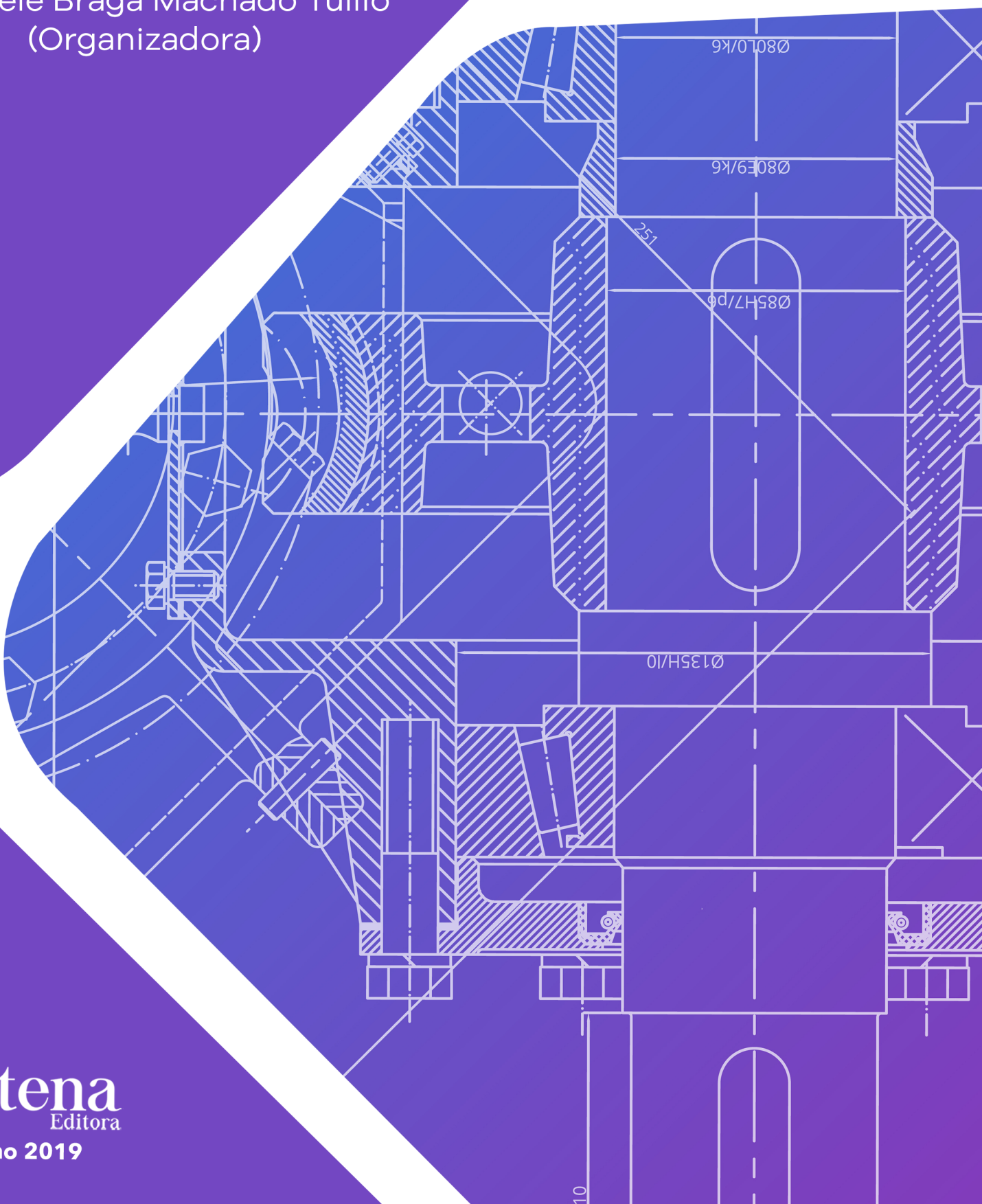


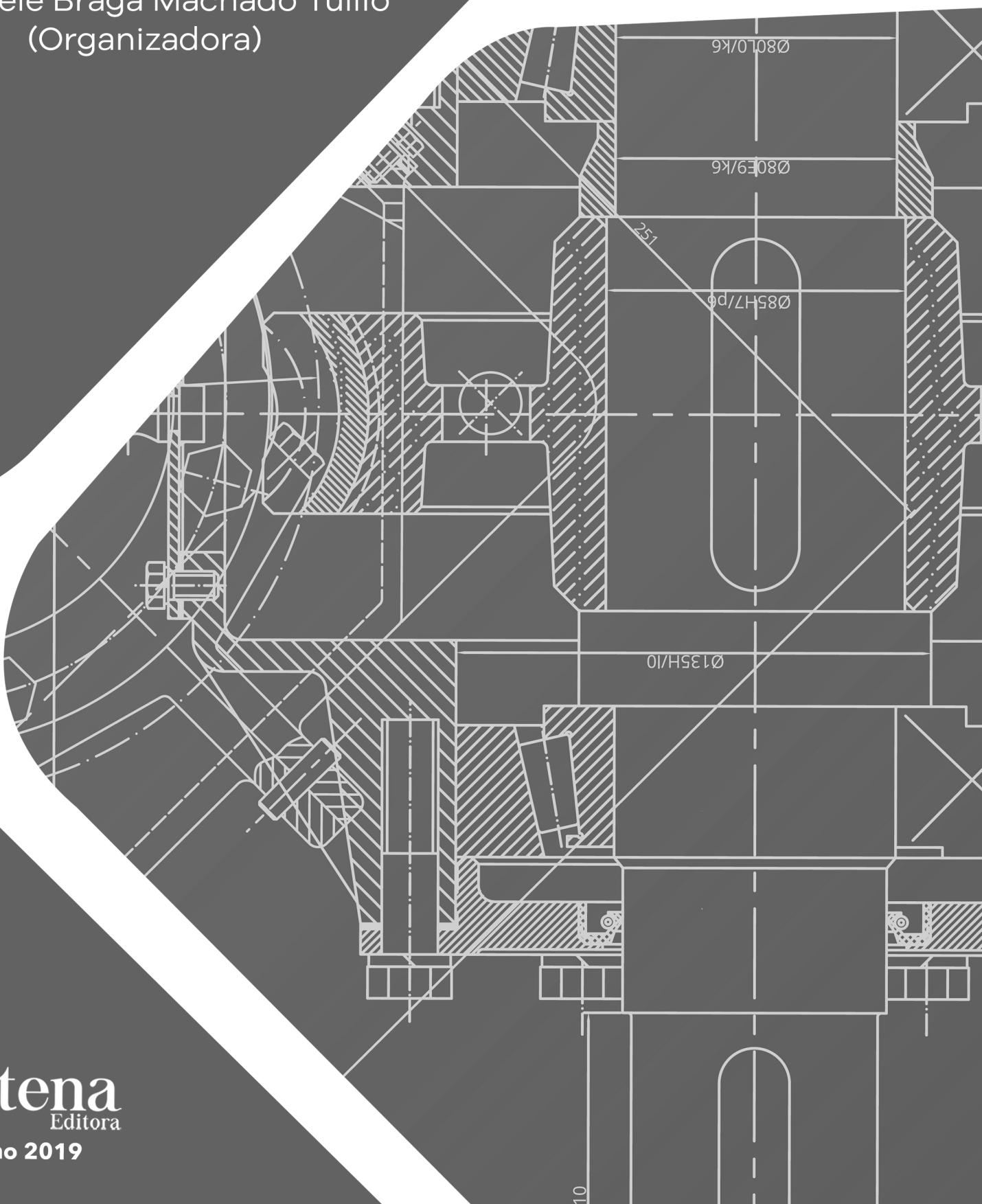
# Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias 2

Franciele Braga Machado Tullio  
(Organizadora)



# Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias 2

Franciele Braga Machado Tullio  
(Organizadora)



2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação:** Geraldo Alves

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

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

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

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. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

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 Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

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

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

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. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

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

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
 Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
 Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
 Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
 Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
 Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
 Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
 Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá  
 Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

P474 Pesquisa científica e inovação tecnológica nas engenharias 2 [recurso eletrônico] / Organizadora Franciele Braga Machado Tullio. – Ponta Grossa PR: Atena Editora, 2019. – (Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias; v. 2)

Formato: PDF  
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
 Modo de acesso: World Wide Web  
 Inclui bibliografia  
 ISBN 978-85-7247-903-5  
 DOI 10.22533/at.ed.035200601

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovações tecnológicas.  
 3. Tecnologia. I. Tullio, Franciele Braga Machado. II. Série.

CDD 658.5

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior | CRB6/2422**

Atena Editora  
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A obra “Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias 2” contempla vinte e quatro capítulos em que os autores abordam pesquisas científicas e inovações tecnológicas aplicadas nas diversas áreas de engenharia.

Inovações tecnológicas são promovidas através dos resultados obtidos de pesquisas científicas, e visam permitir melhorias a sociedade através de seu uso nas engenharias.

A utilização racional de energia, consiste em utilizar de forma eficiente a energia para se obter determinado resultado. O estudo sobre novas fontes de energia, e o seu comportamento podem trazer benefícios ao meio ambiente e trazer progresso a diversos setores.

A aplicação de novas tecnologias pode permitir avanços em diversas áreas, como saúde, construção, meio ambiente, proporcionando melhorias na qualidade de vida de diversas comunidades.

Diante do exposto, almejamos que o leitor faça uso das pesquisas aqui apresentadas, permitindo uma reflexão sobre seu uso na promoção de desenvolvimento social e tecnológico.

Franciele Braga Machado Tullio

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
EVOLUÇÃO DA SEGURANÇA NO TRABALHO PARA A ATIVIDADE DO SETOR ELÉTRICO	
Humberto Rodrigues Macedo Valci Ferreira Victor Kaisson Teodoro de Souza Paulo Henrique Martins Gonçalves	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0352006011</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>10</b>
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA: LEGISLAÇÃO REGULATÓRIA E BENEFÍCIOS AOS CONSUMIDORES PELA COMPENSAÇÃO DE ENERGIA	
Neide Alves Dalla Vecchia Ruan Michel Alves Dalla Vecchia	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0352006012</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>20</b>
HIDROENERGIA: ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE UMA TURBINA FRANCIS PARA APROVEITAMENTO HIDRELÉTRICO EM PCHS	
Cristine Machado Schwanke Ingrid Augusto Caneca da Silva Vanessa Silva Goulart Suélen Mena Meneses Nathália Dias Imthon Matheus Henrique Baesso Joyce Alves Silva Cruz Ethan Ribas Pereira Perez Matheus Felicio Palmeira dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0352006013</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>34</b>
MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DE PEDIDOS DE PATENTES RELACIONADOS À UTILIZAÇÃO DAS MICROALGAS	
Kamila Cavalcante dos Santos Jéssica Guimarães Lopes Andréia Alves Costa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0352006014</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>43</b>
ESTUDO DE AÇÕES PARA A REDUÇÃO DOS CUSTOS DO FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA GRANDES CONSUMIDORES	
Valci Ferreira Victor Humberto Rodrigues Macedo Adail Pereira Carvalho Lucas Cardoso da Silva Pitágoras Rodrigues de Melo Sobrinho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0352006015</b>	

**CAPÍTULO 6 ..... 53**

PROPOSTA DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO E DESPACHO DE MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NO CONCEITO DE CENTRAIS VIRTUAIS DE ENERGIA

Rodrigo Regis de Almeida Galvão  
Thiago José Lippo de França  
Breno Carneiro Pinheiro  
Luis Thiago Lucio

**DOI 10.22533/at.ed.0352006016**

**CAPÍTULO 7 ..... 67**

PROTEÇÃO TÉRMICA CONTRA ARCOS ELÉTRICOS: UM ESTUDO DE CASO COM UMA SUBESTAÇÃO DE 13,8 KV

Herick Talles Queiroz Lemos  
Humberto Dionísio de Andrade  
Matheus Emanuel Tavares Sousa  
Adriano Aron Freitas de Moura  
Ednardo Pereira da Rocha  
Ailson Pereira de Moura

**DOI 10.22533/at.ed.0352006017**

**CAPÍTULO 8 ..... 81**

VEÍCULOS ELÉTRICOS E A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA PARTIR DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Jardel Eugenio da Silva  
Fabianna Tonin  
Jair Urbanetz Junior

**DOI 10.22533/at.ed.0352006018**

**CAPÍTULO 9 ..... 92**

ANÁLISE DA CURVA E FATOR DE CARGA COM E SEM PRESENÇA DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Murilo Miceno Frigo  
Roberto Pereira de Paiva e Silva Filho

**DOI 10.22533/at.ed.0352006019**

**CAPÍTULO 10 ..... 101**

ANÁLISE DE VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DE LASER SCANNER TERRESTRE EM MINERAÇÃO DE CALCÁRIO

Caio Cesar Vivian Guedes Oliveira  
Luis Eduardo de Souza  
Luciana Arnt Abichequer

**DOI 10.22533/at.ed.03520060110**

**CAPÍTULO 11 ..... 114**

APLICAÇÃO DA PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA NO ESTUDO DE CASO DA PALMILHA SENSORIZADA PARA PÉS DIABÉTICOS

Luciana Maria de Oliveira Cortinhas  
Leonara Gonçalves e Silva Pires  
Anna Patrícia Teixeira Barbosa  
Jeane Souza Chaves Sidou



Camila Alves Areda  
Paulo Gustavo Barboni Dantas Nascimento  
Rafael Leite Pinto de Andrade

**DOI 10.22533/at.ed.03520060111**

**CAPÍTULO 12 ..... 127**

**AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO E REPETIBILIDADE DO SENSOR LEAP MOTION  
CONTROLLER PARA A SUA UTILIZAÇÃO EM REABILITAÇÃO VIRTUAL**

Marcus Romano Salles Bernardes de Souza  
Eduardo Apolinário Lopes  
Rogério Sales Gonçalves

**DOI 10.22533/at.ed.03520060112**

**CAPÍTULO 13 ..... 134**

**ESTUDO PROSPECTIVO DE ÁCIDO LÁTICO PRODUZIDO POR LEVEDURAS EM  
GLICEROL BRUTO**

Leandro Rodrigues Doroteu  
Fabrício de Andrade Raymundo  
Rogerio de Jesus Camargo Emidio  
Marcilene Cordeiro Gomes  
Camila Alves Areda  
Eliana Fortes Gris  
Grace Ferreira Ghesti  
Paulo Gustavo Barboni Dantas Nascimento  
Nadia Skorupa Parachin  
Eduardo Antônio Ferreira

**DOI 10.22533/at.ed.03520060113**

**CAPÍTULO 14 ..... 146**

**MOUSE AUXILIAR DISTRIBUIDOR DE CARGA DE TRABALHO NA INTERAÇÃO COM  
UM COMPUTADOR PESSOAL PARA DUAS MÃOS**

Fabrício de Andrade Raymundo  
Marcelo Borges de Andrade  
Marcus Vinícius Lopes Bezerra  
Marina Couto Giordano de Oliveira  
Sânia Léa Alves Rocha Lopes  
Adriana Regina Martin  
Paulo Gustavo Barboni Dantas Nascimento

**DOI 10.22533/at.ed.03520060114**

**CAPÍTULO 15 ..... 163**

**ÓXIDOS MISTOS A BASE DE  $\text{TIO}_2/\text{ZNO}$  APLICADOS NA DEGRADAÇÃO  
FOTOCATALÍTICA DA ATRAZINA**

Gabriel Maschio de Souza  
Gabriela Nascimento da Silva  
Luiz Mário de Matos Jorge  
Onélia Aparecida Andreo dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.03520060115**

<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>172</b>
PARADIGMAS TECNOLÓGICOS E REGIMES DE APROPRIABILIDADE: O CASO DA INDÚSTRIA FONOGRÁFICA NA ERA DIGITAL	
Sheila de Souza Corrêa de Melo Edoardo Sigaud Gonzales Natália Bonela de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.03520060116</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>183</b>
UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS AND AIRSPACE INTERFACES	
Omar Daniel Martins Netto Maria Emília Baltazar Jorge Miguel dos Reis Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.03520060117</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>201</b>
UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE INTELIGÊNCIA COMPETITIVA PARA DELINEAR ESTRATÉGIAS DE POSICIONAMENTO DE MERCADO DE EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS DE MONITORAMENTO	
Janaina dos Santos Melo Maria Fernanda Mascarenhas dos Santos Melis Levi dos Santos Sandra Malveira Grace Ferreira Ghesti Paulo Gustavo Barboni Dantas Nascimento	
<b>DOI 10.22533/at.ed.03520060118</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>213</b>
ANALISE COMPUTACIONAL DE VIGAS RETANGULARES DE CONCRETO ARMADO REFORÇADA AO CISALHAMENTO COM PRFC	
Maicon de Freitas Arcine Nara Villanova Menon	
<b>DOI 10.22533/at.ed.03520060119</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>228</b>
ANÁLISE COMPARATIVA DE TÉCNICAS DE INTERPOLAÇÃO APLICADAS À ANÁLISE DE POLUIÇÃO ELETROMAGNÉTICA	
Talles Amomy Alves de Santana Humberto Dionísio de Andrade Herick Talles Queiroz Lemos Matheus Emanuel Tavares Sousa Adriano Aron Freitas de Moura Ednardo Pereira da Rocha	
<b>DOI 10.22533/at.ed.03520060120</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>241</b>
ANÁLISE CRÍTICA E PROPOSIÇÕES DE INOVAÇÃO AO MÉTODO DE ENSAIO DE AÇÃO DE CALOR E CHOQUE TERMICO À LUZ DA ABNT NBR 15575 (2013)	
Luciani Somensi Lorenzi Luiz Carlos Pinto da Silva Filho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.03520060121</b>	

<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>254</b>
ESTUDO NUMÉRICO BIDIMENSIONAL DO EFEITO DA PRESENÇA DE UM TUMOR NO CAMPO DE TEMPERATURA DE UMA MAMA	
José Ricardo Ferreira Oliveira	
Vinicius Soares Medeiros	
Jefferson Gomes do Nascimento	
Alisson Augusto Azevedo Figueiredo	
Gilmar Guimarães	
<b>DOI 10.22533/at.ed.03520060122</b>	
<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>261</b>
AMBIENTE DE PROJETO DE HARDWARE E SOFTWARE INTEGRADOS PARA APRENDIZADO E ENGENHARIA DE SISTEMAS COMPUTACIONAIS	
Edson Lisboa Barbosa	
Lucas Fontes Cartaxo	
Cícero Samuel Rodrigues Mendes	
Guilherme Álvaro Rodrigues Maia Esmeraldo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.03520060123</b>	
<b>CAPÍTULO 24</b> .....	<b>273</b>
UMA PROPOSTA PRÁTICA DE MANUFATURA DE CONCRETO QUE PERPASSA DISCUSSÕES SOBRE SUSTENTABILIDADE E PENSAMENTO CRÍTICO	
Alaor Valério Filho	
Ânderson Martins Pereira	
Carlos Alfredo Barcellos Bellinaso	
Daniela Giffoni Marques	
<b>DOI 10.22533/at.ed.03520060124</b>	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA</b> .....	<b>281</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>282</b>

## ESTUDO NUMÉRICO BIDIMENSIONAL DO EFEITO DA PRESENÇA DE UM TUMOR NO CAMPO DE TEMPERATURA DE UMA MAMA

Data de aceite: 26/11/2019

### José Ricardo Ferreira Oliveira

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica  
Uberlândia – Minas Gerais

### Vinicius Soares Medeiros

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica  
Uberlândia – Minas Gerais

### Jefferson Gomes do Nascimento

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica  
Uberlândia – Minas Gerais

### Alisson Augusto Azevedo Figueiredo

Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Engenharia Mecânica  
Ouro Preto – Minas Gerais

### Gilmar Guimarães

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica  
Uberlândia – Minas Gerais

**RESUMO:** O câncer de mama é o tipo de câncer com a maior frequência de diagnósticos e também a principal causa de morte por câncer entre mulheres, na grande maioria dos países. Técnicas como mamografia, ressonância magnética e ultrassom, empregadas para detecção desta doença não

possuem altas sensibilidades e especificidades, especialmente em mamas com tecido denso. A termografia infravermelha de mama é uma técnica adjunta de rastreamento que tem sido associada à detecção de sinais precoces de tumores em mamas. Através deste trabalho os autores visam analisar numericamente o comportamento térmico superficial de uma geometria hemisférica, semelhante a uma mama, mediante alterações na posição, geração metabólica e perfusão sanguínea de um tumor maligno.

**PALAVRAS-CHAVE:** Câncer de Mama, Campo de Temperatura, Termografia Infravermelha.

### BIDIMENSIONAL NUMERICAL STUDY OF THE EFFECT OF A TUMOR PRESENCE IN A BREAST TEMPERATURE FIELD

**ABSTRACT:** Breast cancer is the most frequently diagnosed type of cancer and also the leading cause of cancer death among women in the vast majority of countries. Techniques such as mammography, magnetic resonance imaging and ultrasound employed to detect this disease do not have high sensitivities and specificities, especially in dense tissue breasts. Infrared breast thermography is an adjunct screening technique that has been linked to the detection of early signs of breast tumors. Through this work, the authors aim to numerically analyze the

superficial thermal behavior of a breast-like hemispherical geometry through changes in position, metabolic generation and blood perfusion of a malignant tumor.

**KEYWORDS:** Breast Cancer, Temperature Field, Infrared Thermography.

## 1 | INTRODUÇÃO

Câncer é um termo usado para um grupo de distúrbios associados ao crescimento celular anormal. Essas células anormais têm o potencial de se espalhar para outras partes do corpo (Gonzalez-Hernandez et al., 2019). O câncer de mama é o tipo de câncer que apresenta a maior frequência de diagnósticos entre mulheres na grande maioria dos países e é também a principal causa de morte por câncer entre mulheres (Bray et al., 2018). Segundo Kandlikar et al. (2017), o câncer de mama pode se originar em qualquer parte da mama, onde mais de 20 tipos de câncer podem ser identificados, sendo o carcinoma ductal e o carcinoma lobular os tipos mais comuns.

Segundo Gonzalez-Hernandez et al. (2019), há uma variedade de técnicas disponíveis para detectar o câncer de mama, como mamografia, ressonância magnética e ultrassom. No entanto, as sensibilidades e especificidades dessas técnicas não são tão altas, especialmente em mamas com tecido denso. A termografia infravermelha de mama é uma técnica adjunta de rastreamento que tem sido associada à detecção de sinais precoces de câncer de mama. No entanto, seu sucesso foi limitado. A termografia infravermelha dinâmica foi introduzida para melhorar a detecção do câncer de mama e reduzir as taxas de falso positivo e falso negativo.

A metodologia utilizada por Menegaz e Guimarães (2019) consistiu em uma analogia entre sistemas térmicos e sistemas dinâmicos para a detecção de inclusões, alterando a impedância desses sistemas. O procedimento proposto foi validado experimentalmente em materiais hiperplásicos com geometria simples. O método da impedância térmica mostrou sensibilidade para tamanhos de inclusão pequenos, demonstrando a capacidade de detectar tumores mamários precoces.

Os autores, por meio deste trabalho, têm como objetivo analisar numericamente o comportamento térmico superficial de uma geometria hemisférica, semelhante a uma mama, levando em conta a posição, geração metabólica e perfusão sanguínea de um tumor maligno.

## 2 | MODELO MATEMÁTICO

Pennes (1948) propôs uma expressão matemática, conhecida como Equação

da Biotransferência de Calor, que representa o balanço energético dentro dos tecidos biológicos vivos através da interação da perfusão e metabolismo do sangue. O problema de Biotransferência de Calor, considerando um tumor numa mama, é representado pela Eq. 1, que é o modelo de Pennes com uma mudança de variável apresentada pela Eq. 2. As condições de contorno e inicial são apresentadas pelas Eq. 3 - 7. A solução de campo de temperatura, considerando as Eq. 8 e 9, é dado pela Eq. 10, em termos das Funções de Green.

$$k\nabla^2\theta + w_s\rho_s c_s\theta + Q_m + Q_p = \rho c \frac{\partial\theta}{\partial t} \quad (1)$$

$$\theta(x, y = 0, z, 0) = T_a - T_\infty = \theta_a \quad (2)$$

$$k \frac{\partial\theta}{\partial x} \Big|_{x=0} = -h_1\theta; \quad k \frac{\partial\theta}{\partial x} \Big|_{x=a} = h_2\theta \quad (3)$$

$$k \frac{\partial\theta}{\partial y} \Big|_{y=0} = q_0(t); \quad k \frac{\partial\theta}{\partial y} \Big|_{y=b} = -h_3\theta \quad (4)$$

$$-k \frac{\partial\theta}{\partial z} \Big|_{z=0} = -h_5\theta \quad (5)$$

$$-k \frac{\partial\theta}{\partial z} \Big|_{z=v} = -h_6\theta \quad (6)$$

$$\theta(x, y, z, 0) = \theta_a \quad (7)$$

$$u^2\theta = \frac{\omega_s\rho_s c_s}{k} \theta \quad (8)$$

$$\theta(r, t) = W(r, t) \times e^{-u^2\alpha t} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} W(x, y, z, t) = & W_0 + \frac{\alpha}{k} \int_0^t \int_0^a \int_0^b \int_0^c H_1(t - \tau) Q(\tau) \times e^{u^2\alpha\tau} dx' dy' dz' d\tau + \\ & + \frac{\alpha}{k} \int_0^t \int_0^a \int_0^b H_2(t - \tau) q_0(\tau) \times e^{u^2\alpha\tau} dx' dz' d\tau \\ & + \alpha \int_0^t \int_0^a \int_0^b H_3(t - \tau) \theta_a \times e^{u^2\alpha\tau} dx' dy' dz' d\tau \end{aligned} \quad (10)$$

Onde  $k$  e  $\alpha$  são, respectivamente, a condutividade térmica ( $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ) e a difusividade térmica do tecido humano ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ );  $w_s$ ,  $\rho_s$  e  $c_s$  são, respectivamente, a perfusão ( $\text{s}^{-1}$ ), a densidade ( $\text{Kg m}^{-3}$ ) e o calor específico ( $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ) do sangue;  $T$  é

temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ );  $\theta$  e  $W$  são mudanças de variável de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_{\infty}$  e  $T_a$  são, respectivamente a temperatura do meio ( $^{\circ}\text{C}$ ) e a temperatura da superfície do tecido humano ( $^{\circ}\text{C}$ );  $Q_m$  é a geração metabólica do tecido humano ( $\text{W m}^{-3}$ );  $Q_p$  ( $\text{W m}^{-3}$ ) é a geração metabólica adicional devido à presença do tumor;  $\rho$  e  $c$  são a densidade ( $\text{kg m}^{-3}$ ) e o calor específico ( $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ) do tecido humano, respectivamente;  $t$  e  $\tau$  são as variáveis de tempo (s);  $x$ ,  $y$  e  $z$  são coordenadas cartesianas (m);  $h_{1-6}$  são os coeficientes de transferência de calor por convecção ( $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ );  $H_{1-3}$  são as funções transferência;  $q_o$  é o fluxo de calor ( $\text{W m}^{-2}$ ).

### 3 | RESULTADOS

Foi realizada uma análise numérica bidimensional do campo térmico de uma mama após aplicação de um fluxo de calor, considerando os casos com e sem tumor. O estudo foi feito com auxílio do software COMSOL. A geometria adotada foi hemisférica, devido à semelhança com o formato anatômico de uma mama. Adotou-se um raio  $r = 72 \text{ mm}$ . O diâmetro do tumor foi considerado  $d = 10 \text{ mm}$ . A profundidade do centro do tumor foi de  $y = 32 \text{ mm}$ , conforme sistema coordenado adotado. A malha utilizada no estudo inicial possui 842 elementos, sendo realizado um maior refinamento na região onde o tumor está localizado.

A Figura 1a apresenta o sistema físico do problema no tempo  $t = 0$ . Na base da mama, há uma temperatura prescrita  $T = 37^{\circ}\text{C}$ . Ao longo da curvatura é considerada uma condição de contorno convectiva, com  $h = 10 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  e temperatura externa  $T_{\infty} = 20^{\circ}\text{C}$ . A temperatura inicial da mama é  $T_0 = 37^{\circ}\text{C}$  (quando entra em contato com o ambiente externo, ou seja,  $t = 0$ ). Propriedades como perfusão sanguínea, geração de calor metabólica, condutividade térmica, densidade e calor específico do tecido mamário sadio e do tumor, bem como as propriedades termofísicas do sangue, foram consideradas de acordo com Figueiredo et al. (2018).

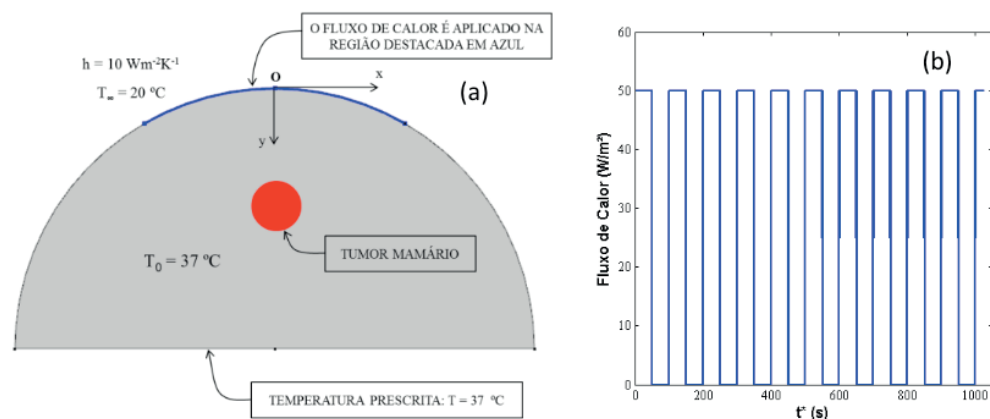


Figura 1 - (a) Sistema Físico; (b) Fluxo de Calor.

A partir de um instante  $t^* = 0 \text{ s}$ , no qual o sistema físico atinge o regime

estacionário com o ambiente, um fluxo de calor periódico com onda quadrada é aplicado durante 1023 s, conforme Fig. 1b. O fluxo de calor foi aplicado na parte externa central da mama, com um comprimento de arco  $\gamma = (\pi/3)$  rad. As Figuras 2a e 2b mostram o campo 2D da temperatura da mama no referido tempo  $t^* = 0^{\circ}\text{s}$ , para casos com e sem a presença de um tumor, respectivamente. As Figuras 3a e 3b mostram o campo de temperatura 2D da mama após a aplicação do fluxo de calor.

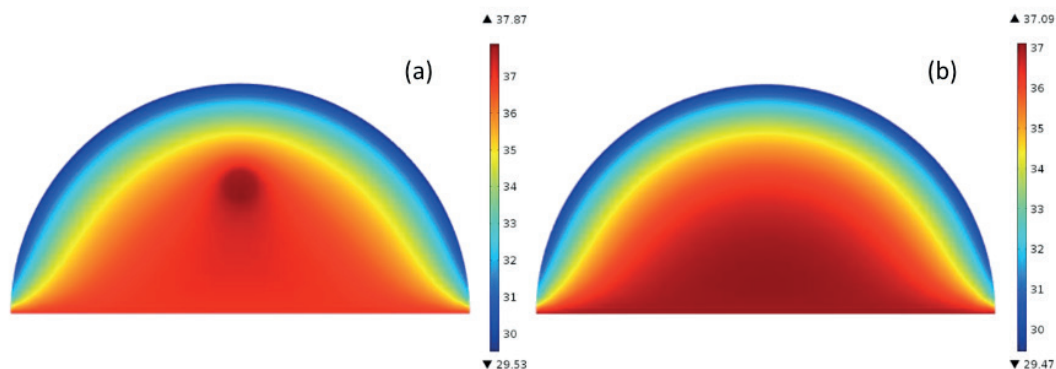


Figura 2 - Mama em regime permanente (antes da aplicação do fluxo de calor): (a) Com tumor; (b) sem tumor.

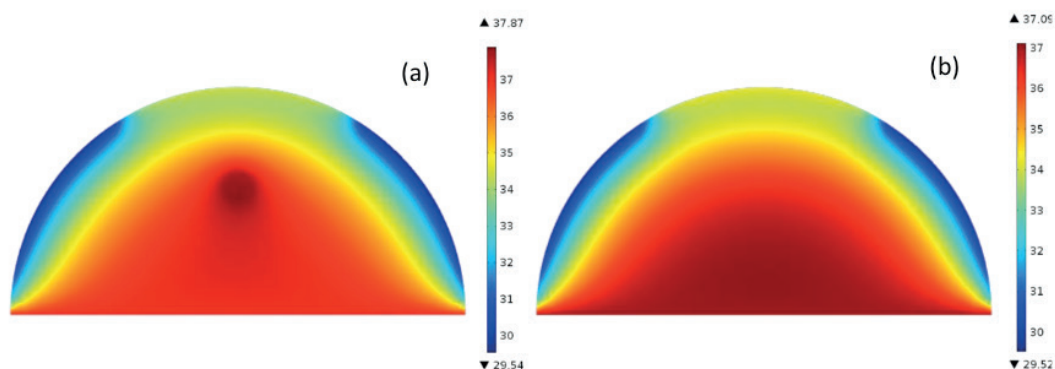


Figura 3 - Campo de temperatura da mama imediatamente após aplicação do fluxo de calor: (a) com tumor e (b) sem tumor.

A Figura 4 mostra o comportamento da temperatura no ponto O em função de  $t^*$ , para casos com e sem tumor na mama.



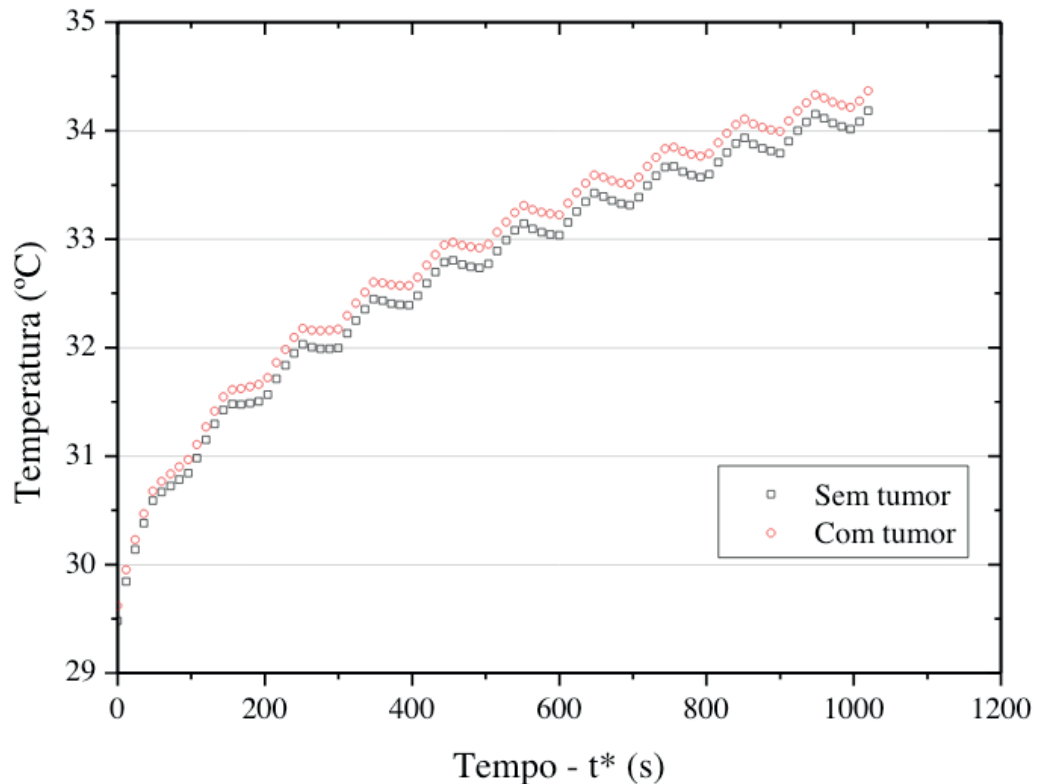


Figura 4 - Temperatura em função de  $t^*$ : (a) mama com tumor e (b) sem tumor.

A diferença de temperatura entre os casos da Fig. 4 é praticamente nula nos instantes iniciais. Entretanto, em  $t^* = 1023$  s, tal diferença é da ordem de  $0,2^{\circ}\text{C}$ .

#### 4 | CONCLUSÕES

Os autores analisaram numericamente o comportamento térmico superficial de uma geometria similar a uma mama, tendo em vista a posição, geração metabólica e perfusão sanguínea de um tumor maligno. O aumento do tempo evidencia um acréscimo na diferença de temperatura para casos com e sem tumor, devido à geração adicional de calor tumoral no primeiro caso, assim como observado em Menegaz e Guimarães (2019).

#### 5 | AUTORIZAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material incluído neste trabalho.

#### REFERÊNCIAS

Bray, F.; Ferlay, J.; Soerjomataram, I.; Siegel, R. L.; Torre, L. A.; Jemal, A. "Global Cancer Statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries". CA: A Cancer Journal for Clinicians, Vol. 68, n. 6, 2018, pp. 394-424.

Figueiredo, A. A. A.; Fernandes, H. C.; Guimarães, G. "Experimental approach for breast cancer center estimation using infrared thermography". *Infrared Physics and Thecnology*, Vol. 95, 2018, pp. 100-112.

Gonzalez-Hernandez, J. L.; Recinella, A. N.; Kandlikar, S.G.; Dabydeen, D.; Medeiros, L.; Phatak, P. "Technology, application and potencial of dynamic breast termography for the detection of breast cancer". *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 131, 2019, pp. 558-573.

Kandlikar, S.G.; Perez-Raya, I.; Raghupathi, P.A.; Gonzalez-Hernandez, J. L.; Dabydeen, D.; Medeiros, L.; Phatak, P. "Infrared imaging technology for breast cancer detection - Current status, protocols and new directions". *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 108, 2017, pp. 2303-2320.

Menegaz, G. L.; Guimarães, G. "Development of a new thecnique for breast tumor detection based on thermal impedance and a damage metric". *Infrared Physics and Technology*, Vol. 97, 2019, pp. 401-410.

Pennes, H. H. "Analysis of Tissue and Arterial Blood Temperatures in the Resting Human Forearm". *Journal of Applied Physiology*, Vol. 1, n. 2, 1948.

## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**Franciele Braga Machado Tullio** - Engenheira Civil (Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG/2006), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/2009, Mestre em Ensino de Ciências e Tecnologia (Universidade Tecnológica federal do Paraná – UTFPR/2016). Trabalha como Engenheira Civil na administração pública, atuando na fiscalização e orçamento de obras públicas. Atua também como Perita Judicial em perícias de engenharia. E-mail para contato: francielebmachado@gmail.com

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Abaqus 213, 214, 215, 218, 219, 221, 222, 223, 226, 227

Acidente de trabalho 1

Air Traffic Management (ATM) 183

Análise de patentes 41

Apontador 129, 147

Arco elétrico 67, 68, 69, 70, 73, 74, 79, 80

Atrazina 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170

### B

Biopolímeros 134, 135

### C

Compensação de energia 10, 11, 14, 15, 17, 18, 19, 54, 100

Corpo 103, 114, 118, 119, 124, 134, 143, 177, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 255

### D

Degradação 163, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 245, 250

Demanda contratada 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51

Diluição 101, 103, 104, 105, 106, 109, 111

Dispositivo 22, 73, 74, 127, 128, 129, 132, 147, 148, 151, 177, 180, 209, 245

Distribuição 1, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 40, 41, 54, 73, 76, 90, 92, 93, 100, 117, 119, 138, 140, 147, 160, 161, 173, 174, 178, 180, 182, 206, 226, 229, 233, 234, 236, 247, 248

### E

Economia de energia 43, 51

Eletricista 1, 2, 5, 7, 69

Energia elétrica 2, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 32, 39, 40, 43, 44, 45, 46, 47, 50, 52, 53, 54, 59, 60, 63, 65, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 92, 97, 98, 100

Energia incidente 67, 68, 69, 70, 71, 73, 74, 75, 76, 78, 79

Energia solar fotovoltaica 81

Equipamentos de proteção individual 8, 67, 68

### F

Fator de carga 92, 93, 94, 98, 99, 100

Fonte hídrica 20

Fotocatálise 163, 165

### G

Geometria de bancada 101

Geração distribuída 10, 11, 13, 14, 15, 16, 19, 21, 53, 54, 57, 65, 81, 89, 90

Geração elétrica distribuída 20

## I

Indústria fonográfica 172, 173, 176, 178, 179, 181, 182

Interpolação 228, 229, 230, 231, 232, 236, 237, 238, 239, 240

## J

Jogos sérios 127, 128, 132

## L

Leap motion controller 127, 128, 129, 132, 133

Leveduras 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144

## M

Método da validação cruzada 228, 230, 237, 238

Microalgas 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 135

Microgeração 15, 17, 18, 53, 55, 56, 57, 63, 64, 92, 93, 94, 95, 96, 98, 99, 100

Mineração de calcário 101, 103, 105, 109

Modelo tridimensional 101, 109

Mouse 146, 147, 148, 149, 150, 155, 159, 160, 161

## N

Nr10 1, 2

## O

Óxidos mistos 163, 165, 169

## P

Palmilha 114, 115, 116, 117, 122, 123, 124, 126

Paradigmas tecnológicos 172, 173

Poli(ácido láctico) 134, 135, 137

Polímeros Reforçados com Fibra de Carbono (PRFC) 213, 214, 218, 223, 225, 226, 227

Poluição eletromagnética 228, 238

Prospecção tecnológica 34, 36, 41, 42, 114, 117, 145, 149, 162, 203, 204

## R

Reabilitação virtual 127, 128, 132

Rede de distribuição 14, 15, 76, 92, 93

Reforço ao cisalhamento 213, 215, 216, 227

Regimes de apropriabilidade 172, 173, 174, 175

## S

Sap2000 v15 213, 214, 215, 219, 226

Scanner a laser terrestre 101, 102, 103, 104

Sinais bioelétricos 114, 118, 124

Sistemas fotovoltaicos 81, 82, 90, 92, 93, 100

## T

Turbinas 14, 20, 22, 23, 24, 31, 32

## U

UAS Traffic Management (UTM) 183, 185, 186, 187, 189, 190, 194, 196, 197, 198, 200

Unmanned Aircraft System (UAS) 183, 184, 186, 200

## V

Veículo elétrico 81, 84, 86, 88, 89, 90

