZnO powder is basically formed by irregular primary particles. A uniaxial pressing was effective for the production of ceramic parts based on ZnO with spherical geometry. The sintering process offers ceramics with higher densities and smaller pores, with higher compaction pressure (390MPa).

**KEYWORDS:** Zinc oxide, compaction, combustion reaction, piezoelectricity.

## 1 | INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os nanomateriais têm sido foco de inúmeras pesquisas, uma vez que eles possibilitam a descoberta de novas propriedades eletrônicas, ópticas, mecânicas, físicas e magnéticas. Eles são definidos como materiais policristalinos que possuem tamanho de grão na ordem de nanômetros ( $10^{-9}$ m) e são constituídos por cristalitos (ADDONIZIO, *et al.*, 2014).

Estes materiais podem ser sintetizados por meio de diversos métodos químicos que possibilitam o controle de parâmetros físico-químicos durante o procedimento experimental e garantem suas propriedades finais. Sendo amplamente utilizados nas áreas de microeletrônica, biologia, medicina, dentre outras. (TANSIL *et al.*, 2006).

Dentre estes semicondutores estudados, o óxido de zinco (ZnO) tem se destaca por apresentar propriedades específicas que possibilitam sua aplicação em diversos setores, tais como em componentes eletrônicos, diodos a laser, dispositivos fotovoltaicos, sensores químicos, materiais piezoelétricos, dentre outros (CHEN E LO, 2011).

Em diversas pesquisas é possível identificar algumas rotas de obtenção de nanopartículas de ZnO, tais como, sol-gel (ADDONIZIO, *et al.*, 2014), sono químico (ARRUDA, *et al.*, 2013), Pechini (BONIFÁCIO *et al.*, 2017), síntese hidrotérmica (WU, *et al.*, 2014), reação de combustão (VASEI, *et al.*, 2018) etc.

Entres essas diferentes rotas processuais, a síntese por reação de combustão vem se destacando, uma vez que se trata de um método simples, de fácil aplicação, custo relativamente baixo e que permite o controle da homogeneidade química, microestrutura e forma das partículas, além de possuir poucas etapas e um curto tempo de duração. Além disso, os materiais obtidos por este método se apresentam na forma de pós com partículas nanométricas, elevada área superficial e elevado grau de pureza (COSTA, *et al.*, 2009).

No entanto, as boas propriedades do ZnO não dependem exclusivamente do método de síntese utilizado, uma vez que as características dos precursores utilizados e as etapas subsequentes influem na microestrutura do material e conseqüentemente em suas propriedades finais (CHEN E LO, 2011).

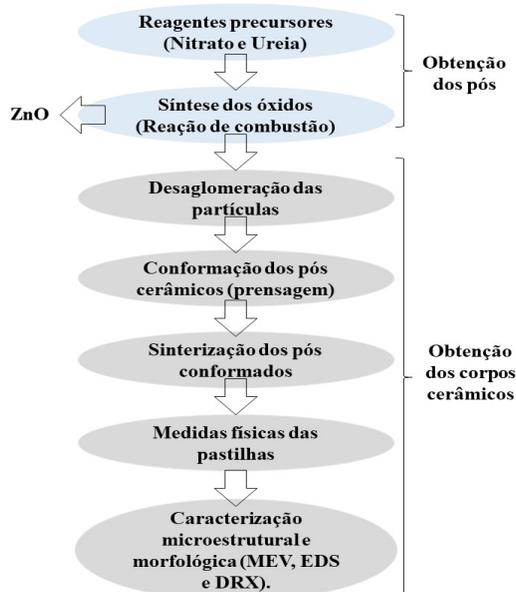
A consolidação do pó constitui uma importante etapa posterior a síntese, consistindo na transformação de pós em peças resistentes, utilizando pressão e calor. Parte dessa transformação consiste na compactação de uma massa para a produção do compactado verde, que poderá ser submetido ao processo de sinterização para a obtenção de uma estrutura mais coerente, se necessário (DANIEL, 2004).

A etapa de sinterização tem o objetivo de gerar a densificação do corpo cerâmico, isto é; a união entre as partículas de pó. Ela é realizada em fornos, cujas temperaturas geralmente são inferiores às temperaturas do ponto de fusão dos materiais presentes em maior percentual no compactado. Esta etapa interfere diretamente nas propriedades finais do material (COSTA, *et al.*, 2009).

Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo o estudo da síntese por reação de combustão do ZnO e a influência das etapas posteriores de compactação e sinterização do pó obtido para aplicação piezoelétrica, uma vez que se trata de uma área pouco explorada e que possibilita a aplicação dos estudos relacionados a engenharia de materiais como um todo, desde à síntese do material até o estudo de viabilidade de aplicação

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento experimental adotado no trabalho se deu conforme o fluxograma exposto na Figura 1.



**Figura 1** – Fluxograma das etapas necessárias para obtenção dos corpos cerâmicos.

## 2.1 Síntese do pó de óxido de zinco

Para a síntese dos pós de óxido de zinco (ZnO), foram utilizados os reagentes descritos na Tabela 1.

Precursor	Fórmula	Função reacional	Pureza (%)
Nitrato de Zinco Hexahidratado	Zn (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	Oxidante	98
Ureia	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	Combustível	98

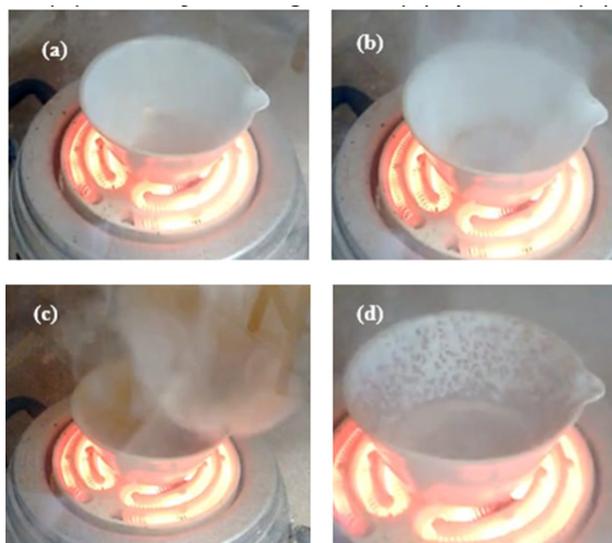
**Tabela 1:** Características dos reagentes utilizados na reação de combustão do ZnO

As composições, isto é, as proporções de combustíveis-oxidantes foram definidas de acordo com a estequiometria estabelecida com base na teoria dos propelentes e explosivos, de modo a formar uma solução redox (Jain et al., 1981).

Os reagentes foram pesados e misturados em uma cápsula de evaporação e submetidos ao aquecimento direto em resistência elétrica.

A Figura 2 ilustra os estágios da reação de combustão realizada para obtenção do ZnO. Na Figura 2(a) a mistura entra em ebulição e torna-se viscosa. Com a continuidade do aquecimento, a mistura aumenta então de volume, adquirindo aspecto espumosa (formação

de bolhas), Figura 2(b). Uma grande quantidade de gases começa a se desprender e é liberada até ocorrer a autoignição (combustão), Figura 2(c) e Figura 2(d). As reações de combustão realizadas duraram em torno de 10 minutos.



**Figura 2** – Estágios de reação de combustão: (a) solução de nitrato e combustível; (b) liberação de gases; (c) queima; (d) óxido produzido

## 2.2 Conformação e prensagem do pó cerâmico

Em um almofariz, foi realizada a desaglomeração do pó obtido. Logo em seguida, peneirado em peneira de 200 MESH, obtendo-se assim um pó nanométrico para a compactação das pastilhas.

Em um molde de aço inoxidável de cavidade circular com diâmetro de 10 mm, e conformou-se a pastilha em uma prensa hidráulica uniaxial, mantendo-se por 1 minuto a 130Mpa. O mesmo procedimento foi realizado para a pastilha compactada a 390MPa. Nesta etapa, fez-se uso do lubrificante ácido oleico na matriz para diminuir as tensões superficiais da peça e ajudar na sua extração.

A Figura 3 mostra a prensa e o molde utilizado neste trabalho.

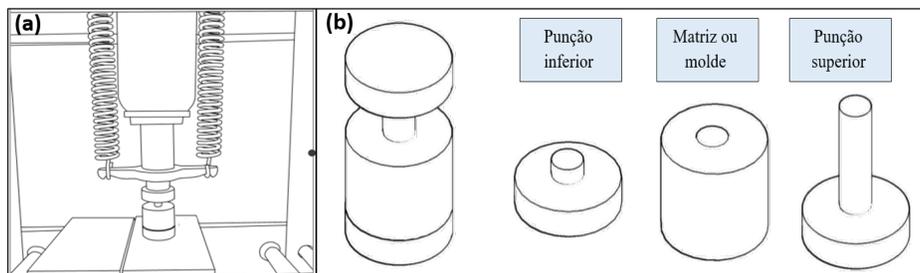


Figura 3 – Etapa de compactação: (a) prensa hidráulica uniaxial; (b) molde de aço.

### 2.3 Sinterização das pastilhas de óxido de zinco

Após a etapa de compactação dos pós, as pastilhas foram submetidas a um tratamento térmico de sinterização em um forno mufla, iniciando a sinterização com taxa de aquecimento de 10 °C/min até 200 °C, seguindo o aquecimento até 1000 °C com a mesma taxa de aquecimento e permanência das amostras no forno após atingir 1000 °C de 1 hora, com intuito de se obter um corpo sólido densificado.

### 2.4 Análise física: Absorção de água, porosidade aparente, densidade aparente

Após a sinterização, realizou-se análise físico-mecânica das pastilhas. A técnica utilizada nesta etapa se baseia no princípio de Arquimedes em meio líquido em uma balança analítica.

- **Absorção de água (AA, %massa):**

A absorção de água refere-se ao ganho percentual de massa de uma amostra, quando toda a porosidade aberta é preenchida com água (máximo de absorção), conforme a Equação 1:

$$AA (\%massa) = 100\% * \frac{(MU - MS)}{MS} \quad \text{Eq. (1)}$$

- **Porosidade aparente (PA, %volume)**

É a relação entre o volume de poros abertos e o volume total do corpo de prova, como mostra a Equação 2:

$$PA (\%volume) = 100\% * \frac{(MU - MS)}{(MU - MI)} \quad \text{Eq. (2)}$$

- **Densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>):**

A densidade aparente é calculada pela razão entre a massa seca do material poroso (MS) (massa de sólidos + massa de poros) e seu volume total (volume de sólidos + volume de poros). Considerando-se que a massa dos poros é desprezível, calcula-se a densidade aparente por meio da Equação 3:

$$DA \left( \frac{g}{cm^3} \right) = \frac{MS}{(MU - MI)} * \rho_{\text{Água}} \quad \text{Eq. (3)}$$

## 2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Difração de Raios X (DRX)

As pastilhas sinterizadas foram metalizadas, melhorando a condutibilidade e qualidade das amostras, e analisadas em um Microscópio Eletrônico de Varredura modelo Zeiss EVO MA10.

A técnica de Difração de Raios X (DRX) foi utilizada para identificar as fases cristalinas. Utilizou-se um difratômetro BRUKER (modelo D2 Phaser, radiação Cu-K $\alpha$ ), operando com tubo de alvo de cobre a uma tensão de 30,0 KV e 10,0 mA de corrente, com detector de 55D160. Para a determinação das fases existentes foi utilizado o software HighScore com os bancos de dados JCPDS e ICSD. O cálculo de tamanho de cristalito  $D_{hkl}$  para o plano cristalográfico (101) foi realizado usando a equação de Scherrer (ZANATTA, 2006).

$$D_{hkl} = \frac{k \lambda}{\beta \cos \theta} \quad \text{Eq. (4)}$$

Em que  $\lambda$  é o comprimento de onda da radiação eletromagnética (0,15404 nm),  $\beta$  é a largura da meia altura do pico de difração,  $k$  constante que depende da forma das partículas e  $\theta$  ângulo de difração.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Resultados da síntese de reação de combustão

A síntese realizada, apresentou um aumento crescente exponencial da temperatura que ocorre desde a dissolução dos nitratos e combustível (início da fervura) até a liberação dos gases, com o aumento da viscosidade (observada visualmente) decorridos 3 minutos após o início do aquecimento. Em seguida, observou-se a liberação intensa dos gases até atingir a ignição, procedendo com a combustão, obtendo-se um pó de coloração roseada e com aspecto de flocos porosos.

### 3.1.1 Microscopia eletrônica de varredura dos pós de óxido de zinco (ZnO) obtido por reação de combustão

Na Figura 4 estão as micrografias do óxido de zinco obtidos por reação de combustão.

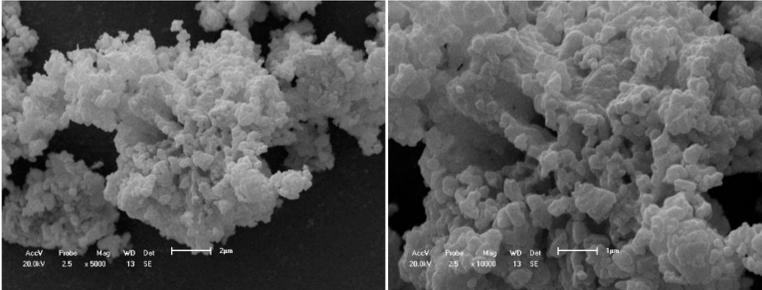


Figura 4 – Micrografias do óxido de zinco (ZnO) obtido por reação de combustão.

Observando a micrografia do pó de ZnO obtido por reação de combustão, possível notar a formação de aglomerados de geometria irregular devido ao tamanho das partículas, estes aglomerados apresentam uma formação densa com pouca porosidade aparente, isto foi encontrado na literatura. Esta morfologia está possivelmente associada à liberação de gases que ocorre durante a combustão.

### 3.1.2 Resultados da análise microestrutural: Difração de Raios X do pó de ZnO

Na Figura 5 está representado o difratograma de raios X da amostra do óxido de zinco (ZnO) após a obtenção por síntese por reação de combustão.

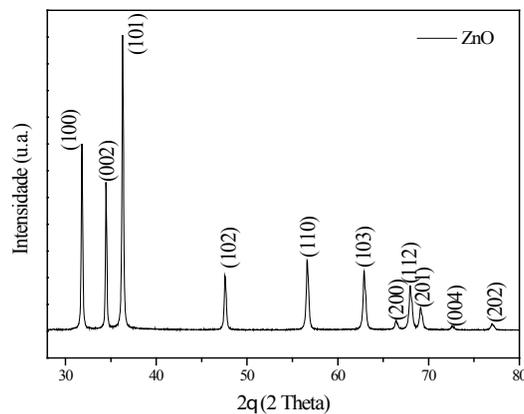


Figura 5 - Difratograma de raios X do óxido de zinco (ZnO) obtido por reação de combustão.

É possível afirmar a formação de nanopartículas com fase cristalina do tipo wurtzita, com picos de difração intensos em  $2\theta$  de  $31,55^\circ$ ,  $34,24^\circ$  e  $36,03^\circ$ , correspondendo respectivamente aos planos (100), (002) e (101), e picos em  $2\theta$  de  $47,27^\circ$ ,  $56,33^\circ$ ,  $62,70^\circ$ ,  $66,20^\circ$ ,  $67,69^\circ$  e  $68,88^\circ$ , correspondendo respectivamente aos planos (102), (110), (103), (200), (112) e (201), que representam célula unitária no sistema hexagonal compacto característica do ZnO. Esta afirmação bem como a catalogação dos picos com os índices de Müller foram feitos utilizando-se de comparação os dados cristalográficos JCPDS 01-075-1526 do software *HighScore*, referente ao ZnO puro. Utilizando-se da equação de Scherrer foi calculado o tamanho do cristalito que possui tamanho médio de 57 nm, valor esse que se encontra de acordo com a literatura (LIN, *et al*, 2007).

## 3.2 Resultados da compactação e sinterização das pastilhas

### 3.2.1 Resultados das medidas físico – mecânicas das pastilhas

Realizando-se o método de Arquimedes e dispondo-se das Equações 1, 2 e 3, foi possível determinar a absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente das pastilhas prensadas à 130Mpa (P1), e 390Mpa (P3), respectivamente. Tais resultados estão descritos na Tabela 2.

Identificação das Amostras	AA	PA (%)	DA (%)
P1	10,15	28,85	74,35
P3	5,2	12,2	88,2

Tabela 2: Resultados experimentais: média dos resultados de porosidade aparente (PA) e absorção de água (AA), Densidade Aparente (DA).

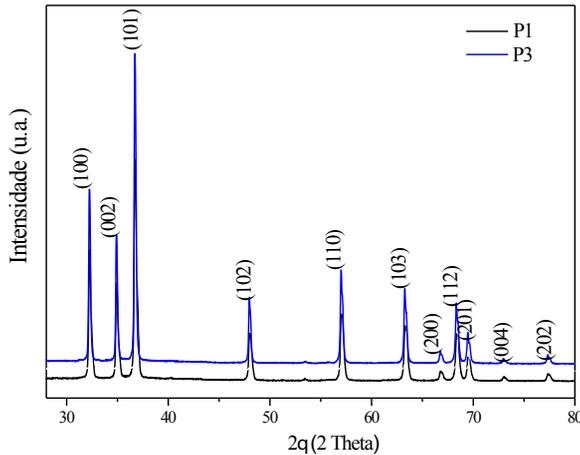
Com os resultados de densidade aparente, observou-se que a amostra sinterizada, P3, apresenta valor médio de densidade em torno de 89%, que foi bem superior ao valor médio de da P1, que ficou em torno de 74,5 %, nas mesmas condições de sinterização.

As medidas de porosidade aparente, por sua vez, que tem a finalidade de mostrar o valor percentual em poros abertos presentes (já que quanto menos poros, maior a resistência), confirmam este fenômeno de densificação, já que os resultados de porosidade aparente para a pastilha P3 apresenta média de 12,3% e para a amostra P1, os resultados foram bem elevados, média de 28,6%, todas sinterizadas à  $1000^\circ\text{C}$ .

Do mesmo modo, resultados do ensaio de absorção de água para as amostras com menor pressão de compactação são inferiores às amostras com maior pressão de compactação, o que já era esperado, já que quanto menor a porcentagem de porosidade, menor é a absorção de água.

### 3.2.2 Resultados da análise microestrutural: Difração de Raios X (DRX) das pastilhas

Na Figura 6 está representado o difratograma de raios X das pastilhas P1 e P3 de óxido de zinco (ZnO) obtidas após as etapas de prensagem e sinterização.



**Figura 6** – Difratograma de raios X das pastilhas P1 (130Mpa) e P3 (390 Mpa).

Após o processo de compactação e sinterização, observa-se pelos difratogramas de raios X das amostras compactadas nas pressões 130 e 390 Mpa e sinterizadas a 1000 °C, a preservação de suas características microestruturais, com elevada cristalinidade e a presença dos picos característicos do óxido de zinco, do tipo wurtzita, correspondendo aos planos (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112) e (201), utilizando-se a comparação os dados cristalográficos JCPDS 01-075-1526 do software *HighScore*, referente ao ZnO.

Utilizando-se da equação de Scherrer (Klung, 1962) foi calculado o tamanho médio do cristalito para as amostras P1 e P3, os valores referentes aos picos de maior intensidade foram 39 e 40 nm, valores reportados na literatura. (Costa, et al, 2006). Não foram detectados picos de fase secundária, o que indica que estes cristais possuem elevada cristalinidade.

### 3.2.3 Resultados da análise morfológica: Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) das pastilhas

A Figura 7 apresenta as micrografias das pastilhas compactadas à uma pressão de compactação de 130Mpa. Aumento de 5000x (Figura 7 -a), aumento de 8000x (Figura 7 – b).

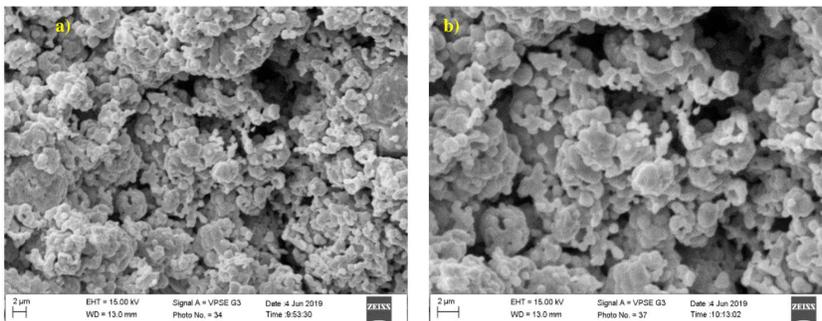


Figura 7 - Imagens de microscopia eletrônica da amostra de ZnO P1 (compactada com 130Mpa de pressão). (a) aumento 5000x e (b) aumento 8000x.

A Figura 8 apresenta as micrografias das pastilhas compactadas à uma pressão de compactação de 390Mpa. Aumento de 5000x (Figura 8 -a), aumento de 8000x (Figura 8 – b).

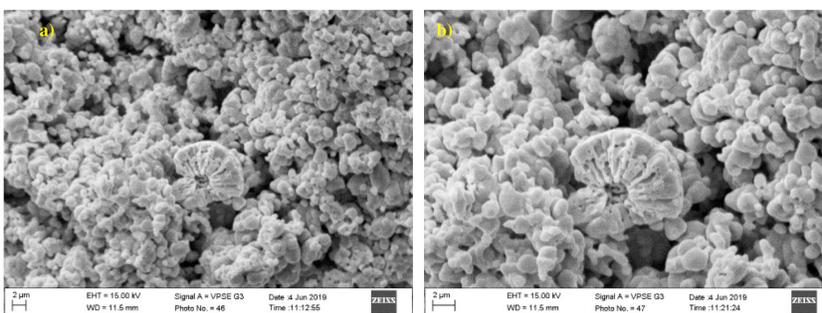


Figura 8 - Imagens de microscopia eletrônica da amostra de ZnO P3 (compactada com 390 Mpa de pressão). (a) aumento 5000x, (b) aumento 8000x.

As amostras apresentaram morfologia com tamanho de partícula nanométrica, com a presença de aglomerados pequenos com formato esférico e na forma de flocos porosos constituídos de partículas pequenas e com presença de porosidade interpartícula. Na partilha P3 é possível notar a presença de uma morfologia distinta, denominada *Cluster* de ZnO, também conhecida como Flor, corroborando com a literatura.

Porém as amostras de ZnO em todas as pressões de compactação avaliadas revelou porosidade entre as partículas, o que indica que a sinterização convencional pode ser alterada de modo a obter compactados mais densos, característica indicada para aplicações piezoelétricas.

Os resultados de densificação para as pastilhas prensadas com maior pressão de compactação visualizados nas medidas físicas são bem satisfatórios levando em

consideração que foi realizado apenas prensagem uniaxial e sinterização convencional, processo relativamente simples e barato.

## 4 | CONCLUSÃO

O método de síntese de reação de combustão se mostrou eficiente na obtenção de amostras de ZnO. A análise por difração de raios X identificou a fase cristalina hexagonal ZnO com estrutura de wurtzita, sendo que nenhuma outra fase cristalina foi identificada. Utilizando-se da equação de Scherrer foi calculado o tamanho do cristalito que possui tamanho médio de 57nm. As micrografias obtidas por MEV revelaram que o pó de óxido de zinco é formado basicamente por partículas primárias irregulares.

Além disso, observou-se que a prensagem uniaxial foi eficaz para a produção de peças cerâmicas a base de óxido de zinco com geometria irregular. E o processo de sinterização proporcionou cerâmicas com maior densidade média, de 88,2 % e menor porosidade média, de 12,2 % nas amostras com pressão de compactação mais elevada, de 390 Mpa.

Dessa forma, é possível concluir que se trata de uma pesquisa promissora, uma vez que apresenta resultados positivos em termos de processamento, com a obtenção de uma nanoestrutura de elevada cristalinidade, alta pureza e boas propriedades físicas.

## REFERÊNCIAS

Addonizio, Maria Luisa; Aronne, Antonio ; Daliento, Santolo ; Tari, Orlando ; Fanelli, Esther ; Pernice, Pasquale. **Applied Surface Science**, 30 June 2014, Vol.305, pp.194-202

Arruda, Larisa; Leite, Douglas; Orlandi, Marcelo; Ortiz, Wilson ; Lisboa-Filho, Paulo. **Sonochemical Synthesis and Magnetism in Co-doped ZnO Nanoparticles**. Journal of Superconductivity and Novel Magnetism, 2013, Vol.26(7), pp.2515-2519

Bonifácio, Maria Aparecida Ribeiro; Lira, Hélio de Lucena; Neiva, Laédna Souto; Kiminami, Ruth H. G. A.; Gama, Lucianna. **Nanoparticles of ZnO Doped With Mn: Structural and Morphological Characteristics**. *Materials Research*, 01 June 2017, Vol.20(4), pp.1044-1049.

Costa, A. C. F. M.; Vieira, D. A.; Lula, R. P. T.; Kiminami, R. H. G. A.; Gama, L. **Influência da uréia e glicina na síntese por reação de combustão do suporte catalítico ZnAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>**. In: 17° CBECIMAT - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, Foz do Iguaçu, PR, 2006.

Chen, y.-c.; Lo, s.-l. **Effects of operational conditions of microwave-assisted synthesis on morphology and photocatalytic capability of zinc oxide**. *Chemical engineering journal*, v. 170, p. 411-418, 2011.

Daniel, M-C. Gold. **Nanoparticles: Assembly, Supramolecular Chemistry, Quantum-Size-Related Properties, and Applications toward Biology, Catalysis, and Nanotechnology**. *Chemical Reviews*, v. 104, p. 293-346, 2004.

Jain, S.R; Adiga K. C; Verneker, V. R. P. **A New Approach to Thermochemical Calculations of Condensed Fuel-Oxidizer Mixtures.** Combustion and Flame, v. 40, p. 71-79, 1981

Klung, H.; Alexander, L. **In X-ray diffraction procedures**, Wiley, New York, EUA, (1962) p. 495.

Tansil, N. C.; Gao, Z. **Nanoparticles in biomolecular detection.** Nano Today, (s.l.) v. 1, p. 28-37, 2006.

Vasei, H. Vahdat; Masoudpanah, S. M.; Adeli, M; Aboutalebi, M.R. **Solution combustion synthesis of ZnO powders using CTAB as fuel.** Ceramics International, May 2018, Vol.44(7), pp.7741-7745.

Zanatta, S. C. **Síntese das granadas GdIG e YIG por moagem de alta energia. 2006. 206 f. Tese (Doutorado em Física)** – Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2006.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Algoritmo 1, 14, 15, 21, 24, 25, 27, 28, 29, 32, 35, 38, 39, 45, 46, 70, 74, 76, 77

### B

Bacia Hidrográfica 52, 152, 153, 154, 156, 158, 159

Brasil 14, 34, 47, 49, 57, 58, 72, 81, 86, 97, 142, 150, 160, 161, 162, 171

### C

CESC 140, 141

CESCD 140, 141

Cimento 94, 95, 96, 97, 98, 103, 106, 108

Combustão 83, 84, 85, 86, 87, 88, 91, 92, 93, 109, 110, 111, 112, 113, 115, 116, 120

Compactação 96, 109, 110, 111, 113, 114, 117, 118, 119, 120

Concept 1, 3, 8, 48

### D

Desenvolvimento 15, 16, 17, 47, 48, 50, 53, 71, 80, 84, 95, 97, 109, 142, 143, 150, 152, 156, 159

Dimensionamento 47, 48, 50, 51, 53, 57

Dispositivo 70, 71, 77, 81, 92, 143, 146

### E

Estímulo Sensorial 70, 71, 82

### F

Ferramentas 31, 59, 67, 147

Ferrovia 14, 18, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 29

Filmes 134, 135, 136, 137, 138, 139

Fotovoltaico 47, 48, 50, 51, 53, 57

### G

Geração 21, 32, 39, 42, 43, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 95, 149, 150

### L

Linhas de Transmissão 31, 32, 42, 44, 45, 48

### M

Manganês 83, 84, 86, 87, 88, 89, 90, 91

Materiais 59, 72, 73, 79, 83, 85, 86, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 97, 98, 103, 106, 109, 110, 111,

120, 123, 124, 127, 130, 133, 135, 141, 143, 147, 149, 162, 173

Metais Pesados 94, 95, 96, 99, 100, 103, 106, 107, 108, 141, 142

Modeling 1, 3, 6, 8, 11, 29, 30

Municípios 152, 154, 156, 158

## **N**

Nanoferrita 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91

## **O**

Óxido de Zinco 109, 110, 111, 112, 114, 116, 118, 120

## **P**

Piezoelétricos 111, 150

Polipropileno 122, 123, 124, 128, 129, 130, 132, 133

Pontos de Cruzamento 14, 15, 16

Process 6, 10, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 68, 71, 84, 108, 110

Projeto 1, 50, 51, 53, 54, 57, 70, 73, 78, 80, 81, 97, 140, 141, 142, 147, 148, 149, 151, 157, 158

Propilenoglicol 134, 135, 138

Propriedades 83, 84, 85, 91, 96, 109, 110, 111, 120, 122, 123, 124, 127, 129, 130, 131, 132, 133, 135, 150, 158

Protótipo 70, 71, 76, 78, 79, 81, 150

## **R**

Redes Neurais 31

REEE 140, 141, 142, 143, 150, 151

Regressão 98, 160, 161, 162, 163, 168, 170, 172

Resíduos Sólidos 94, 95, 97, 106, 142, 158

## **S**

Simulação 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 33, 34, 42, 43, 81

Sinterização 92, 109, 110, 111, 114, 117, 118, 119, 120

Socioambiental 152

Solidificação 94, 95, 97, 99, 103, 106, 108

Sorbitol 131, 133, 134, 135, 138

## **T**

Tecnologia Assistiva 70, 71, 72, 81

Tratamento 46, 70, 74, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 85, 92, 94, 95, 97, 109, 114, 163

Turbines 1, 2, 3, 6, 7, 8, 10, 11, 12

## **V**

Violência 160, 161, 162, 171, 172

## **W**

Wind 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13

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

# **AMPLIAÇÃO E APROFUNDAMENTO DE CONHECIMENTOS NAS ÁREAS DAS ENGENHARIAS 3**

  
**Ano 2020**

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

# **AMPLIAÇÃO E APROFUNDAMENTO DE CONHECIMENTOS NAS ÁREAS DAS ENGENHARIAS 3**

  
**Ano 2020**