

# Resultados das Pesquisas e Inovações na Área das Engenharias 2



Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)

# Resultados das Pesquisas e Inovações na Área das Engenharias 2



Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)

### **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-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.

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  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª 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  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª 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  
Profª Drª 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  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª 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  
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª 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  
Profª Drª 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  
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  
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. 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. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. 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. 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 Alborno – 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:** Camila Alves de Cremona  
**Correção:** Vanessa Mottin de Oliveira Batista  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadores:** Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

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

R436 Resultados das pesquisas e inovações na área das engenharias 2 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-456-6

DOI 10.22533/at.ed.566200510

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovações tecnológicas. 3. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Dallamuta, João.

CDD 624

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](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais e os conceitos ambientais, vem cada vez mais ganhando espaço nos estudos das grandes empresas e de pesquisadores. Esse aumento no interesse se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral. Assim em um cenário cada vez mais competitivo, desenvolver novas maneiras de melhoria nos processos industriais, bem como para o próprio dia a dia da população é uma das buscas constantes das áreas de engenharia.

Nesse livro conceitos voltados a engenharia do meio ambiente, apresentando processos de recuperação e aproveitamento de resíduos e uma melhor aplicação dos recursos disponíveis no ambiente, além do panorama sobre novos métodos de obtenção limpa da energia.

Ainda traz assuntos voltados ao desenvolvimento de materiais, buscando melhorias no processo e no produto final, sendo uma busca constante a redução e reutilização dos resíduos.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Aos autores, agradecemos pela con iança e espírito de parceria.

Boa leitura!

Henrique Ajuz Holzmann

João Dallamuta

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### RESÍDUOS SÓLIDOS NO IFSP – CAMPUS SÃO CARLOS

Adriana Antunes Lopes

José Henrique de Andrade

**DOI 10.22533/at.ed.5662005101**

### **CAPÍTULO 2..... 8**

#### OPORTUNIDADES DA VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA COLHEITA, PROCESSAMENTO E TORREFAÇÃO DO GRÃO DE CAFÉ NO BRASIL

Mauro Donizeti Berni

Paulo Cesar Manduca

**DOI 10.22533/at.ed.5662005102**

### **CAPÍTULO 3..... 22**

#### ANÁLISE DA VIABILIDADE DO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS ADVINDOS DA MINERAÇÃO DE COBRE E OURO PARA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE TERRA COMPACTADA

Jéssica Azevedo Coelho

Aline Rodrigues da Silva Lira

Aryágilla Phaôla Ferreira da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.5662005103**

### **CAPÍTULO 4..... 34**

#### CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA DOS RESÍDUOS GERADOS EM UM SHOPPING CENTER EM BALNEÁRIO CAMBORIÚ (SC)

Bruna Emanuele Napoli Simioni

Rafaela Picoletto

**DOI 10.22533/at.ed.5662005104**

### **CAPÍTULO 5..... 42**

#### DIMENSIONAMENTO DE BIODIGESTOR ANAERÓBIO PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS ALIMENTÍCIOS

Tatiane Akemi Ramalho Yamashita

Isabel Cristina de Barros Trannin

Teófilo Miguel de Souza

**DOI 10.22533/at.ed.5662005105**

### **CAPÍTULO 6..... 56**

#### ESTUDO DO CONFORTO ACÚSTICO EM AMBIENTE ESCOLAR

Otávio Akira Sakai

Grasielle Cristina dos Santos Lembi Gorla

Rodrigo de Oliveira

Gustavo Silva Veloso de Menezes

Joyce Ronquim Wedekind

**DOI 10.22533/at.ed.5662005106**

<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>66</b>
<b>ANÁLISE TÉRMICA E ACÚSTICA DE PLACAS DE VEDAÇÃO EM COMPÓSITO CIMENTO-MADEIRA</b>	
Bruna de Oliveira Criado	
Fernando Sérgio Okimoto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5662005107</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>80</b>
<b>COMPARATIVE ANALYSIS OF A TRANSIENT HEAT FLOW AND THERMAL STRESSES BY ANALYTICAL AND NUMERICAL METHODS</b>	
Gisele Vilela Almeida	
Nailde de Amorim Coelho	
Nasser Samir Alkmim	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5662005108</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>93</b>
<b>PRODUÇÃO DE NANOFIBRAS POLIMÉRICAS ELETROFIADAS PARA MATERIAIS INTELIGENTES</b>	
Giovana Miti Aibara Paschoal	
Bruno Henrique de Santana Gois	
André Antunes da Silva	
Pedro Leonardo Silva	
Wilson Silva do Nascimento	
Jessyka Carolina Bittencourt	
Beatriz Marques Carvalho	
Roger Clive Hiorns	
Clarissa de Almeida Olivati	
Deuber Lincon da Silva Agostini	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5662005109</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>102</b>
<b>PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE TRANSISTORES DE FILME FINO DE ÓXIDOS METÁLICOS PROCESSADOS POR SOLUÇÃO</b>	
João Mendes	
João Paulo Braga	
Giovani Gozzi	
Lucas Fugikawa-Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.56620051010</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>120</b>
<b>SISTEMA DE MEDIÇÃO PARA CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS ATÉ 9 MN</b>	
Frank Omena de Moura	
Carlos Alberto Fabricio Junior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.56620051011</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>124</b>
<b>ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE JUNTAS SOLDADAS</b>	

## APLICANDO A TÉCNICA DE CORRELAÇÃO DIGITAL DE IMAGENS

Ycaro Jorge Maia da Costa  
José Máspoli Ferreira Pereira  
Rodrigo Nogueira de Codes

**DOI 10.22533/at.ed.56620051012**

## **CAPÍTULO 13..... 137**

### CARACTERIZAÇÃO METALOGRÁFICA DE AÇOS MULTIFÁSICOS

Rafael Morel Martins  
Bárbara Silva Sales Guimarães

**DOI 10.22533/at.ed.56620051013**

## **CAPÍTULO 14..... 148**

### APLICAÇÃO DA SINERGIA ENTRE CORANTE SINTÉTICO N719 E NATURAIS DO GÊNERO *OENOCARPUS* EM CÉLULAS SOLARES SENSIBILIZADAS POR CORANTES

Rafael Becker Maciel  
Everson do Prado Banczek  
Guilherme José Turcatel Alves  
Paulo Rogério Pinto Rodrigues

**DOI 10.22533/at.ed.56620051014**

## **CAPÍTULO 15..... 154**

### PRODUÇÃO DE LIPASES FÚNGICAS DE *Penicillium sumatrense* POR FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO UTILIZANDO SEMENTE DE BARU (*Dipteryx alata*)

Tayrine Mainko Hoblos Pozzobon  
Aline Danielly Awadallak  
Pedro Oswaldo Morell  
Gustavo de Castilho Baldus  
Leonardo Pedranjo Silva  
Ruana Barbosa Benitez  
Edson Antônio da Silva  
Marcia Regina Fagundes-Klen  
Francisco de Assis Marques  
Maria Luiza Fernandes Rodrigues

**DOI 10.22533/at.ed.56620051015**

## **CAPÍTULO 16..... 166**

### PRODUÇÃO DE MANGANÊS PEROXIDASE A PARTIR DO *CERIPORIOPSIS SUBVERMISPORA*

Gabriela Mundim Maciel  
Sandra de Cássia Dias

**DOI 10.22533/at.ed.56620051016**

## **CAPÍTULO 17..... 177**

### EXTRATO DE CASCAS DO *Allium sativum* L. COMO ANTIOXIDANTE PARA

## **BIODIESEL DE CANOLA**

Débora Yumi Pelegrini  
Nayara Lais Boschen  
Cynthia Beatriz Furstenberger  
Everson do Prado Banczek  
Marilei de Fatima Oliveira  
Paulo Rogério Pinto Rodrigues

**DOI 10.22533/at.ed.56620051017**

## **CAPÍTULO 18..... 188**

### **USO DA TERRA DE MUCUGÊ E IBICOARA-BA MEDIANTE AVANÇO DA AGRICULTURA COM SENSORIAMENTO REMOTO**

Luana Nascimento da Silva  
Vanessa Santos da Palma  
Luana da Silva Guedes  
Everton Luiz Polkeing

**DOI 10.22533/at.ed.56620051018**

## **CAPÍTULO 19..... 193**

### **DESAFIOS NA IMPLANTAÇÃO DAS BOAS PRÁTICAS DE FABRICAÇÃO (BPFs) EM AGROINDÚSTRIAS FAMILIARES**

Rosângela Oliveira Soares  
Fátima Regina Zan  
Manuel Luís Tibério  
Artur Fernando Arede Correia Cristovão  
Paulino Varela Tavares  
Dieter Rugard Siedenberg

**DOI 10.22533/at.ed.56620051019**

## **CAPÍTULO 20..... 205**

### **O RECORTE DA TRAJETÓRIA TECNOLÓGICA AGRIBIOTECNOLÓGICA NO BRASIL E NO MUNDO NOS ÚLTIMOS 30 ANOS**

Djeimella Ferreira de Souza  
Anna Flavia Moreira Martins de Almeida Pereira  
Rubén Dario Sinisterra Millán

**DOI 10.22533/at.ed.56620051020**

## **CAPÍTULO 21..... 218**

### **AJUSTE DE EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS A PARTIR DO DIÂMETRO DO TOCO E DAP PARA A ESPÉCIE DE CEDRO AMAZONENSE (*Cedrelinga catenaeformis*)**

Carla Alessandra dos Santos  
Murielli Garcia Caetano  
Pedro Paulo Gomes de Oliveira  
Vinícius Augusto Morais  
Jociane Rosseto de Oliveira Silva  
Ivan Cleiton de Oliveira Silva

**DOI 10.22533/at.ed.56620051021**

<b>CAPÍTULO 22.....</b>	<b>225</b>
<b>ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO PROCESSO CONSTRUTIVO EM ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCO CERÂMICO</b>	
Anderson Pereira Cardoso	
Mágna Lima da Cruz	
Weverton Gabriel do Nascimento Mendonça	
Ana Paula de Santana Bomfim	
<b>DOI 10.22533/at.ed.56620051022</b>	
<b>CAPÍTULO 23.....</b>	<b>234</b>
<b>ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA: EMPRESA BAJA ESPINHAÇO</b>	
Rafaela Ribeiro Reis	
Juliani Ramos Belício	
Marcelino Serretti Leonel	
Antonio Genilton Sant´Anna	
<b>DOI 10.22533/at.ed.56620051023</b>	
<b>CAPÍTULO 24.....</b>	<b>248</b>
<b>GUIDEAPP: FERRAMENTA DE AUXÍLIO À MOBILIDADE DE DEFICIENTES VISUAIS</b>	
Brenno Duarte de Lima	
Hugo Silva Nascimento	
Jacó Alves Graça	
Jonathan Costa Matos	
Natan Silva Ferreira	
Joab Bezerra de Almeida	
<b>DOI 10.22533/at.ed.56620051024</b>	
<b>CAPÍTULO 25.....</b>	<b>257</b>
<b>O TRANSPORTE COLETIVO E A OPÇÃO SOB DEMANDA: O ESTUDO DE CASO DE GOIÂNIA</b>	
Mauro Cesar Loyola Branco	
Giovani Manso Ávila	
<b>DOI 10.22533/at.ed.56620051025</b>	
<b>CAPÍTULO 26.....</b>	<b>269</b>
<b>UMA INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE DISPOSITIVOS DA ENGENHARIA DE TRÁFEGO NO SISTEMA VIÁRIO: INTERVENÇÃO NA RUA PADRE AGOSTINHO</b>	
Marcia de Andrade Pereira Bernardinis	
Luziane Machado Pavelski	
Bruna Marcelli Claudino Buher Kureke	
Alana Tamara Gonçalves Molinari	
<b>DOI 10.22533/at.ed.56620051026</b>	
<b>CAPÍTULO 27.....</b>	<b>276</b>
<b>A PARTICIPAÇÃO DA MULHER NOS CURSOS DE ENGENHARIA DA UFERSA:</b>	

**UM ESTUDO DE CASO NO CAMPUS MOSSORÓ**

Camila Gabrielly Fernandes de Souza

Maria Aridenise Macena Fontenelle

**DOI 10.22533/at.ed.56620051027**

**CAPÍTULO 28..... 292**

**INVESTIGATION OF THE MILLING EFFICIENCY OF THE X22CrMoV12-1 STEEL  
WITH VC AFTER 80 AND 100 HOURS**

Roberta Alves Gomes Matos

Bruna Horta Bastos Kuffner

Gilbert Silva

**DOI 10.22533/at.ed.56620051028**

**SOBRE OS ORGANIZADORES ..... 298**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 299**

## PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE TRANSISTORES DE FILME FINO DE ÓXIDOS METÁLICOS PROCESSADOS POR SOLUÇÃO

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 07/07/2020

### João Mendes

Universidade Estadual Paulista (UNESP)  
Rio Claro - São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/6372793630764553>

### João Paulo Braga

Universidade Estadual Paulista (UNESP)  
São José do Rio Preto - São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/4334972655859185>

### Giovani Gozzi

Universidade Estadual Paulista (UNESP)  
Rio Claro - São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/9558766197624072>

### Lucas Fugikawa-Santos

Universidade Estadual Paulista (UNESP)  
Rio Claro - São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/0101178832675166>

**RESUMO:** Atualmente busca-se a produção de componentes eletrônicos por técnicas de deposição/impressão dos materiais ativos na forma líquida (soluções ou suspensões), visando a redução dos custos de produção, a produção em larga escala e aplicações emergentes, como internet das coisas (IoT), embalagens inteligentes etc. Na presente pesquisa, apresentamos os princípios básicos de operação, os métodos de produção e os resultados da caracterização elétrica de transistores de filme fino (TFTs) com os materiais ativos depositados por técnicas

de deposição na forma líquida (*spin-coating* e pirólise por *spray*). Estudamos a influência da composição de soluções precursoras de nitrato de alumínio nonoidratado e da temperatura de conversão térmica deste precursor em óxido de alumínio nas propriedades de capacitores produzidos com óxido de alumínio depositado por *spin-coating*. Obtivemos capacitores com baixos valores de corrente de fuga ( $< 1$  nA) e capacitâncias por unidade de área entre  $2 \cdot 10^{-3}$  e  $3 \cdot 10^{-3}$  F/m<sup>2</sup> utilizando soluções precursoras aquosas compostas por 0,5 M de nitrato de alumínio nonoidratado e 1,25 M de ureia, que sofreram um processo de combustão a 350 °C, resultando em filmes finos ( $< 100$  nm) óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Os filmes de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> obtidos por combustão foram utilizados como camada dielétrica de TFTs produzidos utilizando a camada ativa composta por óxido de zinco (ZnO) produzido por pirólise via nebulização (*spray*) de um precursor orgânico (acetato de zinco). Os TFTs produzido apresentaram um desvio padrão inferior a 11 % em seus principais parâmetros de desempenho elétrico, como mobilidade de portadores na ordem de 30 cm<sup>2</sup>/V.s, tensão de limiar (*threshold*) em torno de 1,0 V e taxa de variação sub-limiar (*subthreshold swing*, SS) de 0,72 V/década.

**PALAVRAS-CHAVE:** Transistores de filme fino, caracterização elétrica, óxidos metálicos, semicondutores, processamento por solução.

## PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF SOLUTION-PROCESSED METAL OXIDE THIN-FILM TRANSISTORS

**ABSTRACT:** The production of electronic components by the deposition/printing of active materials from solutions or liquid suspensions aims the reduction of production costs, the large-scale production and the application in emerging technologies, such as Internet of Things (IoT), smart packaging, etc. The current research presents the basic principles of operation, the production methods and the results from the electrical characterization of thin film transistors (TFTs) with the active materials deposited by solution-based techniques such as spin-coating and spray pyrolysis. We studied the influence of the composition of nono-hydrated aluminum nitrate precursor solutions and of the precursor conversion temperature on the properties of capacitors produced by spin-coating. We obtained capacitors with low leakage current values ( $<1$  nA) and capacitances per unit area between  $2.10^{-3}$  and  $3.10^{-3}$  F/m<sup>2</sup>, using aqueous precursor solutions composed of 0.5 M of non-hydrated aluminum nitrate and 1.25 M urea, which, after a combustion process at 350°C, resulted in aluminum oxide (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) thin films ( $<100$  nm). The Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> films obtained by combustion were used as the dielectric layer of TFTs with the active layer comprised by spray-pyrolysis zinc oxide (ZnO) films from an organic precursor (zinc acetate). The TFTs presented a standard deviation of less than 11% in their main electrical performance parameters, such as the mobility of carriers (in the order of 30 cm<sup>2</sup>/V.s), threshold voltage around 1.0 V and subthreshold swing (SS) of 0.72 V/decade.

**KEYWORDS:** Thin film transistors, electrical characterization, metal oxides, semiconductors, solution processing.

### 1 | INTRODUÇÃO

Óxidos metálicos são materiais com diversas possibilidades de aplicação na indústria, por exemplo, revestimento anticorrosivo (LUTHRA, 1991), como agente catalítico (TROTOCHAUD *et al.*, 2012), como material ativo de sensores químicos e ou biológicos (JUNG *et al.*, 2014), (CHEN *et al.*, 2017) frequently fatal human disease for which there is no specific antiviral treatment. Therefore, rapid, accurate, and early diagnosis of Ebola virus disease (EVD e em dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos (BRAGA *et al.*, 2019), (HUANG *et al.*, 2009). Em eletrônica, a aplicabilidade destes materiais é motivada pela possibilidade de se obter camadas dielétricas (isolantes) (BRANQUINHO *et al.*, 2014), semicondutoras (FORTUNATO; BARQUINHA; MARTINS, 2012) ou condutoras de corrente elétrica (WANG *et al.*, 2019). Além disso, óxidos metálicos podem apresentar transparência óptica na região do visível, possibilitando a produção de componentes eletrônicos transparentes (YANG *et al.*, 2013), impressão via jato de tinta (*ink-jet*) (SYKORA; WANG; VON SEGGERN, 2016), centrifugação (*spin-coating*) (MOREIRA *et al.*, 2019), e pirólise assistida por nebulização (*spray-pyrolysis*) (LIMA *et al.*, 2020).

O processamento por solução apresenta vantagens pelo fato de empregar

equipamentos de menor custo, por permitir a produção em larga escala e a utilização de baixas temperaturas de processamento. Além disso, essa categoria de processos possibilita a produção de dispositivos sobre superfícies flexíveis, com potencial aplicabilidade em áreas emergentes, como internet das coisas (IoT, *internet of things*) e dispositivos “vestíveis” (*wearable devices*). Visando a produção de novos dispositivos eletrônicos produzidos com óxidos metálicos processados por solução com alto desempenho, muitos estudos recentes vêm sendo realizados no sentido de se obter novos materiais precursores, assim como métodos inovadores de processamento (BRANQUINHO *et al.*, 2014).

O foco do estudo atual é a produção e caracterização elétrica de dispositivos eletrônicos (em especial, transistores de filme fino) tendo como camadas dielétrica e semicondutora óxidos metálicos produzidos por solução. Como a camada dielétrica de um TFT precisa ser feita a partir de um material altamente isolante, utilizamos óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) produzido por combustão e depositado por *spin-coating*. Por outro lado, as camadas semicondutoras dos transistores foram produzidas por spray-pirólise a partir de soluções de um precursor orgânico, dando origem a filmes finos (< 50 nm) de óxido de zinco (ZnO).

O presente capítulo está dividido em 4 seções: na primeira, apresentamos os conceitos básicos de funcionamento de transistores de filme fino, na segunda, apresentamos os materiais e métodos experimentais utilizados, na terceira, os resultados da caracterização elétrica dos dispositivos e na última, as conclusões do trabalho.

## 1.1 Transistores de filme fino

Transistores de filmes finos (TFTs) são dispositivos eletrônicos amplamente utilizados na indústria eletrônica, que servem para modular, através do campo elétrico, a corrente elétrica em um determinado circuito eletrônico. Eles permitem, entre outras funcionalidades, que sinais analógicos possam ser convertidos para digitais. São, portanto, dispositivos eletrônicos que compõem os pilares da indústria eletrônica e de informática, estando presentes aos milhões em aparelhos como telefones celulares, computadores, memórias, displays etc. Limitações inerentes aos materiais semicondutores tradicionalmente utilizados na indústria eletrônica, no entanto, tornam necessária a busca por novos materiais que apresentem melhor desempenho ou melhores condições de processamento. Nesse aspecto, semicondutores como o óxido de zinco e compostos afins e isolantes como o óxido de alumínio apresentam grandes vantagens quando comparados com compostos à base de silício (semicondutor) e óxido de silício (isolante).

De uma forma geral, um TFT é composto por três contatos elétricos (porta, fonte e dreno), uma camada isolante e uma camada semicondutora. A figura 1-a

ilustra esquematicamente um TFT em uma estrutura *porta-inferior/contatos-superiores* (*bottom-gate/top-contact*), que foi utilizada em todos os transistores produzidos no presente trabalho.

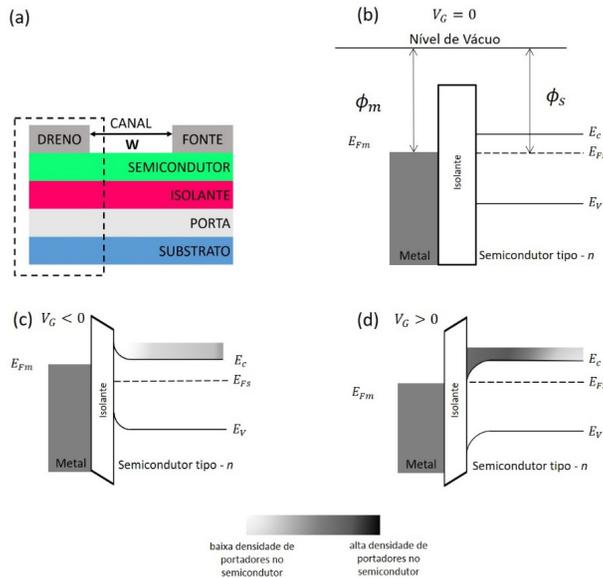


Figura 1: a) Diagrama esquemático de um TFT em uma estrutura *porta-inferior/contatos-superiores* (*bottom-gate/top-contact*), utilizada em todos os transistores produzidos em nosso trabalho. A área destacada pela linha pontilhada é o equivalente a um capacitor MIS (metal-isolante-semicondutor), cuja estrutura de bandas em função da tensão aplicada no eletrodo de porta ( $V_G$ ) é representada nas demais figuras; (b) condição de bandas planas (*flat band*), onde  $V_G = 0$ ; (c) condição de depleção,  $V_G < 0$ ; (d) condição de acumulação  $V_G > 0$ . Os diagramas de energia levam em conta um semicondutor tipo  $n$ .

Os dois eletrodos de dreno (*drain*) e de fonte (*source*) são depositados sobre a camada semicondutora, formando contatos ôhmicos. O eletrodo de porta (*gate*), por outro lado, está isolado do semicondutor pela camada dielétrica (isolante). A corrente elétrica entre o dreno e a fonte ( $I_{DS}$ ), no entanto, é controlada pela tensão aplicada na porta ( $V_G$ ). Como a camada dielétrica deve ser altamente isolante, em um TFT com bom desempenho, a corrente no eletrodo de porta ( $I_G$ ) deve ser muito baixa (nula, no caso ideal) comparada com  $I_{DS}$ . Dessa forma, um TFT também faz parte de uma classe mais geral formada pelos *transistores de efeito de campo*. A região do semicondutor entre os eletrodos de fonte e dreno é comumente chamada de canal, apresentando geometria caracterizada pela espessura da camada semicondutora ( $d_s$ ), a largura do canal,  $W$ , (distância entre os eletrodos de fonte e

dreno) e o comprimento dos eletrodos de fonte e dreno ( $L$ ).

A dinâmica de operação de um TFT depende do caráter do semicondutor utilizado, se os portadores majoritários de cargas são lacunas (tipo  $p$ ) ou elétrons (tipo  $n$ ). No nosso caso, utilizamos o óxido de zinco como semicondutor, que é um semicondutor de energia de *gap* larga ( $\sim 3.34$  eV), mas que, por causa de defeitos estruturais que ocorrem naturalmente durante a sua formação, possui caráter similar ao de um semicondutor tipo  $n$  (BRAGA *et al.*, 2019). A seção destacada pela linha tracejada da Fig. 1-a mostra a seção transversal de uma camada metal(porta)/isolante/semicondutor/metal(dreno). Como o contato do semicondutor com o dreno é considerado ôhmico, consideramos somente os diagramas de bandas da estrutura metal/isolante/semicondutor (MIS). Essa estrutura se comporta de forma equivalente a um capacitor cuja capacitância pode variar de acordo com a frequência, a amplitude e a polaridade do sinal de tensão aplicado na porta ( $V_G$ ), conhecido por capacitor MIS.

A compreensão da condição da estrutura de bandas do semicondutor na estrutura MIS em função da tensão aplicada  $V_G$  é de fundamental importância para a explicação do mecanismo de operação de um TFT. A Fig. 1-b representa a condição de bandas planas ( $V_G = 0$ ), enquanto a Fig. 1-c representa a condição de depleção ( $V_G < 0$ ) e a Fig. 1-d, a condição de acumulação ( $V_G > 0$ ). Na Fig. 1-b,  $\phi_m$  representa a função trabalho do metal (eletrodo de porta),  $\phi_s$ , a função trabalho do semicondutor,  $E_{Fm}$ , nível de Fermi do metal,  $E_{Fs}$ , o nível de Fermi do semicondutor tipo  $n$ ,  $E_c$ , o nível menos energético da banda de condução do semicondutor e  $E_v$ , o nível mais energético da banda de valência do semicondutor. A diferença em energia entre a banda de condução e a banda de valência define o intervalo em energia da banda proibida (“*gap*” energético) do semicondutor, ou seja: (ORTIZ-CONDE *et al.*, 2002) (SERGIO M. REZENDE, 2014).

Quando uma diferença de potencial elétrico  $V_G$  diferente de zero (como nas Fig. 1-c e 1-d) é aplicada, a estrutura de bandas do semicondutor é distorcida em relação à condição de bandas planas (Fig. 1-b). Para  $V_G < 0$ , o nível mais baixo da banda de condução próximo à interface semicondutor isolante se afasta do nível de Fermi em relação à região do volume do semicondutor. Dessa forma, nessa região, a densidade de portadores livres na banda de condução é reduzida em comparação com condição de bandas planas. Dessa forma, na interface isolante/semicondutor, o semicondutor apresenta uma condutividade reduzida por causa da depleção dos portadores de carga. Consequentemente, esta condição é denominada de *depleção*. Para  $V_G > 0$ , por outro lado, o nível mais baixo da banda de condução próximo à interface semicondutor isolante se aproxima do nível de Fermi em relação à região do volume do semicondutor, aumentando a densidade de portadores móveis próximo à interface isolante/semicondutor, aumentando a condutividade dessa região. Por

esta razão, esta condição é conhecida como condição de *acumulação*.

No regime de depleção, a camada semicondutora torna-se praticamente isolante e a estrutura MIS se comporta como um capacitor de dupla camada (dielétrico + semicondutor) cuja espessura efetiva é igual à soma da espessura da camada dielétrica e da camada semicondutora ( $d_{efetiva} = d_i + d_s$ ). No regime de acumulação, por outro lado, a camada semicondutora opera como eletrodo de um capacitor e a estrutura se comporta como sendo um capacitor formado somente pela camada dielétrica, com uma espessura efetiva menor ( $d_{efetiva} \approx d_i$ ), o que resulta em um aumento da capacitância efetiva do dispositivo (ORTIZ-CONDE *et al.*, 2002) (SERGIO M. REZENDE, 2014).

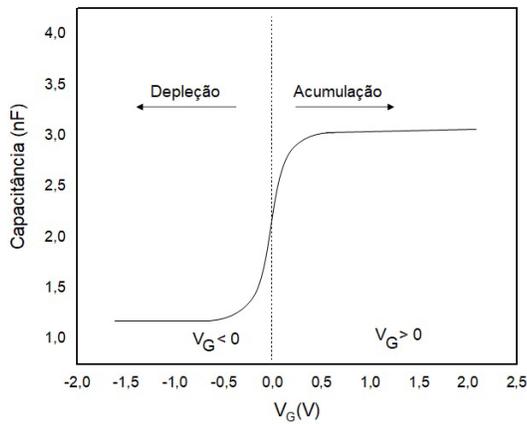


Figura 2: Esboço da curva  $C \times V_G$ , em uma estrutura MIS ideal, com uma camada semicondutora do tipo-n, mostrando os regimes de depleção e acumulação.

A Figura 2 mostra um esboço da dependência da capacitância de uma estrutura MIS em função da tensão ( $V_G$ ) aplicada. Conforme descrito, na condição de acumulação, a capacitância da estrutura MIS é igual à associação em série de um capacitor formado pela camada dielétrica ( $C_i$ ) e um capacitor formado pela camada semicondutora ( $C_s$ ):

$$C_{MIS} = \frac{C_i C_s}{C_i + C_s} = A \epsilon_0 \epsilon_i \left( \frac{1}{\frac{\epsilon_i}{\epsilon_0} d_s + d_i} \right) \quad (1)$$

Onde  $\epsilon_0$  é a permissividade elétrica do vácuo,  $A$ , a área dos eletrodos e  $\epsilon_i$  e  $\epsilon_s$  são, respectivamente as constantes dielétricas do dielétrico e do semicondutor. a espessura do capacitor MIS respectivamente.

Na condição de acumulação, a espessura da camada semicondutora na expressão da capacitância dada pela equação (1) pode ser aproximada pra zero, fazendo com que a capacitância efetiva da estrutura MIS seja aproximadamente

igual à capacitância somente da camada dielétrica:

$$C_{MIS} \approx \frac{A \epsilon_0 \epsilon_i}{d_i} = C_i \quad (2)$$

Como o resultado da equação (2) vai ser sempre numericamente igual ou maior que o resultado da equação (1), a capacitância na condição de acumulação sempre será igual ou maior que a capacitância na condição de depleção.

No presente estudo, produzimos TFTs com a camada dielétrica formada por  $Al_2O_3$ , que é um material que apresenta valores de constante dielétrica relativamente altos (entre 10 e 11) (FUMAGALLI *et al.*, 2008), em comparação com a do dióxido de silício ( $SiO_2$ ), (3.7 - 3.9), que é o material mais empregado atualmente na produção de TFTs. Adicionalmente, o  $Al_2O_3$  apresenta um elevado valor de energia de *gap* (superior a 7 eV) (FRENCH, 1990) e alta resistividade elétrica (apresentando, conseqüentemente, baixos valores de corrente de fuga através do eletrodo de porta) (MARDARE *et al.*, 2012) PEN; polyethylene terephthalate, PET; polyimide, PI and glass for comparison. Por estas razões, inúmeros trabalhos relatam o uso do  $Al_2O_3$  para a produção de capacitores e transistores (BRANQUINHO *et al.*, 2014) (HONG *et al.*, 2010).

Os regimes de acumulação e de depleção descritos acima determinam se o canal dos TFTs está em uma condição apropriada ou não para a passagem de corrente no semiconductor. Portanto, dependendo da tensão aplicada na porta ( $V_G$ ), a densidade de portadores de cargas na interface semiconductor/isolante ( $n$ , conseqüentemente a corrente no canal) pode variar várias ordens de grandeza. Portanto, costuma-se dizer que a corrente no canal ( $I_{DS}$ ) é *modulada* pela tensão  $V_G$  aplicada na porta.

A corrente do canal ( $I_{DS}$ ) depende, além da tensão aplicada entre os eletrodos de dreno e fonte ( $V_{DS}$ ), da densidade ( $N$ ) e da mobilidade ( $\mu$ ) dos portadores no semiconductor, da largura do canal ( $W$ ), da espessura da camada semicondutora ( $d_s$ ) e do comprimento do canal ( $L$ ), conforme representado na equação (3):

$$I_{DS} = (d_s \cdot W) \cdot N \cdot \mu \cdot \frac{V_{DS}}{L} \quad (3)$$

$$I_{DS} = \sigma \frac{W}{L} V_{DS} \quad (4)$$

Alternativamente, a corrente elétrica do canal pode ser representada em termos da condutividade ( $\sigma$ ) do canal, equação (4). A densidade de portadores livres é controlada pela diferença de potencial aplicada à porta do dispositivo ( $V_G$ ), dependendo do regime (acumulação ou depleção) imposto à estrutura MIS. Portanto, na condição de depleção, a condutividade elétrica do canal será reduzida, uma vez que a região do canal se encontra depletada de portadores livres de carga. Nesta

condição, a corrente elétrica do canal é chamada de corrente no estado “desligado” ( $I_{off}$ ), pois considera-se que o transporte de cargas é “desligado” na condição de depleção.

Na condição de acumulação, a densidade de portadores disponíveis para o transporte de cargas (livres) no canal é controlada pela carga acumulada na região do canal (de acordo com a estrutura MIS descrita anteriormente) conforme mostra a equação (5) abaixo:

$$N = \frac{Q}{d_s \cdot A} = \frac{C_i}{d_s} \cdot V_G \quad (5)$$

$$I_{DS} = (d_s \cdot W) \cdot \frac{C_i}{d_s} V_G \cdot \mu \cdot \frac{V_{DS}}{L} \quad (6)$$

$$G = \frac{W}{L} \cdot C_i \cdot \mu \cdot V_G \quad (7)$$

Deste modo, a corrente no canal pode ser descrita pela equação (6) e a condutância do canal, pela equação (7). Embora estas relações descrevam uma condição de operação particular (válida apenas para  $V_{DS} \ll V_G$ ) na qual a densidade de portadores de cargas é uniforme ao longo do canal, pode-se verificar como a condutância do canal ( $G$ ) é modulada pela tensão da porta. Contudo, de maneira mais geral, a distribuição de portadores de cargas ao longo do canal é dependente da diferença de potencial  $V_{DS}$  e da tensão de limiar (*threshold voltage*,  $V_{th}$ ), que é a igual à tensão necessária para compensar defeitos (neutros ou carregados) que aprisionam portadores livres acumulados no canal pelo efeito de campo. Neste caso mais geral, a equação (7) é corrigida, conforme mostra a equação (8):

$$I_{DS} = \frac{WC_i}{L} \mu (V_G - V_{th} - \frac{V_{DS}}{2}) V_{DS} \quad (8)$$

Um TFT pode ser caracterizado a partir de duas curvas características: i) a curva de “saída” (Fig. 3-a) e curva de “transferência” (Fig. 3-b). Na curva de saída, o dispositivo é caracterizado pela relação entre  $I_{DS}$  e  $V_{DS}$  obtida para diferentes valores de  $V_G$ . A curva de saída apresenta os diferentes regimes de operação de um TFT. Para  $V_{DS} \ll |V_G - V_{th}|$  verifica-se o regime linear, para o qual a distribuição de portadores de carga ao longo do canal é aproximadamente uniforme e  $I_{DS}$  varia linearmente com  $V_{DS}$ . No regime de saturação, em que  $I_{DS}$  é independente de  $V_{DS}$ , ocorre para valores de  $V_{DS}$  superiores a  $|V_G - V_{th}|$ , em que o potencial do dreno passa a ser alto o suficiente para criar uma região de depleção no canal e cuja extensão aumenta linearmente com  $V_{DS}$ , evitando que  $I_{DS}$  continue a crescer com o aumento de  $V_{DS}$  (condição de “*pinch-off*”).

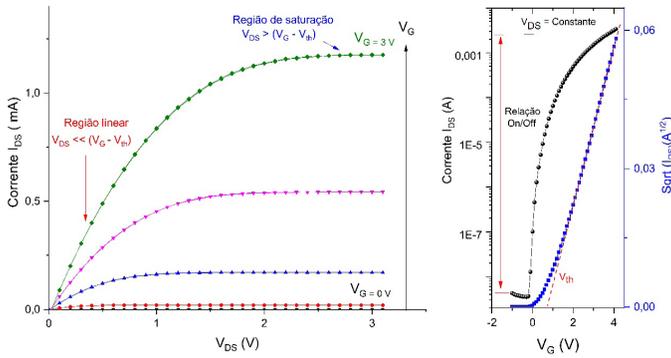


Figura 3: Curvas características de um TFT, sendo (a) curva de saída e (b) curva de transferência.

Como a maior parte das aplicações envolvem a utilização dos TFTs no regime de saturação, é comum se determinar a mobilidade dos portadores nesta condição, embora a densidade de portadores livres no canal não seja tão uniforme quanto no regime linear. Para se determinar a mobilidade, utilizamos a curva de transferência ( $I_{DS}$  vs.  $V_G$ ) em um determinado valor de  $V_{DS}$  para o qual a condição de saturação é satisfeita. No regime de saturação, a corrente do canal ( $I_{DS}$ ) é dada por:

$$I_{DS} = \frac{WC_i}{L} \mu \frac{(V_G - V_{th})^2}{2} \quad (9)$$

Assim, a mobilidade dos portadores de carga, no regime de saturação, pode ser determinada a partir de curvas de transferência empregando-se a relação:

$$\mu_{sat} = \frac{2L}{WC_i} \left( \frac{\partial \sqrt{I_{DS}}}{\partial V_G} \right) \quad (10)$$

Portanto,  $\mu_{sat}$  pode ser determinada através do coeficiente linear do gráfico de  $(I_{DS})^{1/2}$  vs.  $V_G$  no regime de saturação. O valor de  $V_{th}$ , por outro lado, é determinado através da intersecção da reta obtida com o eixo das abscissas, conforme mostra a Fig. 3-b (BRAGA *et al.*, 2019).

Dois outros parâmetros de desempenho importantes para um TFT é a razão entre as correntes no canal quando ele está acumulação e quando ele está em depleção (razão "on/off" ou somente  $I_{on}/I_{off}$ ) e a taxa de variação sublimiar (*subthreshold swing* - SS). O SS é definido como a variação da diferença de potencial  $V_G$  necessária para incrementar  $I_{DS}$  em uma década na região da curva de transferência antes de se atingir  $V_{th}$ . Portanto, o SS pode ser obtido pela curva de transferência tomando-se a relação:

$$SS^{-1} = \frac{\partial}{\partial V_G} \text{Log}(I_{DS}) \quad (11)$$

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Os TFTs produzidos neste trabalho utilizaram óxido de zinco (ZnO) como material semiconductor e óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) como isolante. Os materiais semiconductor e isolante foram depositados utilizando soluções precursoras através das técnicas de *spin-coating* e spray-pirólise, respectivamente. Os transistores foram produzidos com arquitetura porta-inferior/contato-superior empregando-se eletrodos de dreno e fonte de alumínio depositados por evaporação térmica em alto vácuo através de máscaras mecânicas. O emprego de eletrodos de alumínio nos contatos é conveniente por se tratar de um material estável em condições ambientais e por formar contatos ôhmicos com o óxido de zinco.

Os transistores foram produzidos em cinco fases básicas de processamento. A primeira fase consistiu na preparação dos substratos sobre os quais os transistores foram produzidos. Nesta etapa, foram obtidos substratos de vidro, com dimensões de 18,5 de largura, 25 mm de comprimento e 1 mm de espessura, a partir de lâminas de microscópio. Estes substratos foram limpos empregando-se três etapas de imersão em diferentes meios durante 15 minutos. No primeiro processo os substratos foram imersos em uma solução aquosa de detergente alcalino (Êxodo Científica, Detertex Alca), a 20% em volume, aquecida a 60 °C e em agitação ultrassônica (Soni-tech, SONI-TOP 402A). O segundo e o terceiro processo de limpeza foram realizados em temperatura ambiente com imersões em acetona e isopropanol respectivamente, ambos os solventes com grau de pureza analítica. Após as etapas de limpeza por imersão, os substratos foram submetidos a um processo de limpeza por plasma de rádio-frequência (Harrick Plasma, PDC-32G) com potência média (10.5 W), durante 10 minutos.

O eletrodo inferior dos transistores foi produzido na segunda etapa de processamento. Na estrutura utilizada por nós, o eletrodo inferior constitui, juntamente com a camada isolante, a porta dos TFTs. Estes eletrodos foram depositados por evaporação térmica de alumínio em alto vácuo (HHV modelo Auto306) utilizando um padrão de uma faixa de 3 mm de largura, 18,5 mm de comprimento e 100 nm de espessura.

Na terceira etapa de fabricação, a camada dielétrica de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  foi depositada sobre o eletrodo inferior a partir da combustão de um filme de obtido a partir de soluções aquosas de nitrato de alumínio nonohidratado (Neon, 01774) e de ureia (Sigma-Aldrich, U5378), em diferentes concentrações dos seus componentes, conforme apresentado na Tabela I. Estas soluções foram mantidas sob agitação constante durante 48 horas e, em seguida, foram depositadas pela técnica *spin-coating* (Laurell, WS-400BZ-6NPP/LITE) na condição de rotação constante (2000 rpm), durante 35 s. A conversão dos componentes precursores em óxido de alumínio

foi realizada pela técnica de combustão submetendo as amostras à temperatura de 350 °C durante 30 minutos. Para a obtenção das camadas isolantes, foram realizadas 2 etapas de deposição das soluções precursoras de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , mais uma etapa final de tratamento térmico a 350 °C, por 60 minutos.

PARÂMETRO VARIADO	VARIAÇÕES
Concentração de $\text{Al}_2\text{O}_3$ (M)	0,1; 0,3; 0,5 e 1
Número de camadas	1; 2 e 4
Temperatura de queima (°C)	300; 350; 400 e 500
Proporção entre $\text{Al}_2\text{O}_3$ e Ureia	1:0, 1:1, 1:2,5 e 1:5

Tabela I. VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS NA FABRICAÇÃO DO DIELÉTRICO

Na quarta etapa de fabricação, o semicondutor (ZnO) foi depositado sobre a camada dielétrica produzida na etapa anterior. A deposição desta camada foi realizada a partir de uma solução precursora de acetato de zinco diidratado (Sigma-Aldrich, 383058) em metanol (Tedia, MS1922-001), a uma concentração de 0,1 M. A solução precursora foi depositada empregando-se a técnica de spray-pirólise empregando-se a metodologia e o equipamento descrito por DE LIMA *et al.* (DE LIMA *et al.*, 2020). A camada semicondutora foi obtida pelo método de deposição intermitente com três sequências de deposição e conversão térmica do material precursor em óxido de zinco. Neste processo, tanto a deposição quanto a conversão térmica foram realizadas a 350 °C. Cada etapa de deposição foi realizada com duração de 5 segundos e cada etapa de conversão térmica foi realizada com duração de 1 minuto.

Na quinta e última etapa de fabricação, os eletrodos de alumínio da fonte e do dreno foram depositados por evaporação térmica (HHV Auto306) com o uso de máscaras mecânicas, para definição do padrão geométrico dos eletrodos. Cada um dos eletrodos foi produzido com 5 mm de comprimento, 0,2 mm de largura e 100 nm de espessura. Adicionalmente, estes eletrodos foram depositados com espaçamento de 0,1 mm entre si. Deste modo, ao final do processo de fabricação dos dispositivos, foram obtidos TFTs com canal de condução com dimensões de 3 mm de comprimento ( $L$ ) e 0,1 mm de largura ( $W$ ).

Além dos TFTs, foram produzidos capacitores empregando-se o mesmo processo para limpeza de substrato e de deposição da camada dielétrica ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), mas sem a deposição da camada semicondutora e dos eletrodos de dreno e fonte. Sobre a camada dielétrica, foram depositados eletrodos de alumínio com 3 mm de largura e 18,5 mm de comprimento, transversais ao eletrodo inferior de alumínio, formando capacitores de ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) com um padrão quadrado de área igual a 9 mm<sup>2</sup>.

Os capacitores foram caracterizados por espectroscopia de impedância (Solatron, modelo SI 1260), que permitiu a determinação da impedância elétrica  $Z$  e do ângulo de fase  $\theta$  em relação à tensão senoidal de excitação, para diferentes valores de frequência angular ( $\omega$ ). Esses dados permitem calcular a componente real da capacitância complexa, que é igual à capacitância equivalente do elemento, dada por:

$$C = \frac{-Z_I}{(2\pi\omega Z^2)} \quad (12)$$

Onde  $Z_I$  representa a componente imaginária da impedância complexa do sistema,  $Z_I = |Z|. \sin(\theta)$ . A capacitância do dispositivo é determinada fazendo a extrapolação dessa componente real da capacitância para valores infinitos de frequência. Por fim, a capacitância por unidade de área dos dispositivos é determinada dividindo o valor de  $C$  obtido pela área do capacitor, de 9 mm<sup>2</sup>.

A caracterização elétrica dos TFTs, foi feita utilizando uma fonte/unidade de medida de corrente/voltagem de duplo canal (Keithley, modelo 2612B) que permite a aplicação e variação simultânea da voltagem entre dreno e fonte ( $V_{DS}$ ) e da voltagem aplicada entre a porta e a fonte ( $V_G$ ) enquanto se mede a corrente no canal ( $I_{DS}$ ) e a corrente através da porta ( $I_G$ ). Dessa forma, é possível se obter tanto a curva de saída quanto a curva de transferência dos TFTs, assim como monitorar a corrente de fuga ( $I_G$ ) através da porta. Todas as medidas de caracterização dos TFTs foram realizadas utilizando softwares próprios desenvolvidos em linguagem Python para controle e aquisição de dados.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente estudo teve como foco a produção de TFTs de filmes finos empregando-se óxidos metálicos depositados por solução tanto na produção da camada dielétrica ( $Al_2O_3$ ) quanto da camada semicondutora (ZnO). A influência da composição da solução precursora e dos parâmetros de conversão térmica do nas propriedades elétricas do material dielétrico foi estudada a partir de medidas de capacitância em filmes de  $Al_2O_3$ , o que permitiu avaliar se o material obtido possuía as propriedades necessárias para compor a camada dielétrica de TFTs. A partir destes resultados, empregamos uma metodologia estudada anteriormente (DE LIMA, 2017) para a produção e caracterização de TFTs onde a camada semicondutora também foi depositada por solução (spray-pirólise).

#### 3.1 Caracterização de capacitores produzidos com óxido de alumínio produzidos por combustão

Os filmes de  $Al_2O_3$  que formaram os capacitores estudados nesta seção forma obtidos a partir de soluções precursoras de nitrato de alumínio nonohidratado e

ureia com diferentes concentrações, onde a proporção molar entre os componentes foi mantida constante em 1/2,5 (nitrato de alumínio nonohidratado/ureia). Na figura 4(a) apresentamos a capacitância dos capacitores em função da concentração molar de nitrato de alumínio nonohidratado na solução precursora. Os resultados mostram uma redução sistemática da capacitância com a elevação da concentração da solução precursora. Este resultado pode estar associado à formação de filmes mais espessos com o aumento da concentração das soluções precursoras, uma vez que soluções mais concentradas apresentam maior viscosidade e, por esta razão, resultam em filmes mais espessos quando depositadas pela técnica de *spin-coating*.

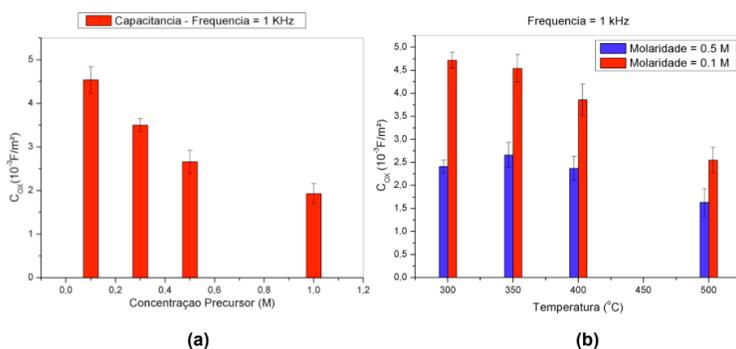


Figura 4. (a) Variação da capacitância por unidade de área ( $C_{ox}$ ) para diferentes concentrações de nitrato de alumínio nonohidratado. Medido à uma frequência de 1 kHz. (b) Variação da temperatura de combustão após a deposição por *spin coating*.

Na figura 4(b) apresentamos resultados de capacitância por unidade de área obtidos a partir de capacitores produzidos com duas soluções precursoras distintas e com diferentes temperaturas de conversão térmica. A partir da solução precursora contendo 0,5 M de nitrato de alumínio nonohidratado, foram obtidos capacitores com valores próximos entre si de capacitância (dentro da indeterminação experimental) para temperaturas de conversão térmica entre 300°C e 400°C. Os capacitores produzidos a partir desta mesma solução, mas preparados com temperatura de conversão térmica de 500 °C, apresentaram, no entanto, valores de capacitância inferiores aos dos demais dispositivos. Para dispositivos produzidos a partir de solução precursora contendo 0,1 M de nitrato de alumínio nonohidratado, foram obtidos valores de capacitância próximos entre si de capacitância (dentro da indeterminação experimental) para as temperaturas de conversão térmica de 300°C e 350°C, e capacitâncias inferiores para temperaturas de conversão térmica de 400°C e 500 °C. Os casos em que os capacitores apresentaram valores inferiores de capacitância apresentaram também elevada corrente de fuga, indicando que a

redução na capacitância está associada à formação de defeitos na camada isolante dos capacitores.

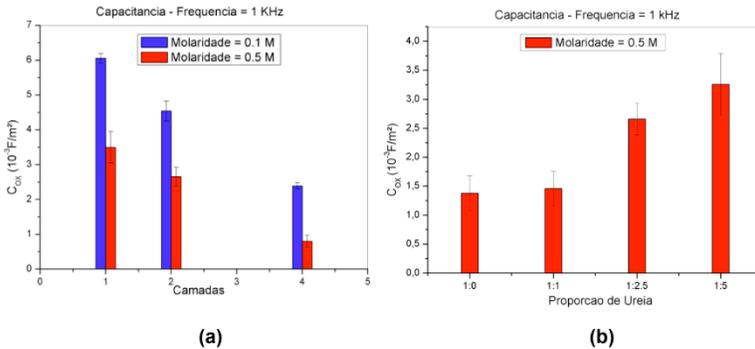


Figura 5. Valores de capacitância para (a) variação do número de camadas e (b) variação da proporção entre nitrato de alumínio nonohidratado e ureia (1:X).

Na figura 5(a), apresentamos os resultados obtidos de capacitores produzidos a partir de soluções precursoras contendo 0,5 e 0,1 M de nitrato de alumínio nonohidratado, a uma temperatura de combustão fixa de 350 °C. Nesta figura, a capacitância dos dispositivos é apresentada em função do número de camadas depositadas. Conforme esperado, com o aumento do número de camadas, observa-se uma clara redução nos valores de capacitância, condizente com a esperada diminuição na espessura da camada isolante. Na figura 5(b), apresentamos resultados obtidos de capacitores produzidos com a deposição de duas camadas a partir de soluções precursoras contendo 0,5 M de nitrato de alumínio nonohidratado, utilizando diferentes proporções de ureia e a uma temperatura de combustão fixa de 350 °C. Neste resultado verifica-se o aumento da capacitância dos dispositivos com o aumento da proporção de ureia em relação ao nitrato de alumínio nonohidratado para proporções superiores a 1:1. Este resultado indica que a presença de ureia na solução precursora auxilia o processo de conversão do precursor nitrato de alumínio nonohidratado em óxido de alumínio, o que resulta em camadas com constante dielétrica mais elevada.

### 3.2 Caracterização de tfts produzidos com óxido de alumínio e óxido de zinco processados por via úmida

Tendo em vista os resultados prévios das medidas de capacitância da camada dielétrica de  $Al_2O_3$ , decidimos fabricar as camadas dielétricas que seriam utilizadas nos TFTs a partir de soluções precursoras contendo 0,5 M de nitrato de alumínio nonohidratado e 1,25 M de Ureia, depositadas em 2 camadas e seguindo

uma etapa de combustão a 350 °C. Os procedimentos para deposição das demais camadas dos TFTs foram mantidos fixos, conforme descritos na seção de materiais e métodos experimentais.

Na figura 6 apresentamos a curva de transferência (Fig. 6-a), obtida com  $V_{DS}$  constante e igual a 1,4 V, e as curvas de saída (Fig. 6-b), obtidas para diferentes tensões aplicadas na porta de um dos transistores obtidos. Os valores dos parâmetros de desempenho, obtidos a partir da caracterização dos sete TFTs, estão apresentados na tabela III.

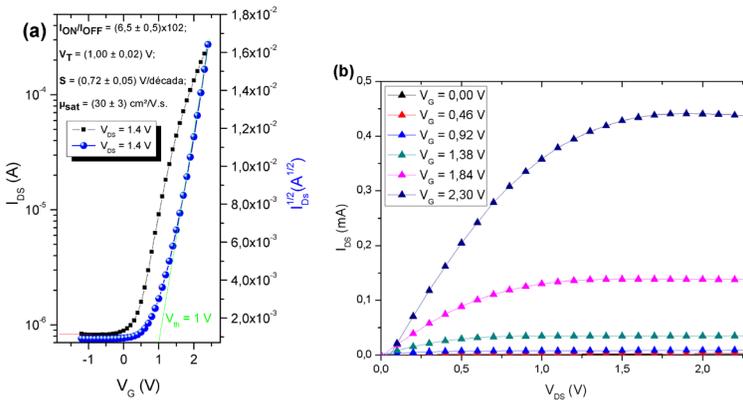


Figura 6. (a) Curva de transferência de um TFT fabricado pelos parâmetros previamente mencionados, a qual mostra os valores de corrente On/Off, tensão de limiar, subthreshold swing e mobilidade de saturação. Valores obtidos mantendo a tensão na fonte constante  $V_G = 1.4$  V. (b) Curvas de saída do dispositivo para diferentes tensões na porta.

Parâmetro	Unidade	Resultado	Desvio
Razão on/off ( $I_{on}/I_{off}$ )	adimensional	$(6,5 \pm 0,5) \times 10^2$	8 %
Tensão de threshold ( $V_{th}$ )	V	$(1,00 \pm 0,02)$	2 %
Subthreshold swing (SS)	V/década	$(0,72 \pm 0,05)$	7 %
Mobilidade na saturação ( $\mu_{sat}$ )	$cm^2/V.s$	$(30 \pm 3)$	10 %
Capacitância/ área ( $C_{ox}$ )	$F/m^2$	$(2,7 \pm 0,3) \times 10^{-3}$	11 %

Na tabela III verifica-se que o conjunto de 7 TFTs apresentou boa reprodutibilidade, já que o desvio obtido para os parâmetros de desempenho foi inferior a 11 %. Este resultado indica que o processo para fabricação de TFTs proposto no presente estudo permite elevado controle e a fabricação de dispositivos com boa reprodutibilidade. Estas características do processo proposto são corroboradas pela concordância entre a capacitância da porta apresentada na tabela III e a capacitância dos capacitores produzidos com os mesmos parâmetros (figura 4). Além disso, os

transistores produzidos apresentaram parâmetros de desempenho, como tensão de *threshold*, *subthreshold swing* e mobilidade no regime de saturação comparáveis com os melhores transistores produzidos processados por solução reportados na literatura.

## 4 | CONCLUSÕES

No presente trabalho apresentamos um estudo com o objetivo de fabricar e caracterizar TFTs de filmes finos de óxidos metálicos depositados por técnicas de processamento por solução. Avaliamos como a capacitância de capacitores produzidos com óxido de alumínio como dielétrico é influenciada pela proporção entre nitrato de alumínio nonoidratado e ureia, assim como pela temperatura de combustão. Verificamos que a presença de ureia na solução precursora resulta em capacitores com melhor desempenho e que capacitores produzidos com temperaturas de conversão térmicas superiores a 350 °C apresentam menor capacitância e grande incidência de correntes de fuga, o que significa camadas dielétricas de qualidade inferior.

A análise da variação dos fatores de produção dos filmes de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nas propriedades elétricas de capacitores permitiu que pudéssemos selecionar uma combinação adequada de fatores para a produção da camada dielétrica dos TFTs com a camada ativa composta por ZnO depositado por spray-pirólise. Os transistores obtidos apresentaram uma dispersão nos valores dos principais parâmetros de desempenho elétrico inferior a 11 %, indicando boa reprodutibilidade e controle do processo de fabricação dos dispositivos. Os TFTs produzidos apresentaram também um elevado valor da mobilidade no regime de saturação ( $30 \pm 3$ )  $\text{cm}^2/\text{V.s.}$ , o que é difícil de se obter a partir de transistores com a camada composta por ZnO puro. No entanto, outros parâmetros de desempenho como a tensão de *threshold* de ( $1,00 \pm 0,02$ ) V, o *subthreshold swing* de ( $0,72 \pm 0,05$ ) V/década e a relação *on/off* ( $6,5 \pm 0,5$ )  $\times 10^2$  apresentaram valores que, embora toleráveis, ainda precisam melhorar para permitir a aplicação em circuitos eletrônicos comerciais, o que pode ser o foco de um trabalho posterior.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo – FAPESP (processo 2019/08019-9) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

- BRAGA, João P. *et al.* **Electrical Characterization of Thin-Film Transistors Based on Solution-Processed Metal Oxides. Design, Simulation and Construction of Field Effect Transistors**, [S. l.], 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/intechopen.78221>
- BRANQUINHO, Rita *et al.* **Aqueous combustion synthesis of aluminum oxide thin films and application as gate dielectric in GZTO solution-based TFTs**. *ACS Applied Materials and Interfaces*, [S. l.], v. 6, n. 22, p. 19592–19599, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/am503872t>
- CHEN, Yantao *et al.* **Field-Effect Transistor Biosensor for Rapid Detection of Ebola Antigen**. *Scientific Reports*, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 4–11, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11387-7>
- DE LIMA, Guilherme R. *et al.* **Optimization of the Electrical Performance of Metal Oxide Thin-film Transistors by varying Spray Deposition Parameters**. *MRS Advances*, [S. l.], v. 357, n. May, p. 1–8, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1557/adv.2018.35>
- FORTUNATO, E.; BARQUINHA, P.; MARTINS, R. **Oxide semiconductor thin-film transistors: A review of recent advances**. *Advanced Materials*, [S. l.], v. 24, n. 22, p. 2945–2986, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/adma.201103228>
- FRENCH, Roger H. **Electronic Band Structure of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, with Comparison to Alon and AlN**. *Journal of the American Ceramic Society*, [S. l.], v. 73, n. 3, p. 477–489, 1990. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1990.tb06541.x>
- FUMAGALLI, L. *et al.* **Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as gate dielectric for organic transistors: Charge transport phenomena in poly-(3-hexylthiophene) based devices**. *Organic Electronics: physics, materials, applications*, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 198–208, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2007.11.001>
- HONG, Chitsung *et al.* **Liquid crystal alignment in nanoporous anodic aluminum oxide layer for LCD panel applications**. *Nanotechnology*, [S. l.], v. 21, n. 28, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/0957-4484/21/28/285201>
- HUANG, Chun Hsien *et al.* **Charge trapping behavior of SiO<sub>2</sub>-Anodic Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> gate dielectrics for nonvolatile memory applications**. *Solid-State Electronics*, [S. l.], v. 53, n. 3, p. 279–284, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sse.2008.12.005>
- JUNG, Joohye *et al.* **Approaches to label-free flexible DNA biosensors using low-temperature solution-processed InZnO thin-film transistors**. *Biosensors and Bioelectronics*, [S. l.], v. 55, p. 99–105, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bios.2013.11.076>
- LIMA, Guilherme R. *et al.* **On the reproducibility of spray-coated ZnO thin-film transistors**. . Disponível em: <https://doi.org/10.1557/adv.20>
- LUTHRA, Krishan L. **Stability of Protective Oxide Films on Ti-Base Alloys**. [S. l.], v. 36, p. 475–490, 1991.

Luthra, K.L. **Stability of protective oxide films on Ti-base alloys**. *Oxid Met* 36, 475–490 (1991). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF01151593>

MARDARE, Andrei Ionut *et al.* **Ultra-thin anodic alumina capacitor films for plastic electronics**. *Physica Status Solidi (A) Applications and Materials Science*, [S. l.], v. 209, n. 5, p. 813–818, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/pssa.201100785>

MOREIRA *et al.* **Tailoring IGZO Composition for Enhanced Fully Solution-Based Thin Film Transistors**. *Nanomaterials*, [S. l.], v. 9, n. 9, p. 1273, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nano9091273>

NAG, Manoj *et al.* **High performance a-IGZO thin-film transistors with mf-PVD SiO<sub>2</sub> as an etch-stop-layer**. *Journal of the Society for Information Display*, [S. l.], v. 22, n. 1, p. 23–28, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsid.212>

ORTIZ-CONDE, A. *et al.* **A review of recent MOSFET threshold voltage extraction methods**. *Microelectronics Reliability*, [S. l.], v. 42, n. 4–5, p. 583–596, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0026-2714\(02\)00027-6](https://doi.org/10.1016/S0026-2714(02)00027-6)

Sergio M. Rezende; **Materiais & Dispositivos Eletrônicos**. 3ª Ed. São Paulo, Livraria da física, 2014.

SU, Jinbao *et al.* **Annealing atmosphere-dependent electrical characteristics and bias stability of N-doped InZnSnO thin film transistors**. *Materials Science in Semiconductor Processing*, [S. l.], v. 113, n. February, p. 105040, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2020.105040>

SYKORA, Benedikt; WANG, Di; VON SEGGERN, Heinz. **Multiple ink-jet printed zinc tin oxide layers with improved TFT performance**. *Applied Physics Letters*, [S. l.], v. 109, n. 3, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1063/1.4958701>

TROTOCHAUD, Lena *et al.* **Solution-cast metal oxide thin film electrocatalysts for oxygen evolution**. *Journal of the American Chemical Society*, [S. l.], v. 134, n. 41, p. 17253–17261, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ja307507a>

WANG, Yuntao *et al.* **FlexTouch. Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies**, [S. l.], v. 3, n. 3, p. 1–20, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3351267>

YAN, Xingzhen *et al.* **Fabrication of silver nanowires and metal oxide composite transparent electrodes and their application in UV light-emitting diodes**. *Journal of Physics D: Applied Physics*, [S. l.], v. 49, n. 32, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/0022-3727/49/32/325103>

YANG, Byung Do *et al.* **A transparent logic circuit for RFID tag in a-IGZO TFT technology**. *ETRI Journal*, [S. l.], v. 35, n. 4, p. 610–616, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.4218/etrij.13.1912.0004>

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Absorção de água 22, 27, 29, 31, 32  
Acessibilidade 193, 248, 249, 253, 254, 255, 256  
Aço inoxidável AISI 304 124  
Agroindústrias familiares 193, 197, 199, 201  
Agronegócio 203, 205, 206, 207, 208, 210, 211, 212, 215, 216, 217  
AHSS 137, 138, 139, 144, 146  
Alimentos 19, 42, 53, 156, 165, 168, 193, 194, 195, 197, 198, 200, 201, 202, 203, 204, 206, 208  
Alvenaria estrutural 225, 226, 227, 228, 229, 231, 232, 233  
Amazônia 218, 219, 224  
Análise de deformação 124  
Aplicativo 252, 253, 257, 262, 263, 264, 268  
Ataques químicos 137, 142, 143, 144, 146

### B

Bacaba 148, 149  
Baja 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 242, 245, 246, 247  
Barragem 23, 92, 188, 189, 190, 191, 192  
Biocombustível 177, 178  
Bioenergia 10, 11, 149, 168  
Biomassa 10, 11, 15, 16, 19, 21, 42, 45, 69  
Biotecnologia 19, 186, 205, 206, 207, 209, 210, 211, 215, 216  
Bloco ecológico 22, 26

### C

Café 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 46, 278  
Calibração 120, 122, 123  
Caracterização 2, 24, 27, 28, 29, 34, 36, 37, 38, 78, 102, 104, 113, 115, 116, 123, 135, 137, 142, 143, 145, 146, 152, 153, 174, 185, 189, 227, 272, 298  
Células solares 94, 96, 148, 149, 150, 151, 152, 153  
Coleta seletiva 1, 2, 3, 4, 5, 6, 50, 54  
Comportamento mecânico 124, 125, 126, 140  
Conforto 26, 56, 59, 64, 77, 78, 257, 259, 264, 269, 274

Correlação digital de imagens 12, 124, 126, 127, 128, 132, 135

CSSC 148, 150, 151, 152, 153

## **D**

Deficiência visual 248, 249, 250, 252, 254, 255

Diâmetro da cepa 218, 224

## **E**

Eletrofiação 93, 94, 97, 98, 100

Energia renovável 10, 42

Engenharia 20, 21, 25, 41, 42, 44, 46, 54, 55, 80, 94, 95, 125, 146, 156, 175, 192, 224, 225, 232, 234, 235, 238, 240, 245, 246, 254, 269, 270, 271, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 298

Ensino superior 234, 235, 248, 249, 252, 254, 276, 281, 283

Enzimas ligninolíticas 166, 167, 168, 173

Estabilidade oxidativa 177, 181

Estacionamento 269, 270, 271, 272, 273, 274

Extrato natural 177

## **F**

Fiscalização 218, 219, 223, 224, 225, 232

Fluxo de caixa 234, 236, 237, 243, 244, 246

Fonte de energia 8, 10, 11, 44, 149

Força 23, 98, 120, 121, 122, 123, 132, 278, 285, 286

Fungos 19, 156, 166, 167, 168, 169, 173, 180

## **G**

Gestão 3, 23, 33, 34, 35, 40, 41, 42, 53, 192, 202, 203, 204, 208, 217, 227, 236, 243, 279, 298

Gestão de resíduos 41, 42

## **I**

Irrigação 188, 189, 190, 192

## **L**

Laboratórios de informática 56, 59, 60, 61, 62, 63

Largura de faixa 269

Lipases 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 164

## **M**

Madeira 16, 22, 66, 67, 68, 69, 70, 78, 79, 166, 167, 175, 224  
Manifestações patológicas 225, 227, 228, 232  
Método das diferenças finitas 80, 92  
Método dos elementos finitos 80  
Microestrutura 124, 126, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 144, 145, 146  
Mineração 22, 23, 24, 25, 32, 33  
Miniônibus 257, 262, 263, 264  
Mitigação ambiental 8  
Mobilidade 102, 108, 110, 116, 117, 235, 248, 249, 253, 254, 257, 262, 264, 265, 267, 268, 270, 271, 274, 275  
Mulheres 276, 277, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291

## **O**

Óleo de baru 155, 165  
Óxidos metálicos 102, 103, 104, 113, 117

## **P**

Paratransit 257  
Patauá 148  
Patentes 205, 206, 207, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215  
Placas cimentícias 66  
Planejamento experimental 155, 158, 159, 160, 166, 169, 170, 171, 172  
Plano de negócio 235, 236, 242, 243, 245, 247  
Processamento 8, 9, 10, 13, 14, 20, 21, 25, 67, 68, 93, 97, 98, 102, 103, 104, 111, 117, 126, 127, 130, 140, 156, 195, 197, 206, 240, 292  
Produção de Taninos 8

## **R**

Rastreabilidade 120, 123  
Resíduo 14, 16, 17, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 35, 36, 37, 38, 40, 47, 151, 152, 157, 177, 179, 180, 181, 183, 184, 185  
Resistência à compressão 22, 27, 29, 31  
Ruído 56, 57, 58, 59, 64, 65

## **S**

Salas de aula 3, 56, 59, 60, 61, 62, 63, 288

Saneamento 41, 42, 54, 55, 278  
Segurança alimentar 193, 197, 202, 203, 205, 209, 215  
Semicondutores 95, 102, 104, 150  
Sensores 94, 95, 98, 103  
Shopping Center 34, 35, 36, 41  
Sistema de medição 120, 121, 122, 123  
Smart materials 93, 94, 96, 100  
Soldagem MIG 124  
Sustentabilidade 1, 2, 9, 11, 42, 66, 153, 216, 237, 265, 267, 271

## **T**

Tecnologias 10, 16, 18, 64, 66, 205, 211, 214, 215, 216, 248, 255, 264, 278, 279  
Temperatura 13, 18, 25, 52, 67, 69, 70, 71, 74, 75, 77, 80, 94, 95, 97, 102, 111, 112, 114, 115, 117, 128, 140, 141, 158, 159, 166, 168, 173, 174, 177, 178, 180, 220, 228, 232, 240  
Tensões térmicas 80, 128  
Termomecânicos 80, 92  
Transistores 102, 104, 105, 108, 111, 116, 117  
Transporte coletivo sob demanda 257, 258, 259, 262, 264, 266  
Tratamento de efluente 166

## **V**

Vegetação 188, 189, 190, 221  
Veículos off-road 235, 236, 237, 238  
Velocidade 69, 130, 166, 173, 240, 269, 270, 273, 274  
Viabilidade econômica 234, 236, 245, 246

# Resultados das Pesquisas e Inovações na Área das Engenharias 2

[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) 

# Resultados das Pesquisas e Inovações na Área das Engenharias 2

[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) 