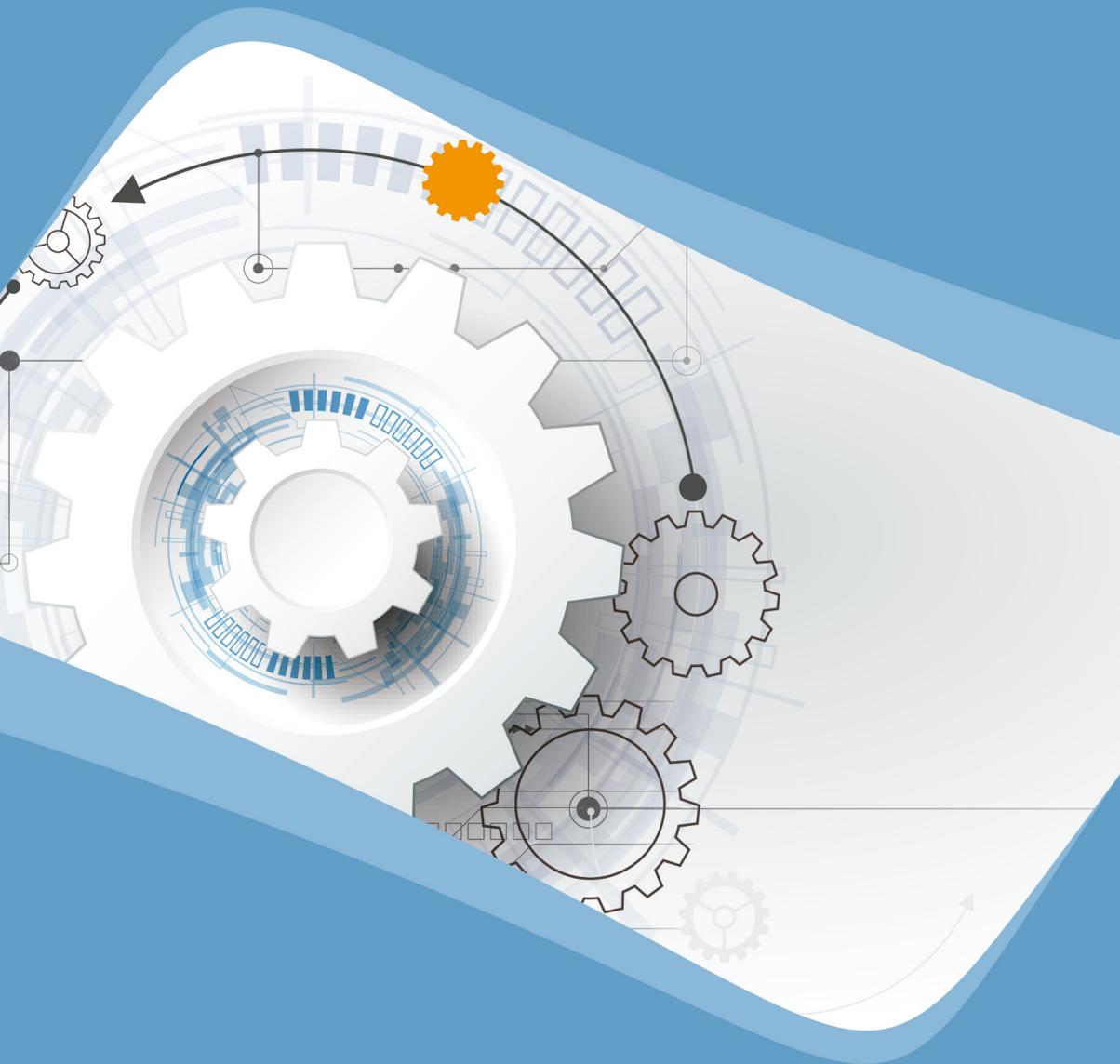


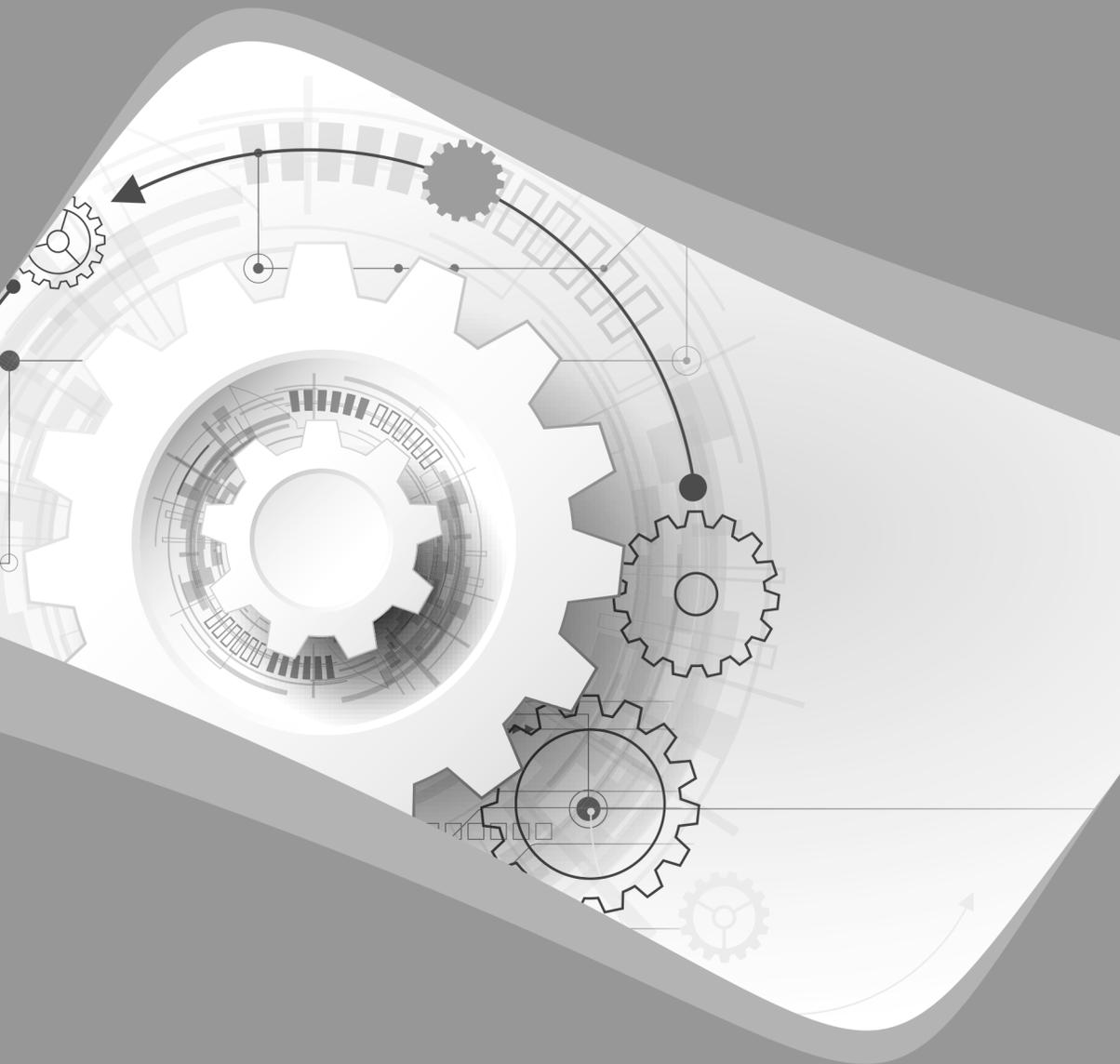
# Resultados das Pesquisas e Inovações na Área das Engenharias 3



Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

**Atena**  
Editora  
Ano 2020

# Resultados das Pesquisas e Inovações na Área das Engenharias 3



Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

**Atena**  
Editora  
Ano 2020

**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

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.

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

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de 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  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

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

## **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
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. 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  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Luiza Alves Batista  
**Correção:** Giovanna Sandrini de Azevedo  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizador:** Henrique Ajuz Holzmann

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

R436 Resultados das pesquisas e inovações na área das engenharias 3 / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2020.

Formato: PDF  
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
 Modo de acesso: World Wide Web  
 Inclui bibliografia  
 ISBN 978-65-5706-613-3  
 DOI 10.22533/at.ed.133202311

1. Engenharia. 2. Pesquisa. 3. Inovação. 4. Resultados.  
 I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. 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.

## APRESENTAÇÃO

Um dos grandes desafios enfrentados atualmente pelos engenheiros nos mais diversos ramos do conhecimento, é de saber ser multidisciplinar, aliando conceitos de diversas áreas. Hoje exige-se que os profissionais saibam transitar entres os conceitos e práticas, tendo um viés humano e técnico.

Neste sentido este livro traz capítulos ligados a teoria e prática em um caráter multidisciplinar, apresentando de maneira clara e lógica conceitos pertinentes aos profissionais das mais diversas áreas do saber.

Apresenta temas relacionados a área de engenharia mecânica e materiais, dando um viés onde se faz necessária a melhoria continua em processos, projetos e na gestão geral no setor fabril. Destaca os processos de reciclagem e sustentabilidade dentro do contexto empresarial e de resíduos gerados nos processos produtivos.

Da ênfase em alguns trabalhos voltados a prevenção de incêndios florestais através do emprego de técnicas específicas, além de realizar um levantamento econômico dos prejuízos gerados com os mesmos.

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, agradeço pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura.

Henrique Ajuz Holzmann

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE SOLIDIFICAÇÃO UNIDIRECIONAL NO COMPORTAMENTO ELÉTRICO DA LIGA CU-8,5%SN**

Ariovaldo Merlin Cipriano  
Ricardo Aparecido da Cruz  
Rogério Teram  
Maurício Silva Nascimento  
Vinícius Torres dos Santos  
Márcio Rodrigues da Silva  
Antonio Augusto Couto  
Givanildo Alves dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.1332023111**

### **CAPÍTULO 2..... 11**

#### **ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ELÉTRICO DE LIGAS DE ALUMÍNIO OBTIDAS POR SOLIDIFICAÇÃO UNIDIRECIONAL**

Jorge Athanasios Pimenidis  
Rogério Teram  
Maurício Silva Nascimento  
Vinícius Torres dos Santos  
Márcio Rodrigues da Silva  
Antonio Augusto Couto  
Givanildo Alves dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.1332023112**

### **CAPÍTULO 3..... 23**

#### **ANÁLISE MECÂNICA COMPARATIVA DE FIO ORTODÔNTICO NITI E AÇO INOXIDÁVEL**

Manoel Quirino da Silva Júnior  
Áleft Verlanger Rocha Gomes  
Francielle Cristine Pereira Gonçalves  
Dyana Alves de Oliveira  
Ricardo Alan da Silva Vieira  
Brenda Nathália Fernandes Oliveira  
Juciane Vieira de Assis  
Mariza Cláudia Pinheiro de Assis  
Bárbara Jéssica Pinto Costa  
Diogo Silva de Aguiar Nobre

**DOI 10.22533/at.ed.1332023113**

### **CAPÍTULO 4..... 34**

#### **CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE FILMES À BASE DE FÉCULA DE BATATA E AMIDO DE MILHO**

Francielle Cristine Pereira Gonçalves  
Kristy Emanuel Silva Fontes  
Mariza Cláudia Pinheiro de Assis  
Bárbara Jéssica Pinto Costa

Dyana Alves de Oliveira  
Diogo Silva de Aguiar Nobre  
Ricardo Alan da Silva Vieira  
Juciane Vieira de Assis  
Francisco Leonardo Gomes de Menezes  
Manoel Quirino da Silva Júnior  
Brenda Nathália Fernandes Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.1332023114**

**CAPÍTULO 5..... 45**

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE BIOFILMES PRODUZIDOS A PARTIR DE FÉCULA DE MANDIOCA E FÉCULA DE BATATA**

Francielle Cristine Pereira Gonçalves  
Kristy Emanuel Silva Fontes  
Mariza Cláudia Pinheiro de Assis  
Bárbara Jéssica Pinto Costa  
Dyana Alves de Oliveira  
Diogo Silva de Aguiar Nobre  
Ricardo Alan da Silva Vieira  
Juciane Vieira de Assis  
Francisco Leonardo Gomes de Menezes  
Manoel Quirino da Silva Júnior  
Brenda Nathália Fernandes Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.1332023115**

**CAPÍTULO 6..... 54**

**AVALIAÇÃO DA CURVA TENSÃO-DEFORMAÇÃO DE FIOS ORTODÔNTICOS DA LIGA NiTi COM EFM**

Manoel Quirino da Silva Júnior  
Áleft Verlanger Rocha Gomes  
Francielle Cristine Pereira Gonçalves  
Dyana Alves de Oliveira  
Ricardo Alan da Silva Vieira  
Brenda Nathália Fernandes Oliveira  
Juciane Vieira de Assis  
Mariza Cláudia Pinheiro de Assis  
Bárbara Jéssica Pinto Costa  
Diogo Silva de Aguiar Nobre

**DOI 10.22533/at.ed.1332023116**

**CAPÍTULO 7..... 65**

**METAIS, CERÂMICAS E POLÍMEROS: SUAS APLICAÇÕES COMO BIOMATERIAL**

Thaíla Gomes Moreira  
Amanda Melissa Damião Leite  
Kaline Melo de Souto Viana

**DOI 10.22533/at.ed.1332023117**

<b>CAPÍTULO 8.....</b>	<b>75</b>
<b>COMPONENTES FÍSICOS E SISTEMAS EMBARCADOS EM UM SISTEMA DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA</b>	
Paulo Henrique Tokarski Glinski	
Alex Luiz de Sousa	
Mário Ezequiel Augusto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1332023118</b>	
<b>CAPÍTULO 9.....</b>	<b>82</b>
<b>ESTUDO DO COMPORTAMENTO DO CAMPO ELÉTRICO EM ESTRUTURAS PERIÓDICAS CONSIDERANDO O EFEITO DISPERSIVO DO MATERIAL</b>	
André Ferreira Teixeira	
Moacir de Souza Júnior	
Ramon Dornelas Soares	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1332023119</b>	
<b>CAPÍTULO 10.....</b>	<b>96</b>
<b>ARIMA METHODOLOGY APPLIED TO DEVELOP A VERY SHORT-TERM WIND POWER FORECAST MODEL FOR THE PALMAS WIND FARM (BRAZIL)</b>	
Paulo Henrique Soares	
Alexandre Kolodynskie Guetter	
<b>DOI 10.22533/at.ed.13320231110</b>	
<b>CAPÍTULO 11.....</b>	<b>113</b>
<b>LOGÍSTICA REVERSA DE PNEUS INSERVÍVEIS EM MACEIÓ</b>	
Adriano Marinheiro Pompeu	
João Victor de Holanda Porto Correia	
Lara Joanna Cardoso Nunes Ferreira	
Libel Pereira da Fonseca	
Nicole Maria da Silva Romeiro	
João Marcos da Silva Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.13320231111</b>	
<b>CAPÍTULO 12.....</b>	<b>127</b>
<b>A INTEGRAÇÃO DO <i>ESPAÇO</i> COMO UM FATOR DE RISCO PSICOSSOCIAL NO TRABALHO: AVALIAÇÃO E INTERVENÇÃO</b>	
Carla Nunes de Carvalho Peixoto de Barros	
Luís Manuel Moreira Pinto de Faria	
<b>DOI 10.22533/at.ed.13320231112</b>	
<b>CAPÍTULO 13.....</b>	<b>138</b>
<b>REDIRECIONAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS: PERSPECTIVAS, DESAFIOS E LEGADOS DA COMPOSTAGEM EM PRÁTICAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA</b>	
Rui Pedro Cordeiro Abreu de Oliveira	
Carlos de Araújo de Farrapeira Neto	
Iury de Melo Venâncio	
Camila Santiago Martins Bernardini	

Fernando José Araújo da Silva  
Leonardo Schramm Feitosa  
Ana Vitória Gadelha Freitas  
Ingrid Katelyn Costa Barroso  
Gerson Breno Constantino de Sousa  
André Luís Oliveira Cavaleiro de Macêdo  
Enio Giuliano Girão  
Raquel Jucá de Moraes Sales

**DOI 10.22533/at.ed.13320231113**

**CAPÍTULO 14..... 151**

**CONTRIBUTO PARA ESTUDO DA ASPROCIVIL, DE NATUREZA SOCIOECONÓMICA, NO ÂMBITO DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS: ANÁLISE AOS PLANOS SETORIAIS COM INCIDÊNCIA TERRITORIAL (PSIT)**

João Rodrigues dos Santos  
Ricardo Tojal Ribeiro  
Alexandra Santos Domingos

**DOI 10.22533/at.ed.13320231114**

**CAPÍTULO 15..... 168**

**ESTUDO SOCIOECONÓMICO DA ASPROCIVIL NO ÂMBITO DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS EM PORTUGAL: ANÁLISE AOS PLANOS ESPECIAIS DE ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO (PEOT)**

João Rodrigues dos Santos  
Ricardo Tojal Ribeiro  
Alexandra Santos Domingos

**DOI 10.22533/at.ed.13320231115**

**CAPÍTULO 16..... 179**

**PLANEAMENTO NACIONAL DE DEFESA DA FLORESTA CONTRA INCÊNDIOS (PNPOT): CONTRIBUTO PARA ESTUDO DA ASPROCIVIL, DE NATUREZA SOCIOECONÓMICA, NO ÂMBITO DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS**

João Rodrigues dos Santos  
Ricardo Tojal Ribeiro  
Alexandra Santos Domingos

**DOI 10.22533/at.ed.13320231116**

**CAPÍTULO 17..... 190**

**MEDIDAS PROTETIVAS EM PROPRIEDADE INTELECTUAL DOS VINHOS PRODUZIDOS NA REGIÃO DEMARCADA DO DOURO/PORTUGAL**

Fátima Regina Zan  
Rosângela Oliveira Soares  
Carmen Regina Dorneles Nogueira  
Manuel Luís Tibério  
Jonas Pedro Fabris  
Suzana Leitão Russo

**DOI 10.22533/at.ed.13320231117**

<b>CAPÍTULO 18.....</b>	<b>200</b>
<b>GERAÇÃO DE PLANTAS DE VALORES GENÉRICOS COM APLICAÇÃO DE REGRESSÃO GEOGRAFICAMENTE PONDERADA</b>	
Carlos Augusto Zilli	
Luiz Fernando Palin Droubi	
Murilo Damian Ribeiro	
Norberto Hochheim	
<b>DOI 10.22533/at.ed.13320231118</b>	
<b>CAPÍTULO 19.....</b>	<b>226</b>
<b>AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO SENSORIAL DE ALUNOS DE GRADUAÇÃO EM NUTRIÇÃO</b>	
Maria Fabrícia Beserra Gonçalves	
Ana Karine de Oliveira Soares	
Regilda Saraiva dos Reis Moreira-Araújo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.13320231119</b>	
<b>CAPÍTULO 20.....</b>	<b>231</b>
<b>ESTRATÉGIA DE CONVERSÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR NATALENSE EM GATILHO DE CONSTRUÇÃO DAS CIDADES INTELIGENTES</b>	
Allan David Silva da Costa	
Pollianna Torres dos Santos Medeiros da Silva	
Silvania de Souza Araújo	
Zulmara Virginia de Carvalho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.13320231120</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>241</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>242</b>

# CAPÍTULO 6

## AVALIAÇÃO DA CURVA TENSÃO-DEFORMAÇÃO DE FIOS ORTODÔNTICOS DA LIGA NITI COM EFM

Data de aceite: 01/12/2020

### **Manoel Quirino da Silva Júnior**

Universidade Federal Rural do Semi-Árido –  
UFERSA  
Mossoró – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/0442576277649249>

### **Áleft Verlanger Rocha Gomes**

Universidade Federal Rural do Semi-Árido –  
UFERSA  
Mossoró – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/6746912480900237>

### **Francielle Cristine Pereira Gonçalves**

Universidade Federal Rural do Semi-Árido –  
UFERSA  
Mossoró – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/5554547181776481>

### **Dyana Alves de Oliveira**

Universidade Federal Rural do Semi-Árido –  
UFERSA  
Mossoró – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/1596824210042761>

### **Ricardo Alan da Silva Vieira**

Universidade Federal Rural do Semi-Árido –  
UFERSA  
Mossoró – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/1002913847003255>

### **Brenda Nathália Fernandes Oliveira**

Universidade Federal Rural do Semi-Árido –  
UFERSA  
Mossoró – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/2772853721186171>

### **Juciane Vieira de Assis**

Universidade Federal Rural do Semi-Árido –  
UFERSA  
Mossoró – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/6453039303697433>

### **Mariza Cláudia Pinheiro de Assis**

Universidade Federal Rural do Semi-Árido –  
UFERSA  
Mossoró, Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/3427294252115931>

### **Bárbara Jéssica Pinto Costa**

Universidade Federal Rural do Semi-Árido –  
UFERSA  
Mossoró, Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/2011653107939973>

### **Diogo Silva de Aguiar Nobre**

Universidade Federal Rural do Semi-Árido –  
UFERSA  
Mossoró, Rio Grande do Norte

**RESUMO:** Tendo em vista que as ligas do sistema NiTi aplicadas em fios ortodônticos reduzem eficazmente o tempo para tratamentos dentários com uso de aparelhos ortodônticos, assim como proporciona um menor desconforto ao paciente, o presente trabalho tem o intuito de estudar o comportamento da curva tensão-deformação de fios da liga NiTi passível do efeito memória de forma submetidos a ensaio de tração e ciclagem termomecânica. Os fios ortodônticos intraorais superelásticos foram submetidos a ensaios de tração estáticos e cíclicos de carga e descarga com temperatura variada por meio de um soprador térmico. Foi constatado por

meio da análise das curvas obtidas nos ensaios de tração que as tensões aplicadas são contínuas, exibindo grandes deformações elásticas, o que permite um maior ajuste do fio em relação aos braquetes, sem variação da tensão. Por meio da análise das curvas obtidas pelos ensaios de ciclagem termomecânica, pode-se constatar o efeito da superelasticidade, no qual o fio recupera a sua forma original, apesar de ter sido submetido a vários ensaios de carregamento e descarregamento, o que permite uma maior deflexão do fio, sem que ocorram deformações permanentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ligas NiTi, Efeito memória de forma e Superelasticidade

## EVALUATION OF THE STRESS-STRAIN CURVE WIRE ORTHODONTIC SMA NITI

**ABSTRACT:** Considering that the NiTi alloys system applied in orthodontic wires effectively reduce the time for dental treatments with the use of orthodontic appliances, as well as providing less discomfort to the patient, this study aims to study the behavior of the stress-strain curve wire alloy NiTi liable memory effect so subjected to tensile test and thermomechanical cycling. The superelastic intraoral orthodontic wires were subjected to static and cyclic tensile loading and unloading varied with temperature by means of a heat gun. It was found through the analysis of the curves obtained in tensile tests show that the applied voltages are continuous, exhibiting large elastic deformation, allowing a greater adjustment of the wire in relation to the brackets without varying the voltage. Through the analysis of the curves obtained by thermomechanical cycling tests, it can be seen the effect of superelasticity, in which the wire recovers its original shape despite being subjected to various tests loading and unloading, which allows a greater yarn deflection without permanent deformation occurring.

**KEYWORDS:** NiTi alloys, Shape memory alloy and superelasticity.

## 1 | INTRODUÇÃO

O estudo dos materiais inteligentes têm se intensificado devido às suas propriedades extraordinárias que são utilizados nos sensores e atuadores das chamadas estruturas inteligentes. Alguns dos materiais mais utilizados são as ligas com efeito memória de forma, os quais têm a capacidade de retornar a forma original após serem deformados e, em seguida, submetidos a determinadas temperaturas ou tensões.

De acordo com Silva Júnior (2010), a tensão aplicada pode ser de qualquer tipo: tração, compressão, torção, etc., desde que esteja abaixo de um valor crítico (sem deformação plástica). Para que o material apresente o efeito memória de forma é necessário, primeiramente, que ocorra uma transformação martensítica, na qual o material é deformado e, em seguida, quando aquecido, adquire a capacidade de retornar a sua forma original.

As ligas do sistema NiTi pertencem a esse grupo particular de ligas metálicas chamadas de ligas com memória de forma (LMF), sendo que elas possuem excelentes propriedades físicas e mecânicas, assim como ótima biocompatibilidade, o que permite

o vasto uso na medicina, como em instrumentações médicas, cateteres e aparelhos ortodônticos, tanto nos fios como nos braquetes.

Na liga NiTi com efeito memória de forma duas diferentes estruturas cristalinas chamadas martensítica (de baixa temperatura) e austenítica (de alta temperatura) (OTSUKA, WAYMAN, 1998). A superelasticidade das ligas de níquel-titânio utilizadas em ortodontia é atribuída à transformação austenita-martensita, iniciando com o carregamento do fio, possuindo uma maior porção de fase austenita se transformando em martensita, à medida que é aumentada a deformação. Após a remoção da carga, esses fios tenderão a retornar à sua configuração original, ocorrendo a transformação reversa martensita-austenita, com liberação da energia acumulada de forma suave e constante (FIGUEIREDO, 2006).

As ligas do sistema NiTi aplicadas em fios ortodônticos reduzem eficazmente o tempo para tratamentos dentários com uso de aparelhos ortodônticos, assim como proporciona um menor desconforto ao paciente, visto que as forças aplicadas são suaves e contínuas, exibindo grandes deformações elásticas que estão relacionadas à transformação martensítica que ocorre em sua microestrutura.

As propriedades das ligas EMF têm sido muito bem implementadas nas variadas aplicações ortodônticas. Arcos Ortodônticos de nitinol vêm sendo utilizados desde a década de 1970, sendo mais efetivos que outros materiais alternativos (LAGOUDAS, 2008).

Os fios ortodônticos de NiTi são indicados, preferencialmente, nas fases iniciais do tratamento, onde o elevado desajuste dental requer um fio ortodôntico de grande flexibilidade e elasticidade, a fim de que haja grandes deformações no regime elástico (FERREIRA, 2002).

A partir de 1985, uma nova geração de fios NiTi chegou ao mercado, os chamados fios superelásticos representados pelo NiTi chinês, NiTi japonês e o NiTi com cobre. Esses fios superelásticos apresentam algumas vantagens em relação aos tradicionais, tais como: geram forças mais leves e mais constantes, são mais resistentes às deformações permanentes, possuem maior flexibilidade e apresentam maior eficiência clínica, isto é, movem o dente mais rapidamente e com um menor número de ativações ou trocas de arco (FERREIRA, 2002).

Com isso, no presente trabalho será realizado com intuito de estudar o comportamento da curva tensão-deformação de fios da liga NiTi passível do efeito memória de forma submetidos a ensaios de tração e ciclagem termomecânica

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização deste trabalho, foram realizados ensaios de tração e ciclagem termomecânica com ensaios de carga e descarga com temperatura variada por meio de um soprador térmico no Laboratório de Ensaios Mecânicos da UFERSA. Os materiais, parâmetros e procedimentos utilizados na realização dos ensaios estão dispostos a seguir:

- Os corpos de prova utilizados foram fios ortodônticos intraorais superelásticos, comprados no comércio local com ajuda de um profissional da área. Os fios utilizados são da marca Dental Morelli Ltda, do tipo superelásticos na forma de arco, com secção transversal de 0,021" (0,53 mm) x 0,025" (0,63 mm).
- A máquina de ensaios utilizada é uma Máquina Universal de Ensaios, modelo DL10000 da EMIC, com capacidade 100kN e software TESC para aquisição de dados, com os seguintes parâmetros de ensaio: ciclo carga/descarga, célula de carga de 30kN, velocidade de ensaio de 0,05mm/s.
- Foram realizados ensaios cíclicos a temperatura ambiente (aproximadamente 25° C) e até rompimento; ensaios cíclicos e até rompimento numa temperatura acima da  $A_p$ , com auxílio de um soprador térmico (temperatura máxima de 104°C); e ensaios cíclicos com aquecimento apenas no carregamento e aquecimento apenas no descarregamento ambos utilizando o soprador térmico.
- Foram realizadas análises de Calorímetro Exploratório Diferencial (DSC) com taxa de aquecimento de +10°C/min e resfriamento de -10°C/min para mensurar as temperaturas de transformação dos fios utilizados.
- Para medição de temperatura, foi utilizado um termômetro de vidro (fluido mercúrio) escala -10/+150°C com variação de 1°C.

### 3 I RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura. 1, está mostrada a análise de DSC dos fios utilizados. Essa análise é necessária para identificar as temperaturas de transformação.

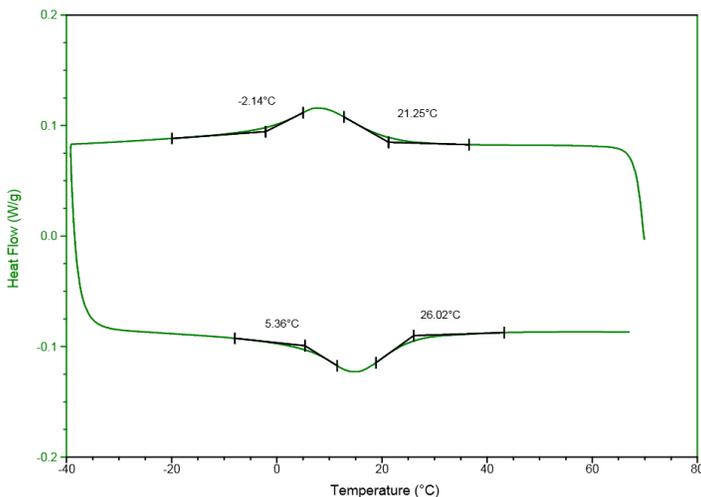


Figura 1 – Curva DSC do fio de NiTi à temperatura ambiente.

Fonte: Autoria própria (2015)

Com base na Figura. 1, podemos mensurar as temperaturas de transformação com os seguintes valores:  $A_s = 5,36^\circ\text{C}$ ,  $A_f = 26,02^\circ\text{C}$ ,  $M_s = 21,25^\circ\text{C}$  e  $M_f = -2,14^\circ\text{C}$ . Com base nesses valores, será possível definir, de forma mais clara, o comportamento das curvas de tensão-deformação da liga em estudo.

As curvas exibidas na Figura. 2 são provenientes dos ensaios que ocorreram a uma temperatura de aproximadamente  $25^\circ\text{C}$  e com aquecimento promovido pelo soprador térmico.

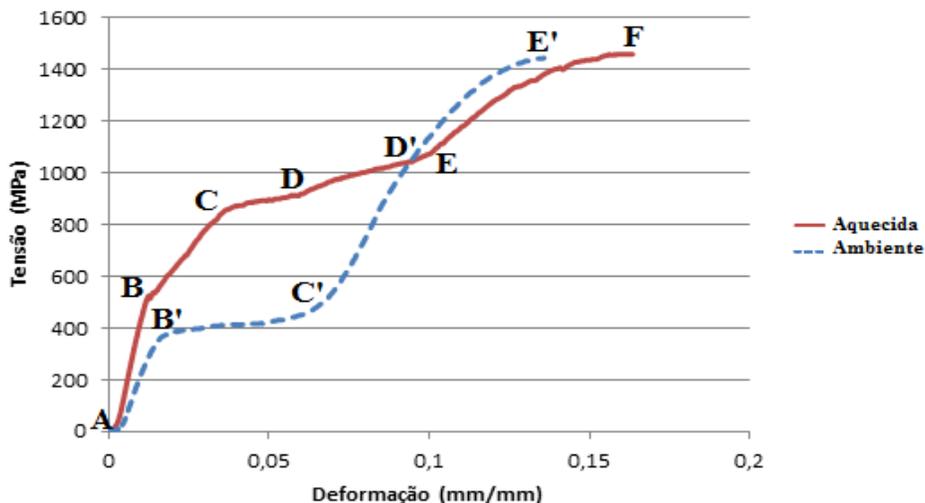


Figura 2 – Curvas tensão-deformação resultantes dos ensaios de tração do fio de NiTi à temperatura ambiente e aquecido pelo soprador térmico.

Fonte: Autoria própria (2015)

O ponto A indica material sem carregamento. Para a curva com aquecimento, com uma temperatura de aproximadamente  $90^\circ\text{C}$  (temperatura no momento do ensaio), o material está totalmente austenítico, no qual permanece durante o trecho A-B, sendo que neste intervalo de deformação, a tensão causa apenas deformações elásticas na austenita. A partir do ponto B, a tensão (530 MPa) é suficiente para iniciar a transformação da MIT. Contudo, a tensão não é suficientemente grande para que o material passe totalmente do estado austenítico para o martensítico indicado no trecho B-C. Neste, possivelmente as duas fases coexistem com predominância da fase austenita. No ponto C, a tensão (850 MPa) atinge um nível em que a temperatura não é suficientemente alta para impedir a indução da transformação martensítica no restante do material, que ocorre no trecho C-D de inclinação relativamente pequena indicando deformação com tensão quase constante. A partir do ponto D, possivelmente o material está totalmente martensítico, ocorrendo

um rearranjo das variantes da MIT e o principal mecanismo de deformação é a distorção elástica da martensita desgeminada, seguindo até o ponto E, no qual é atingido um nível de tensão suficiente para que se inicie a deformação plástica da martensita. A uma tensão de aproximadamente 1460 MPa inicia-se uma região de inclinação relativamente pequena, indicativo da estrição, na curva e a continuidade da deformação resulta na ruptura do corpo de prova (ponto F). (SHAW, KYRIADES, 1995 apud FIGUEIREDO, 2006)

Para a curva sem aquecimento, a fase é predominantemente austenítica no ponto A com presença da fase martensita. No decorrer do trecho A-B, a tensão causa apenas deformações elásticas na austenita. A partir do ponto B, a tensão (380 MPa) é suficientemente grande para iniciar a nucleação da MIT. Observa-se que a mudança da fase austenita para a martensita resulta em um alongamento e que a fração volumétrica de martensita aumenta sob tensão aproximadamente constante (platô B'-C'). Possivelmente, nesse trecho as duas fases coexistem e ocorre um rearranjo das variantes da MIT. A partir do ponto C', um aumento na deformação requer um aumento na tensão. Inicialmente, o mecanismo principal de deformação é possivelmente a distorção elástica da martensita desgeminada, seguindo até o ponto D', no qual é atingido um nível de tensão suficiente para que se inicie a deformação plástica da martensita. E na tensão de aproximadamente 1445 MPa inicia-se uma região de inclinação relativamente pequena na curva, onde deve iniciar a estrição, e a continuidade da deformação resulta na ruptura do corpo de prova (ponto E'). Indicando que apesar de condições de temperaturas diferentes o material apresenta um limite de resistência (antes da estrição) similar, com variação na deformação final.

Na Figura. 3 estão mostradas as curvas obtidas por meio dos ensaios cíclicos à temperatura ambiente.

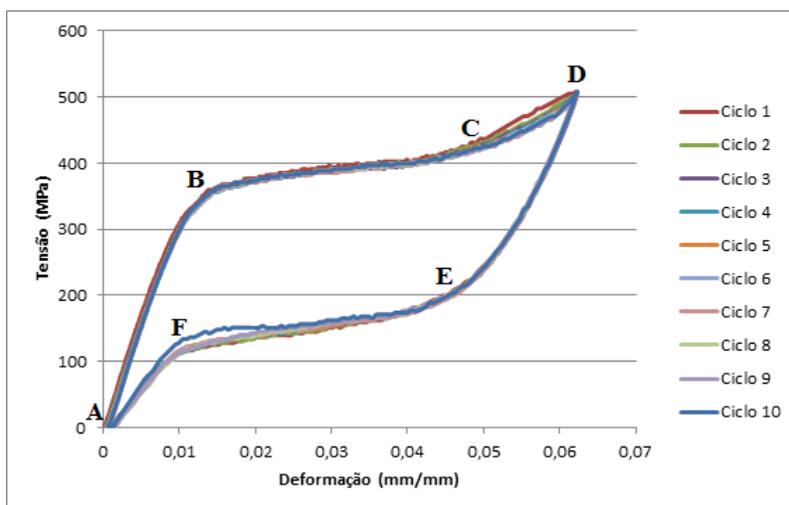


Figura 3 – Curvas tensão-deformação resultantes dos ensaios de carga e descarga do fio de NiTi à temperatura ambiente.

Fonte: Autoria própria (2015)

A temperatura medida durante a realização dos ensaios que resultaram nas curvas da Figura. 3, foi de aproximadamente 25°C. O material está inicialmente no estado predominantemente austenítico e no decorrer do trecho A-B sofre somente deformações elásticas da austenita. A partir do ponto B, a tensão (380 MPa) é suficientemente grande para iniciar a nucleação da MIT promovendo uma deformação a tensão constante (platô B-C). As duas fases, possivelmente, coexistem neste trecho e ocorre um rearranjo das variantes da MIT. A partir do ponto C até o ponto D, o principal mecanismo de deformação é provavelmente a distorção elástica da martensita desgeminada. A partir do ponto D, ocorre um descarregamento. No trecho D-E, há a predominância da martensita desgeminada, obtendo a recuperação da distorção elástica da martensita transformada até atingir a tensão de 200 Mpa. E a partir da descarga da tensão de um valor crítico (ponto E), o material passa a transformar-se de volta em austenita. Essa transformação reversa resulta em um novo platô de tensão (E-F), no qual possivelmente coexistem martensita e austenita. Nesse trecho, ocorre um encurtamento do corpo de prova. No ponto F, o material retorna à fase austenítica e o descarregamento posterior segue o trajeto F-A. Pode-se observar que o fio recupera a sua forma original, apesar de ter sido submetido a vários ensaios de carregamento e descarregamento, indicando estabilidade termomecânica. (HODGSON et al., 1999 apud FIGUEIREDO, 2006; GONZALES, 2002)

As curvas mostradas na Figura. 4 são provenientes de ensaios cíclicos que ocorreram a uma temperatura de aproximadamente 90°C no carregamento, e com descarregamento à temperatura ambiente. O material, que está inicialmente no estado austenítico, permanece assim durante o trecho A-B e sofre apenas deformações elásticas na austenita. A partir do ponto B, apesar da temperatura estar elevada, a tensão (450 MPa) é suficientemente grande para iniciar a nucleação da MIT. Contudo, verifica-se uma maior dificuldade para que ocorra totalmente a transformação da fase austenita para a martensita, devido a temperatura elevada, sendo isso observado pela inclinação relativamente maior no trecho B-C. As duas fases, possivelmente, coexistem neste trecho. A partir do ponto C até o ponto D, o principal mecanismo de deformação é provavelmente a distorção elástica da martensita desgeminada. A partir do ponto D ocorre um descarregamento. No trecho D-E, há a predominância da martensita desgeminada, obtendo a recuperação da distorção elástica da martensita transformada até uma tensão de 380 Mpa. A transformação reversa ocorre no trecho do platô E-F, no qual ocorre um encurtamento do corpo de prova até o ponto F, onde material retorna à fase austenítica e o descarregamento subsequente segue o trajeto F-A. Pode-se observar que o fio recupera a sua forma original, apesar de ter sido submetido a vários ensaios de carregamento e descarregamento.

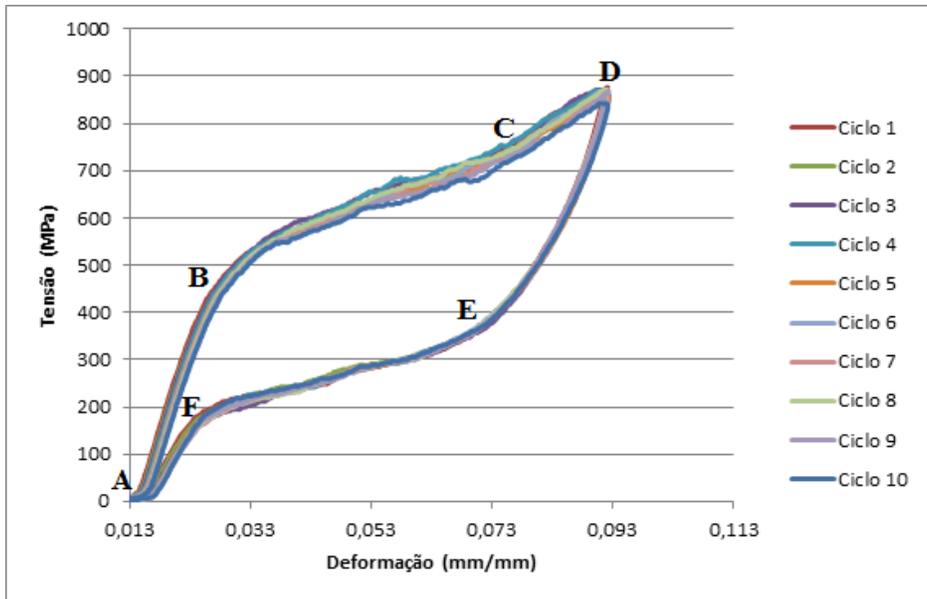


Figura 4 - Curvas tensão-deformação resultantes dos ensaios de carregamento a uma temperatura acima da  $A_f$  e descarga a temperatura ambiente do fio de NiTi.

Fonte: Autoria própria (2015)

Os ensaios que resultaram nas curvas mostradas na Figura. 5 foram realizados à temperatura ambiente no carregamento e a uma temperatura de aproximadamente  $90^\circ\text{C}$  no descarregamento. Do ponto A ao ponto D, é apresentado o mesmo comportamento descrito anteriormente para o fio ensaiado à temperatura de  $25^\circ\text{C}$ , mostrado na Figura. 4. E a partir do ponto D, ocorre um descarregamento aquecido à temperatura acima de  $A_f$ , induzindo a uma porção de transformação reversa, instantaneamente, no decorrer do intervalo D-E. Com o aquecimento, a transformação reversa para a fase austenita é iniciada durante o trecho do platô E-F, onde é observada uma menor faixa de deformação com pouca variação de tensão. No trecho F-G, o material finaliza a transformação reversa retornando à fase austenítica de forma mais rápida indicado por uma maior inclinação da curva de descarregamento. Retornando ao Ponto A com a forma original recuperada, apresentando uma ótima estabilidade apesar de ter sido submetido a vários ensaios de carregamento e descarregamento.

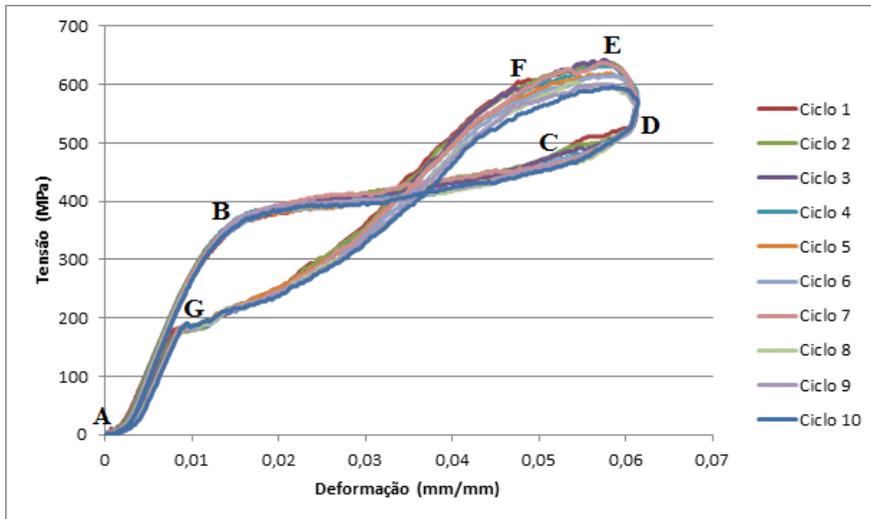


Figura 5 - Curvas tensão-deformação resultantes dos ensaios de carga e descarga do fio de NiTi a uma temperatura acima da Af no descarregamento.

Fonte: Autoria própria (2015)

Na Figura. 6, estão apresentadas as curvas provenientes de um ensaio cíclico que ocorreu a uma temperatura Af durante todo o ensaio de carga/descarga.

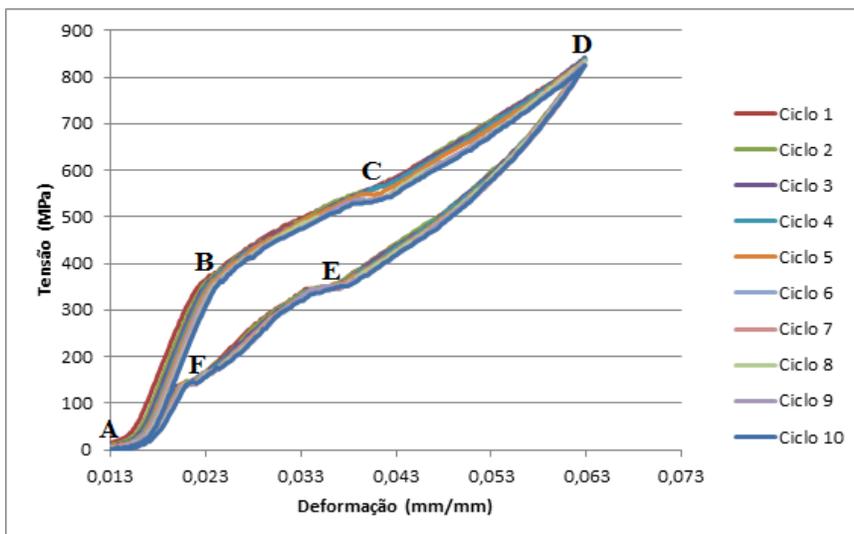


Figura 6 - Curvas tensão-deformação resultantes dos ensaios de carga e descarga do fio de NiTi a uma temperatura Af durante todo o ensaio.

Fonte: Autoria própria (2015)

Entre os pontos de A a D o material apresenta um comportamento similar ao descrito na Figura. 4. A partir do ponto D, há um descarregamento com uma inclinação acentuada no qual a fração volumétrica da austenita aumenta na transformação reversa até o ponto E, e no trecho E-F, ocorre um aumento da inclinação da curva indicando uma maior rapidez na transformação reversa (menor deformação e maior variação de tensão). E, por fim, no ponto F, o material está totalmente austenítico ocorrendo o descarregamento elástico, subsequente, no trecho F-A com alta estabilidade no decorrer dos vários ensaios de carregamento e descarregamento.

## 4 | CONCLUSÕES

Por meio dos ensaios de tração e ciclagem termomecânica realizados nos fios de NiTi, pode-se concluir que:

- Apesar das condições de temperatura nos ensaios de tração serem distintas para os dois fios – o que promove um comportamento diferente da curva durante a transformação de fases – ambos apresentam um limite de resistência similar, sendo 1460 MPa e 1445 MPa para os fios ensaiados a 90°C e 25°C, respectivamente. Essa semelhança permite a aplicação desse material em diferentes temperaturas sem que haja comprometimento no limite de resistência.
- No ensaio de tração realizado a 25°C, as tensões aplicadas são contínuas durante a mudança da fase austenita para a martensita, exibindo grandes deformações elásticas, o que permite um maior ajuste do fio em relação aos braquetes sem variação da tensão.
- Nos ensaios de ciclagem termomecânica, apesar de os fios serem submetidos a vários ensaios de carregamento e descarregamento, observa-se que eles recuperam totalmente a sua forma original após o descarregamento, indicando estabilidade termomecânica. Isso permite uma maior deflexão do fio, sem que ocorram deformações permanentes.

## AGRADECIMENTOS

Os devidos agradecimentos a UFERSA.

## REFERÊNCIAS

ANTUNES SOUZA, A. C. R. **Características Estruturais e Propriedades Mecânicas de Fios Ortodônticos de Níquel-Titânio**. 2006. 158f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

FERREIRA, F. V. **Ortodontia: Diagnóstico e planejamento clínico**. 5.ed. São Paulo: Artes Médicas, 2002. p.361-398.

FIGUEIREDO, A. M. G. **Caracterização da fadiga mecânica de baixo ciclo em ligas superelásticas de NiTi**. 2006. 210f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

GONZALES, C. H. **Etude des comportements electro-thermomécaniques et de la stabilization martensitique d'alliages monocristallins à mémoire de forme base cuive**. Tese de doutorado – L'Institut National Dês Sciences Appliquees de Lyon, França. 2002. 178p.

HODGSON, D. E.; WU, M. H.; BIERMANN, R. J. **Shape memory alloy**. ASM Handbook, v.2. 1992. p. 887-902.

LAGOUDAS, D. C. **Shape Memory Alloys: Modeling and Engineering Applications**. USA: Springer. 2008. 435p.

OTSUKA, K.; WAYMAN, C. M. **Shape Memory Materials**. Reino Unido: Cambridge University Press. 1998. 284p.

SILVA JÚNIOR, M. Q. **Estudo da liga Cu-11,8Al-XBe-0,3Ti (X = 0,5; 0,6; 0,7) processadas termomecanicamente**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - UFPB, João Pessoa. 2010. 98p.

SOUZA, Marcos Motta de. **Caracterização de uma liga com efeito memória de forma**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005. 113p.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Acuidade Sensorial 226, 228, 229

Alumínio 3, 10, 11, 12, 13, 14, 20, 21, 22, 228

Análise Sensorial 226, 227, 228, 229, 230

Aplicações 9, 11, 12, 13, 20, 21, 23, 29, 31, 34, 56, 65, 66, 68, 72, 74, 111

Arquitetura 69, 127, 134, 135

Asprocivil 151, 168, 169, 179

### B

Biomateriais 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74

### C

Carga 16, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 36, 38, 39, 48, 54, 56, 57, 59, 62, 78, 79, 83

Compostagem 138, 139, 140, 141, 142, 144, 145, 146, 147, 148, 149

Condutividade Elétrica 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 16, 18, 19, 20

Contrafações 190, 193, 197, 198

### D

Desenvolvimento Local 113, 114, 115, 124, 126

Dispersão Dielétrica 82

Drones 75, 76, 80, 81

### E

Econometria Espacial 200

Economia Imobiliária 200

Embarcados 75, 77, 78, 79, 80

Espaço 3, 32, 76, 81, 112, 113, 127, 134, 135, 136, 141, 143, 144, 145, 147, 148, 157, 188, 197, 202, 205, 228

### F

Fios Ortodônticos 24, 25, 31, 32, 33, 54, 56, 57, 63

### G

GWR 200, 201, 202, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224

## **I**

Incêndio 115, 151, 157, 161, 162, 163, 168, 170, 173, 176, 179, 180, 183, 184, 185, 186

Inovação 75, 76, 80, 81, 199

## **L**

Laboratórios 139, 141, 143, 145, 147, 148

Liga 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 31, 32, 54, 56, 58, 64

## **M**

Macroestrutura 11, 19

Meio Ambiente 35, 46, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 120, 123, 124, 125, 126, 140, 149

Memória de Forma 23, 25, 32, 33, 54, 55, 56, 64

## **P**

PEOT 168, 169, 170, 171, 172, 176

Permissividade Elétrica 82, 83, 84, 85, 86, 87, 89, 94

Planta 160, 161, 162, 173, 175, 200, 203, 221, 222, 223, 225

Pneus 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126

Prevenção 151, 152, 153, 157, 158, 159, 160, 164, 165, 166, 168, 169, 170, 172, 174, 175, 176, 179, 180, 181, 183, 185, 187, 189

Propriedade Intelectual 190, 193, 198, 199

PVG 200, 201, 203, 209, 220, 221, 222, 223, 224

## **R**

Regressão 200, 202, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 211, 212, 214, 215, 216, 217, 219, 220, 221, 224, 225

Resíduos 114, 115, 117, 118, 125, 126, 138, 139, 140, 141, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 202, 212, 214

Resistividade 1, 3, 4, 5, 11, 14, 16, 17, 18, 20

Riscos 127, 128, 129, 134, 135, 136, 137, 141, 151, 152, 153, 157, 158, 164, 165, 166, 169, 170, 172, 176, 179, 180, 187

RPAS 75, 76, 77, 80

Rugosidade 67

## **S**

Saúde 45, 65, 66, 114, 117, 120, 127, 128, 129, 130, 131, 133, 134, 135, 137, 138, 140, 149, 152, 154, 155, 157, 158

Seleção de Assessores 226

Solidificação 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 19, 20, 21, 22

Superelasticidade 23, 24, 25, 32, 33, 55, 56

Sustentabilidade 78, 113, 115, 124, 126, 139, 164, 189

## **T**

Tecnologia 1, 9, 10, 11, 21, 43, 65, 73, 75, 76, 78, 80, 81, 125, 127, 241

Trabalho 1, 2, 11, 12, 14, 15, 18, 24, 25, 32, 35, 37, 39, 40, 45, 47, 54, 56, 65, 76, 82, 83, 97, 113, 115, 123, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 141, 147, 148, 151, 168, 179, 186, 188, 193, 202, 207, 208, 211, 213, 217, 218, 222, 223, 224, 226, 228

Tração 15, 24, 25, 26, 27, 28, 35, 37, 38, 39, 40, 42, 46, 47, 49, 50, 51, 54, 55, 56, 58, 63

# Resultados das Pesquisas e Inovações na Área das Engenharias 3

[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 3

[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) 