



# As Engenharias agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento

Franciele Braga Machado Tullio  
Lucio Mauro Braga Machado  
(Organizadores)

  
Ano 2021



# As Engenharias agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento

Franciele Braga Machado Tullio  
Lucio Mauro Braga Machado  
(Organizadores)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

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

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

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

Prof<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> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

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. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

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> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

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. 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. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

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

### **Linguística, Letras e Artes**

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

### **Conselho Técnico Científico**

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

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein  
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Prof<sup>ª</sup> 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

## As engenharias agregando conhecimento em setores emergentes de pesquisa e desenvolvimento

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Vanessa Mottin de Oliveira Batista  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadores:** Franciele Braga Machado Tullio  
Lucio Mauro Braga Machado

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 As engenharias agregando conhecimento em setores emergentes de pesquisa e desenvolvimento / Organizadores Franciele Braga Machado Tullio, Lucio Mauro Braga Machado. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-769-7

DOI 10.22533/at.ed.697211102

1. Engenharia. I. Tullio, Franciele Braga Machado (Organizador). II. Machado, Lucio Mauro Braga (Organizador). III. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

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

contato@atenaeditora.com.br

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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

## APRESENTAÇÃO

A obra “As Engenharias Agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento” contempla vinte capítulos em que os autores abordam suas pesquisas aplicadas nos mais diversos setores da engenharia.

Pesquisas relacionadas a propriedades físico-químicas de materiais e desenvolvimento de novos produtos com a finalidade de aplicar na indústria.

Desenvolvimento de novos materiais e aplicação de inteligência artificial para utilização na medicina também são abordados.

Geração de energia, desenvolvimento de projetos sustentáveis e tratamento de efluentes são assuntos em evidência no meio acadêmico.

Por fim, estudo sobre a gestão de projetos de obras de arte especiais com a finalidade de auxiliar os gestores na tomada de decisões e intervenções nas mesmas.

Esperamos que esta obra promova ao leitor o desejo de desenvolver ainda mais estudos, agregando mais conhecimento em setores de pesquisa e desenvolvimento. Boa leitura!

Franciele Braga Machado Tullio  
Lucio Mauro Braga Machado

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **CONSTRUÇÃO DE IMPELIDORES POR MANUFATURA ADITIVA: UMA METODOLOGIA PARA O ENSINO DE OPERAÇÕES UNITÁRIAS**

Tadeu Henrique Aparecido da Silva

Monica Taís Siqueira D'Amelio

**DOI 10.22533/at.ed.6972111021**

### **CAPÍTULO 2..... 17**

#### **DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ACIDEZ E PERÓXIDO NO ÓLEO DE FRITURA UTILIZADO NO REFEITÓRIO DO IFMT – CAMPUS CONFRESA**

Fábio Gonçalves Marinho

Felipe Gimenes Rodrigues Silva

Ulisses Alberto Rodrigues da Silva

Milton Fantinell Junior

Carlos Bonfim Gonçalves Marinho

Geovana Rodrigues Soares

**DOI 10.22533/at.ed.6972111022**

### **CAPÍTULO 3..... 22**

#### **ESTUDO DA SEDIMENTAÇÃO DESCONTÍNUA DE $\text{CaCO}_3$ E $\text{Ca(OH)}_2$ EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES VISANDO A SEPARAÇÃO DE PARTICULADO**

Dinalva Schein

Carolina Smaniotto Fronza

Gabriela Aline Kroetz Bremm

Isaac dos Santos Nunes

Andréia Monique Lermen

Naiara Jacinta Clerici

Paula Gabriela Dalla Porta

Suelyly Ribeiro Hollas

**DOI 10.22533/at.ed.6972111023**

### **CAPÍTULO 4..... 33**

#### **FUNCIONALIZAÇÃO DO TERPOLÍMERO ACRILONITRILA-BUTADIENO-ESTIRENO COM ANIDRIDO MALEICO – UMA REVISÃO DA LITERATURA**

Carlos Bruno Barreto Luna

Danilo Diniz Siqueira

Eduardo da Silva Barbosa Ferreira

Edson Antonio dos Santos Filho

Edcleide Maria Araújo

**DOI 10.22533/at.ed.6972111024**

### **CAPÍTULO 5..... 54**

#### **ANÁLISE DE DESGASTE NAS LASTRINAS DA CAIXA MATRIZ NA INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS**

Tiago da Silva Fernandes

Anderson Daleffe

**DOI 10.22533/at.ed.6972111025**

**CAPÍTULO 6..... 68**

**ANÁLISE QUÍMICA E ÂNGULO DE CONTATO DE FILMES FORMADOS POR BLENDA DE POLIESTIRENO/POLI(CAPROLACTONA) FOTODEGRADADAS POR LUZ ULTRAVIOLETA**

Catarina Barbosa Levy

Maria Oneide Silva de Moraes

Walter Ricardo Brito

João de Deus Pereira de Moraes Segundo

**DOI 10.22533/at.ed.6972111026**

**CAPÍTULO 7..... 75**

**APLICAÇÃO DE NANOBIMATERIAIS NO TRATAMENTO DE FERIDAS**

Rayanne Cornelio Silva Carvalho

Deuzuita dos Santos Freitas Viana

Vicente Galber Freitas Viana

**DOI 10.22533/at.ed.6972111027**

**CAPÍTULO 8..... 87**

**INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE FERROCARBONILA EM MATERIAIS ABSORVEDORES DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA**

Cecília Maia Corsato

Nicholas Eras Fonseca

Bruno Ferraz Donati

Gustavo Freitas de Souza

Rademaks Bento de Oliveira

Valdirene Aparecida da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.6972111028**

**CAPÍTULO 9..... 96**

**INCORPORAÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO RECICLADAS EM COMPÓSITO CONCRETO**

Gabriela T. Santiago

Matheus Vosgnach

Vinicio Ceconello

Edson Francisquetti

Mara Andrade Zeni

**DOI 10.22533/at.ed.6972111029**

**CAPÍTULO 10..... 105**

**ANÁLISE DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO SOLAR DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA LOCALIDADES NO BAIXO TOCANTINS – PA**

Marinaldo de Jesus dos Santos Rodrigues

Silvio Bispo do Vale

Tatiane Perna Rodrigues

**DOI 10.22533/at.ed.69721110210**

<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>117</b>
<b>SIMULAÇÃO ENERGÉTICA PARA RECUPERAÇÃO DE CALOR DO AR EM AGÊNCIAS BANCÁRIAS</b>	
Alexandre Fernandes Santos	
Jeová Alves Diniz Junior	
Heraldo José Lopes de Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.69721110211</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>131</b>
<b>USO DO SISTEMA DX (EXPANSÃO DIRETA) PARA SISTEMAS GEOTÉRMICOS EM CURITIBA</b>	
Alexandre Fernandes Santos	
Paulo Henrique Colombo	
Heraldo José Lopes de Souza	
Fabio Francisco Ferreira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.69721110212</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>143</b>
<b>MÉTODOS DE APRENDIZAGEM DE MÁQUINA APLICADOS NA CLASSIFICAÇÃO DE NÍVEIS DE APNEIA UTILIZANDO SINAIS DE ELETROCARDIOGRAMA</b>	
João Pedro dos Santos Silva	
Pedro Henrique dos Santos Almeida	
Letícia Chaves Lima Cananéa	
Helder Alves Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.69721110213</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>153</b>
<b>ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE CONTROLE VOLUMÉTRICOS E DINÂMICOS EM SISTEMAS DE PERFURAÇÃO DE POÇOS PETROLÍFEROS</b>	
Juliana Gomes da Silva	
Savio Raider Matos Sarkis	
<b>DOI 10.22533/at.ed.69721110214</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>173</b>
<b>UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP) COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO MULTICRITÉRIO NO PROCESSO DE DECISÃO DE PRIORIZAÇÃO DE PROJETOS DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NA AMAZÔNIA AZUL</b>	
Andrezza de Oliveira Agápito	
Dalessandro Soares Vianna	
Marcilene de Fátima Dianin Vianna	
Edwin Benito Mitacc Meza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.69721110215</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>185</b>
<b>IMPLANTAÇÃO DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA EM COMPLEXO ALIMENTÍCIO INDUSTRIAL</b>	
Yuri de Oliveira Godoy	

Aldo Muro Júnior

**DOI 10.22533/at.ed.69721110216**

**CAPÍTULO 17..... 196**

**AVANÇOS PARA MELHORIA DA RESISTÊNCIA À INCRUSTAÇÃO EM MEMBRANAS DE ULTRAFILTRAÇÃO COM POTENCIAL PARA APLICAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS OLEOSAS: uma revisão**

Victor José Romão dos Santos

Suellen Cristine Meira

**DOI 10.22533/at.ed.69721110217**

**CAPÍTULO 18..... 211**

**ANÁLISE PROBABILÍSTICA E DETERMINÍSTICA DA ESTABILIDADE DE TALUDES EM BARRAGEM DE TERRA DO ESTADO DO CEARÁ**

Fernando Feitosa Monteiro

Andressa de Araujo Carneiro

Yago Machado Pereira de Matos

Giovanna Monique Alelvan

**DOI 10.22533/at.ed.69721110218**

**CAPÍTULO 19..... 222**

**A GESTÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS MUNICIPAIS: CONCEPÇÃO DE UM MODELO CONCEITUAL DE BANCO DE DADOS APLICADO ÀS PONTES, VIADUTOS E PASSARELAS**

André Felipe Bozio

Vivian da Silva Celestino Reginato

**DOI 10.22533/at.ed.69721110219**

**CAPÍTULO 20..... 240**

**ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS DO PORTO MARAVILHA, RIO DE JANEIRO: TRANSFORMAÇÕES URBANAS**

Amanda Martins Marques da Silva

Gisele Silva Barbosa

Patricia Regina Chaves Drach

Eduardo Praun Machado

Victor Marques Zamith

**DOI 10.22533/at.ed.69721110220**

**SOBRE OS ORGANIZADORES ..... 255**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 256**

# CAPÍTULO 8

## INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE FERROCARBONILA EM MATERIAIS ABSORVEDORES DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Data de aceite: 01/02/2021

Data de submissão: 06/01/2021

### **Cecília Maia Corsato**

Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento  
Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP)  
São José dos Campos, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/3350513803471753>  
<http://orcid.org/0000-0001-9804-8165>

### **Nicholas Eras Fonseca**

Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento  
Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP)  
São José dos Campos, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/0252689841316986>  
<https://orcid.org/0000-0002-1577-3423>

### **Bruno Ferraz Donati**

Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento  
Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP)  
São José dos Campos, SP, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/6080466241221952>  
<http://orcid.org/0000-0001-9733-7475>

### **Gustavo Freitas de Souza**

Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento  
Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP)  
São José dos Campos, SP, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/8638707185810150>

### **Rademaks Bento de Oliveira**

Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento  
Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP)  
São José dos Campos, SP, Brasil  
Centro Paula Souza, Etec Cônego José Bento  
Jacareí, SP, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/2090739936431882>  
<http://orcid.org/0000-0003-3685-1678>

### **Valdirene Aparecida da Silva**

Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento  
Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP)  
São José dos Campos, SP, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7589457380501169>  
<http://orcid.org/0000-0002-7192-3094>

**RESUMO:** Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética (MARE) tem sido amplamente estudados devido ao crescimento de poluição eletromagnética ocasionados por diversos dispositivos eletrônicos. A ferrocarbonila (FC), aditivo ferrimagnético, é uma grande promissora como um MARE devido aos seus parâmetros de permissividade e permeabilidade. O objetivo do presente trabalho é mostrar que a FC possui ressonância ferrimagnética na banda X (8,3 – 12,4 GHz). O compósito da FC aditado em resina epóxi foi feito para 4 concentrações: 30%, 40%, 50% e 60%, com 4mm de espessura, dos quais foram feitas e analisadas as medidas de refletividade e dos parâmetros complexos de cada amostra. Os resultados obtidos mostram que os compósitos apresentam bom comportamento de banda larga para a banda X, com atenuação de -11 dB, aproximadamente 93% de atenuação da onda eletromagnética incidente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Materiais absorvedores de radiação eletromagnética, Ferrocarbonila, Refletividade, Banda larga.

# INFLUENCE OF FERROCARBONYL CONCENTRATION IN RADAR ABSORBING MATERIALS

**ABSTRACT:** Radar Absorbing Materials (RAM) has been widely studied due to the growth of electromagnetic pollution caused by several electronic devices. Carbonyl iron (FC), a ferrimagnetic additive, is very promising as a RAM due to its permittivity and permeability parameters. The purpose of this work is to show that carbonyl iron has ferrimagnetic resonance in band X (8.3 - 12.4 GHz). The composite carbonyl iron was added in epoxy resin in four concentrations: 30%, 40%, 50% and 60% (w/w), with 4mm of thickness, from which the reflectivity measurements and the complex parameters of each sample were made and analyzed. The results obtained show that the composites present good broadband behavior in the X band, with an attenuation of -11 dB, approximately 93% of the attenuation of the incident electromagnetic wave.

**KEYWORDS:** Radar Absorbing Materials, Reflectivity Carbonyl iron, broadband.

## 1 | INTRODUÇÃO

A estratégia de defesa aérea ou marítima conta com dispositivos que possibilitam a detecção de um alvo, de modo a dificultar ou minimizar a sua visualização, tanto acústico, como ótico, ou por meio de radares. Com isso foram criadas técnicas apropriadas que incluem o emprego de materiais absorvedores de radiação eletromagnética (MARE) (MASLOVSKIY, 2019).

Com o grande desenvolvimento da tecnologia de radares, dispositivos eletrônicos e comunicação sem fio, os MARE tornaram-se de grande importância, pois a interferência das ondas eletromagnéticas, não só comprometem a saúde humana, mas também, pode interromper dispositivos eletromagnéticos e, também aumentar os problemas relacionados em aplicações militares (IDRIS et al, 2016).

Um material absorvedor de radiação eletromagnética (MARE) é constituído por compostos com elevada perda de energia, que absorvem a radiação da onda eletromagnética incidente em frequência sintonizadas e dissipam a energia absorvida em forma de calor, inibindo a energia necessária para o sinal de detecção por meio de radar (NOHARA; REZENDE, 2007) (SILVA; REZENDE, 2018).

Os MARE são classificados em dois tipos, os dielétricos e os magnéticos. Podemos citar como materiais utilizados para obtenção de MARE magnéticos as ferritas e a ferrocarbonila (FC) e para obtenção de dielétricos, polímeros condutores e materiais carbonosos, como grafeno e nanotubos de carbono (FOLGUEIRAS; ALVES; REZENDE, 2010) (IDRIS et al, 2016).

Para um bom desempenho, o material absorvedor depende da frequência da onda incidente e da espessura do material processado e, para que seja considerado ideal, deve satisfazer dois pré-requisitos: (i) a impedância correspondente entre o espaço livre e a superfície do material para evitar a reflexão da onda; (ii) para os materiais absorvedores

apresentarem absorção da onda eletromagnética incidente, é necessário apresentarem mecanismos de perdas dielétricas e/ou magnéticas dentro dos absorvedores (IDRIS et al, 2016) (SILVA; REZENDE, 2018).

A carga absorvedora estudada é a ferrocarbonila (FC), um aditivo ferrimagnético que contém aproximadamente 95-99% de ferro e o restante em carbono e oxigênio, sendo caracterizada pela morfologia esférica.

O objetivo principal deste estudo é mostrar que a FC possui ressonância ferrimagnética em uma faixa ampla de frequência e sua termoestabilidade, estável até 300°C, faz com que seja caracterizada como um bom material absorvedor.

## 1.1 Caracterização eletromagnética

Quando uma onda eletromagnética atinge um alvo, a radiação pode ser total ou parcialmente refletida na primeira superfície do material ou transmitida através dela. Quando a onda eletromagnética é transmitida, a energia da onda pode ser atenuada no material por absorção intrínseca e/ou reflexões múltiplas. Assim, a atenuação depende dos mecanismos de reflexão na superfície do material, da absorção da onda que viaja pelo material e das múltiplas reflexões da onda nas interfaces presentes no absorvedor. A atenuação da onda eletromagnética em um material é frequentemente indicada por perda de reflexão (RL) (SILVA; REZENDE, 2018), representadas nas equações (1), (2) e (3):

$$RL = -20 \log \left| \frac{Z_{in-1}}{Z_{in+1}} \right|, \quad (1)$$

$$\text{Onde: } Z_{in} = \sqrt{\frac{\mu' - j\mu''}{\epsilon' - j\epsilon'' - j\sigma/(\omega\epsilon_0)}} \tanh \left( jd \frac{\omega \sqrt{(\mu' - j\mu'')(\epsilon' - j\epsilon'' - j\sigma/(\omega\epsilon_0))}}{c} \right) \quad (2)$$

$$\omega = 2\pi f, \quad (3)$$

Onde:  $Z_{in}$ ,  $\mu'$ ,  $\epsilon'$ ,  $\mu''$ ,  $\epsilon''$ ,  $\epsilon_0$ ,  $\sigma$ ,  $f$ ,  $d$  e  $c$  são a impedância da onda eletromagnética incidente, a parte real da permeabilidade magnética e da permissividade elétrica; a parte imaginária da permeabilidade magnética e permissividade elétrica; a permissividade elétrica no vácuo, igual a  $8,854 \times 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$ , a condutividade elétrica, a frequência da onda eletromagnética, a espessura do corpo de prova e a velocidade da luz, igual a  $3,0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ , respectivamente.

Os parâmetros de permissividade e permeabilidade têm uma correlação direta com as características de absorção de um MARE. Seus componentes reais e imaginários permitem avaliar a dissipação de energia na forma de calor em um absorvedor de micro-ondas (SILVA, 2008).

A relação entre a atenuação da radiação eletromagnética absorvida (energia absorvida pelo material) em dB e a porcentagem é apresentada na Tabela 1 (LEE, 1991).

Atenuação da radiação (dB)	Absorção da radiação incidente (%)
0	0
-3	50
-10	90
-15	96,9
-20	99
-30	99,9
-40	99,99

Tabela 1 - Relação entre refletividade e energia absorvida

Fonte: LEE, 1991.

## 2 | METODOLOGIA

Para o estudo, foram utilizados ferrocarbonila comercial da empresa Basf Ltda e como matriz polimérica uma resina epóxi Hexion tipo Epikote<sup>TM</sup> MGS<sup>®</sup> L135.

O preparo dos MARE foi feito por dispersão da FC na matriz polimérica em concentrações de 30, 40, 50 e 60% (m/m). Os corpos de prova foram feitos em moldes de dimensões capazes de encaixar perfeitamente no guia de ondas para Banda X, 22,9 mm x 10,2 mm, com espessura de 4 mm.

A caracterização eletromagnética dos MARE obtidos foi feita pela técnica de guia de ondas, na faixa de frequência da banda X (8,2 à 12,4 GHz), com o uso de um Analisador de Redes Vetorial da marca Agilent Technologies, modelo PNA-L-N5230C, no Laboratório de Guerra Eletrônica do Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA).

## 3 | RESULTADOS

Os gráficos da Figura 1 (a) e (b) mostram, respectivamente, a refletividade e os parâmetros de permissividade e permeabilidade reais e imaginários para as frequências de 8,2 à 12,4 GHz dos MARE com 30% (m/m) de ferrocarbonila.

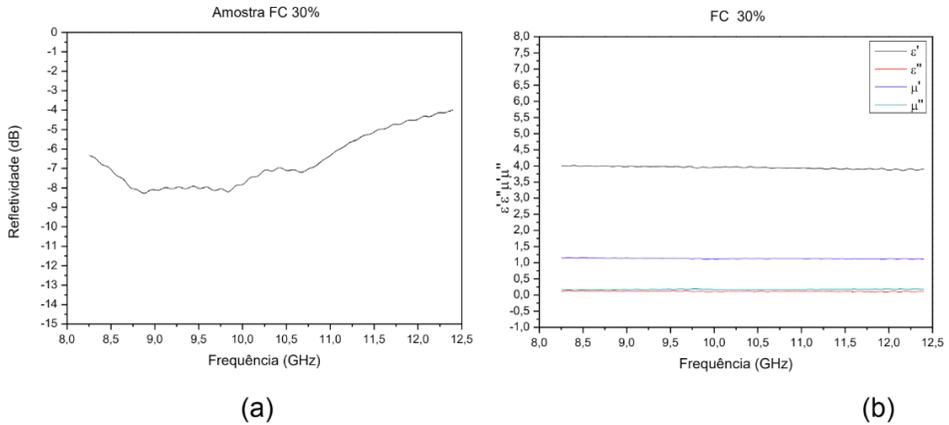


Figura 1 (a) e (b), refletividade e dos parâmetros de permissividade e permeabilidade da amostra 30%, respectivamente.

Fonte: Os Autores

Os gráficos da Figura 2 (a) e (b) mostram, respectivamente, a refletividade e os parâmetros de permissividade e permeabilidade reais e imaginários para as frequências de 8,2 à 12,4 GHz dos MARE com 40% (m/m) de ferrocarbonila.

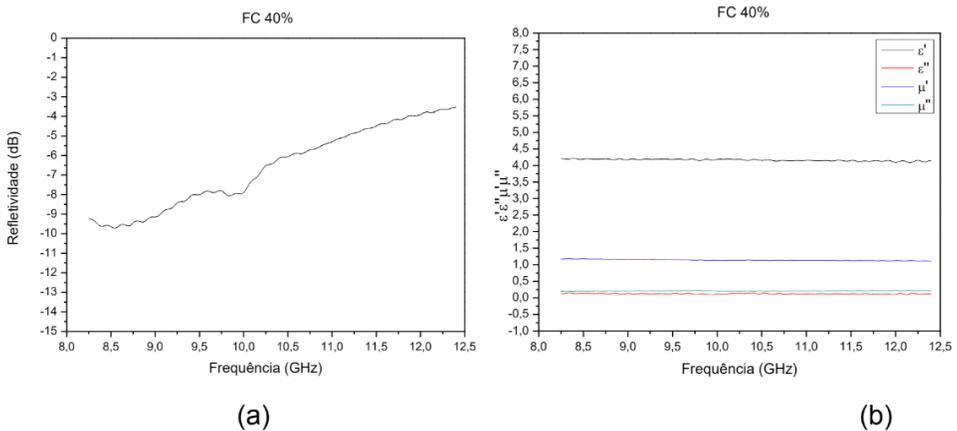


Figura 2 (a) e (b), refletividade e dos parâmetros de permissividade e permeabilidade da amostra 40%, respectivamente.

Fonte: Os Autores

Os gráficos da Figura 3 (a) e (b) mostram, respectivamente, a refletividade e os parâmetros de permissividade e permeabilidade reais e imaginários para as frequências de

8,2 à 12,4 GHz dos MARE com 50% (m/m) de ferrocarbonila.

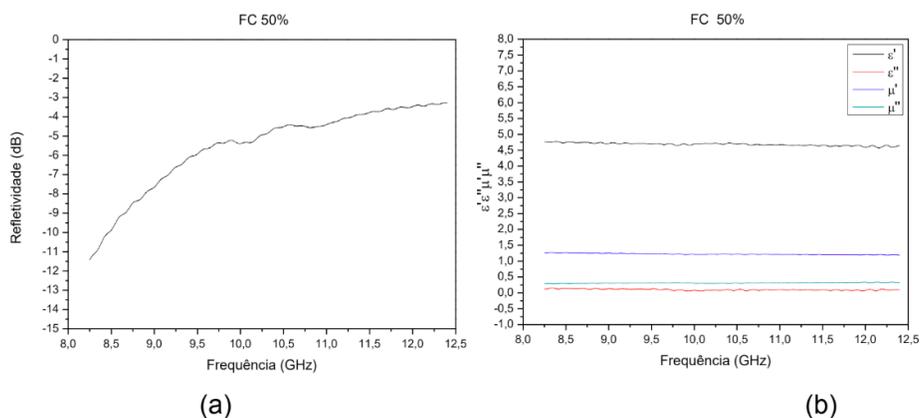


Figura 3 (a) e (b), refletividade e dos parâmetros de permissividade e permeabilidade da amostra 50%, respectivamente.

Fonte: Os Autores

Os gráficos da Figura 4 (a) e (b) mostram, respectivamente, a refletividade e os parâmetros de permissividade e permeabilidade reais e imaginários para as frequências de 8,2 à 12,4 GHz dos MARE com 60% (m/m) de ferrocarbonila.

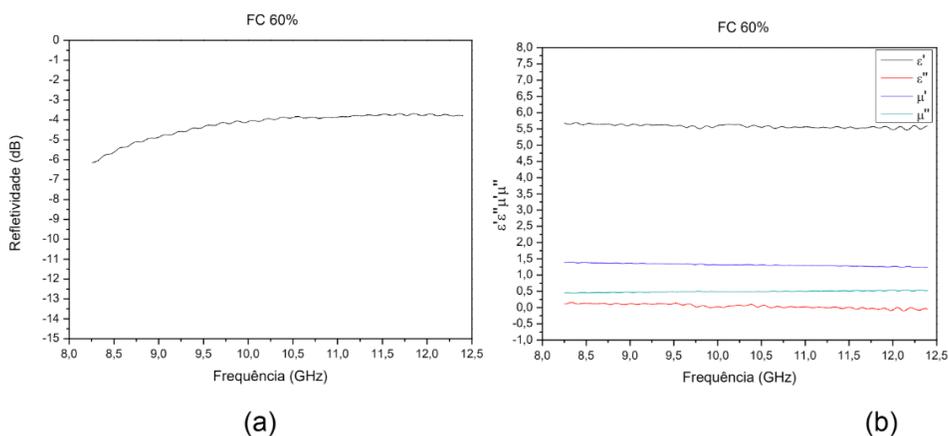


Figura 4 (a) e (b), refletividade e dos parâmetros de permissividade e permeabilidade da amostra 60%, respectivamente.

Fonte: Os Autores

A Figura 5 apresenta o gráfico da refletividade em porcentagem para os MARE com as diferentes concentrações de ferrocarbonila, 30, 40, 50 e 60 % (m/m), na faixa de frequência de 8,2 à 12,4 GHz.

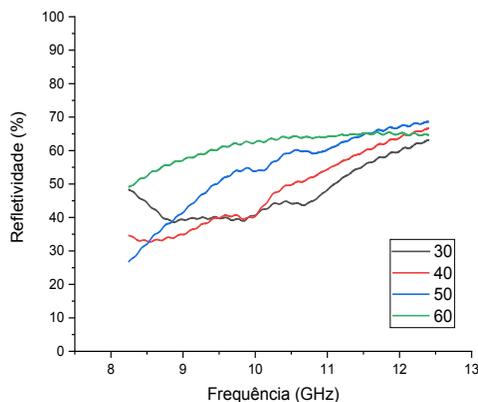


Figura 5 - Refletividade em porcentagem dos Mare obtidos nas diferentes concentrações, 30, 40, 50 e 60 % (m/m).

Fonte: Os Autores

## 4 | DISCUSSÃO

Quando uma onda eletromagnética incide em um material dielétrico, há a formação de dipolos elétricos que se alinham ao campo elétrico incidente e esse alinhamento dos dipolos está diretamente ligado à absorção de energia da onda eletromagnética. A componente real da permissividade está relacionada com o armazenamento da energia, enquanto a componente imaginária com a sua dissipação. No caso de um material magnético, a perda está associada com a variação do alinhamento e rotação dos *spins* de magnetização (FOLGUEIRAS; ALVES; REZENDE, 2010).

Na Figura 1 (a), percebe-se uma atenuação máxima na faixa de frequência de 9 à 10 GHz, apresentando um pico de aproximadamente -10dB (90% de absorção). O gráfico da Figura 1 (b) mostra os valores dos parâmetros complexos, de maneira que é possível observar que os valores de permeabilidade reais e imaginários estão em 1 e 0, respectivamente. Na Figura 2 (b), percebe-se um aumento na permissividade real, permitindo um maior armazenamento de energia, justificando o aumento da refletividade da Figura 2 (a). A partir da Figura 3, nota-se que as propriedades magnéticas do material apresentam uma maior interação com a onda eletromagnética, mostrando um aumento da permissividade real e imaginária,  $\epsilon'$  e  $\epsilon''$  (Figura 3 (b)), de modo que possibilitou maior refletividade com um

máximo de -11 dB (Figura 3 (a)).

Quando a concentração da FC aumenta para 60%, apresentado na Figura 4, nota-se um aumento das propriedades elétricas e magnéticas do absorvedor (Figura 4 (b)) devido a maior presença de FC no MARE, assim, sugere-se que tanto a propriedade elétrica quanto a magnética tiveram maior interação com a onda eletromagnética incidente.

Nota-se pelos gráficos da refletividade (a), que o aumento da concentração de FC nos MARE ocasionou um deslocamento da faixa de frequência do pico atenuado, isto é, para a concentração de 30% a atenuação máxima se dá faixa de frequência entre 9 e 10 GHz, para concentração de 40 %, de 8,5 até 9,5 GHz, enquanto para a concentração de 60%, a faixa apresenta uma tendência de atenuação em frequências mais baixas, inferior à 8 GHz.

Esse deslocamento pode ser explicado pelo aumento do armazenamento de energia do material, ou seja, pelo aumento da componente real da permissividade. Esse acúmulo de energia não foi totalmente dissipado na forma de calor, o que impediu que outras ondas eletromagnéticas de mesma frequência pudessem interagir com o material, contribuindo para reflexão dessas ondas (FOLGUEIRAS; ALVES; REZENDE, 2007). Porém, com isso a absorção do material melhorou com comportamento de banda larga, apresentando resultados que variam de valores mínimos de atenuação, -5 dB (70% absorção), em toda a faixa de frequência estudada (8,3 ~ 12,4 GHz).

Os resultados de refletividade obtidos podem ser explicados com base nas equações (1), (2) e (3), com o valor de refletividade variando em função da espessura do MARE.

A correlação entre os parâmetros complexos apresentados nos gráficos (b) das Figuras 1, 2, 3 e 4, bem como as curvas de refletividade, apresentadas nos gráficos (a) das Figuras 1, 2, 3 e 4, evidenciam que o processamento de um absorvedor é uma tarefa complexa, onde diferentes parâmetros como concentração e espessura das amostras devem ser considerados, além do comprimento de onda da radiação incidente (SILVA e REZENDE, 2018).

A Figura 5 apresenta o gráfico da energia absorvida pelo MARE em porcentagem nas diferentes concentrações estudadas. É possível verificar, que o aumento da concentração de ferrocarbonila, contribui com o aumento da absorção da onda eletromagnética.

## 5 | CONCLUSÃO

Analisando as menores concentrações da ferrocarbonila nos MARE, a refletividade apresentou picos de ressonância de 9 a 10 GHz, devido a interação com o campo elétrico da onda eletromagnética. O aumento da concentração de FC no compósito permitiu que os parâmetros magnéticos pudessem interagir com a onda, adquirindo, assim, uma melhor distribuição na faixa de frequência estudada (8,2-12,4 GHz), com uma atenuação de no mínimo -5 dB e máxima de -11,3 dB, aproximadamente 93% de atenuação.

Os parâmetros de permeabilidade real e imaginário são intrínsecos de um material e os parâmetros de permissividade real e imaginário são extrínsecos. Uma vez que os parâmetros estão em função da concentração da FC no corpo de prova e da espessura do MARE, para uma concentração específica, é possível melhorar os valores de refletividade para diferentes comprimentos ondas com diferentes espessuras.

Com uma atenuação cobrindo uma banda larga em toda a faixa de frequência, a FC apresentou um bom comportamento de absorvedor de onda eletromagnética.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Processos nº 408560/2016-9) pelo apoio financeiro e ao Eng. Newton Adriano dos Santos Gomes, do Laboratório de Guerra Eletrônica, ITA pelo auxílio nas medições eletromagnéticas.

## REFERÊNCIAS

FOLGUERAS, L. C.; ALVES, M. A.; REZENDE, M. C. Development, characterization and optimization of dielectric radar absorbent materials as flexible sheets for use at X-band. In: **2007 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference**. IEEE, 2007. p. 488-491.

FOLGUERAS, L. C.; ALVES, M. A.; REZENDE, M. C. Dielectric properties of microwave absorbing sheets produced with silicone and polyaniline. **Materials Research**, v. 13, n. 2, p. 197-201, 2010.

FOLGUERAS, L. C.; ALVES, M. A.; REZENDE, M. C. Microwave absorbing paints and sheets based on carbonyl iron and polyaniline: measurement and simulation of their properties. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v. 2, n. 1, p. 63-70, 2010.

IDRIS, F.M.et al. Recent developments of smart electromagnetic absorbers based polymer-composites at giga-hertz frequencies. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**. 405, 2016, p. 197–208.

LEE, S.M. International encyclopedial of composites. v.6, New York: VHC Publishers, 1991.

MASLOVSKIY, A.A.et al. MÉTODO DE MASCARAMENTO DE RADAR DOS OBJETOS DE EQUIPAMENTOS MILITARES BASEADOS NO SOLO. **Telecomunicações e Engenharia de Rádio**, v. 78, n. 1, 2019.

NOHARA, E. L.; REZENDE, M. C. Materiais absorvedores de radiação eletromagnética (2-40 GHz) baseados em ferrocarbonila. **Anais do**, v. 8, p. 1-3, 2007.

SILVA, V A. **Propriedades Eletromagnéticas de Absorvedores de Microondas Baseados em Hexaferritas de CaNiTi e CaCoTi e em nanoferritas de NiZn, NiCuZn e BaNiTi**. 2008. Tese de Doutorado. Tese de mestrado—Curso de Engenharia Aeronáutica e Mecânica—Área de Física e Química dos Materiais Aeroespaciais. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos.

SILVA, V. A.; REZENDE, M. C. Effect of the Morphology and Structure on the Microwave Absorbing Properties of Multiwalled Carbon Nanotube Filled Epoxy Resin Nanocomposites. **Materials Research**. v. 21 n. 5, 2018.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

ABS 7, 12, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53

Agitação 1, 2, 4, 6, 7, 8, 12, 14, 15, 20, 69, 203, 204, 207

Ângulo de inclinação 105, 106, 107, 111, 114

Anidrido maleico 33, 34, 35, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46

Aspersão térmica 54, 58, 59, 61, 62, 64, 65, 66

### B

Banda larga 87, 94, 95

Blenda PS/PCL 68

### C

Cicatrização 75, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84

Concreto 96, 97, 98, 100, 103, 104, 136, 226, 229, 230, 232, 233, 234, 235, 237, 238, 239

Construção civil 96, 97, 103

### D

Desgaste abrasivo 54, 58, 59, 60, 63, 65, 66

### E

Ensino 1, 6, 8, 10, 21, 255

### F

Feridas 75, 77, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85

Ferrocarbonila 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95

Filme fino 68

Fotodegradação UV 68

### I

Impressão 3D 1, 15

Índice de acidez 17, 18, 19, 20, 21

Índice de peróxido 17, 19, 20, 21

### M

Materiais absorvedores de radiação eletromagnética 87, 88, 95

Matlab 105, 106, 107

Mecanismo de reação 33, 35, 39

Medicina regenerativa 75, 76, 77, 78, 79, 80, 83, 84

Mistura 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 12, 15, 34, 37, 39, 41, 43, 44, 45, 46, 51, 69, 97, 99, 203, 204

Modificação química 33, 38, 39, 40, 41, 46

## **N**

Nanobiomateriais 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84

## **O**

Óleo de soja 17, 19, 21

Operação unitária 2, 23

## **P**

Painéis solares fixos 105

Polipropileno 96, 97, 99, 104

## **R**

Reciclagem 96, 97, 186, 189, 192, 194

Refletividade 87, 90, 91, 92, 93, 94, 95

Reutilização 17, 18, 19, 96, 186, 189, 191, 194

Revestimentos cerâmicos 54, 55, 56, 60, 67

## **S**

Sedimentação 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32

Separação de partículas 22, 23

Sistemas fotovoltaicos 105, 106

Suspensão 4, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 30, 32, 203, 204

## **T**

Teste de proveta 22, 23, 24

# As Engenharias agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento

[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) 

Atena  
Editora

Ano 2021

# As Engenharias agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento

[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) 

Atena  
Editora

Ano 2021