



# Ciências Exatas e da Terra: Conhecimentos Estratégicos para o Desenvolvimento do País

Júlio César Ribeiro  
(Organizador)

**Atena**  
Editora  
Ano 2020



Ciências Exatas e da Terra:  
Conhecimentos  
Estratégicos para o  
Desenvolvimento do País

Júlio César Ribeiro  
(Organizador)

**Atena**  
Editora  
Ano 2020

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:** Karine de Lima

**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

Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

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

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

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. 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

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 – 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  
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. 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  
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
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  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª 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 Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

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

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto



Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<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  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **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. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof<sup>a</sup> Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Prof<sup>a</sup> 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  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof<sup>a</sup> Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Prof<sup>a</sup> Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof<sup>a</sup> Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Prof<sup>a</sup> Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof<sup>a</sup> Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
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 Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
 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. Lilian 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. Me. 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. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
 Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
C569	<p>Ciências exatas e da terra [recurso eletrônico] : conhecimentos estratégicos para o desenvolvimento do país / Organizador Júlio César Ribeiro. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.</p> <p>Formato: PDF            Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader            Modo de acesso: World Wide Web            Inclui bibliografia            ISBN 978-65-5706-160-2            DOI 10.22533/at.ed.602200207</p> <p>1. Ciências exatas e da terra – Pesquisa – Brasil. 2. Tecnologia e inovação. I. Ribeiro, Júlio César.</p> <p style="text-align: right;">CDD 500</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

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

## APRESENTAÇÃO

O desenvolvimento socioeconômico do País está assentado primordialmente na inovação baseada no seu desenvolvimento científico e tecnológico.

É notado, principalmente nos últimos anos, que há grande necessidade de fortalecimento e expansão da capacidade de pesquisa e de inovação, bem como o aprimoramento dos conhecimentos já adquiridos pela sociedade.

Neste contexto, o E-book “Ciências Exatas e da Terra: Conhecimentos Estratégicos para o Desenvolvimento do País” foi composto por uma coletânea de trabalhos relacionados às Ciências Exatas e da Terra que contemplam os mais variados temas ligados ao desenvolvimento.

Os 20 capítulos que constituem a presente obra, elaborados por pesquisadores de diversas instituições de pesquisa, permitem aos leitores analisar e discutir assuntos tais como: importância das ondas eletromagnéticas e transmissão na camada da ionosfera, produção de filmes de polímeros a partir de diferentes complexos para aplicação em células solares, estudo de diferentes metodologias na caracterização de material polimérico, utilização de modelagem numérica na investigação da dispersão de plumas poluentes, aplicação de malhas computacionais para a verificação do transporte de doenças de plantas pelo ar, dentre outros assuntos de relevância para as Ciências Exatas e da Terra.

O organizador e a Atena Editora agradecem aos autores e instituições envolvidas nos trabalhos que compõe a presente obra.

Por fim, esperamos que este E-book possa proporcionar reflexões significativas que contribuam para o aprimoramento do conhecimento e desenvolvimento de novas pesquisas.

Boa leitura!

Júlio César Ribeiro



## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANÁLISE DAS ORIENTAÇÕES DE COMO DEMARCAR A IMAGINÁRIA LINHA DE PREAMAR MÉDIA DE 1831	
Flavio Boscatto Cesar Rogério Cabral Everton da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6022002071</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
NUMERICAL MODELING OF SEWAGE OUTFALLS PLUMES IN THE COAST OF THE STATE OF PARANÁ – BRAZIL	
Paola Galluzzi Polesi Joseph Harari Tiago Cortez Samuel Hora Yang	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6022002072</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>30</b>
APLICAÇÃO DO MÉTODO GOD E ESTATÍSTICA MULTIVARIADA NO ESTUDO DA VULNERABILIDADE DE AQUÍFERO À CONTAMINAÇÃO EM ARACAJU/SE	
José Batista Siqueira Thomaz Oliveira Teixeira Samiramisthaís Souza Linhares Luiz Alberto Vedana Paulo Henrique Stefano	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6022002073</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>43</b>
ANÁLISES DE GERAÇÃO DE MALHA NA MODELAGEM NUMÉRICA DE TROCADORES DE CALOR SOLO-AR	
Michel Kepes Rodrigues Jairo Valões de Alencar Ramalho Ruth da Silva Brum Luiz Alberto Oliveira Rocha Elizaldo Domingues dos Santos Liércio André Isoldi	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6022002074</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>55</b>
AS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E APLICAÇÃO NA TRANSMISSÃO NA CAMADA DA IONOSFERA	
José Augusto dos Santos Cardoso Wendel Correa dos Santos José Francisco da Silva Costa Antonio Maia de Jesus Chaves Neto Sebastião Gomes Silva Manuel de Jesus dos Santos Costa Alessandre Sampaio Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6022002075</b>	

**CAPÍTULO 6 ..... 76**

DECIFRANDO O ARCO-ÍRIS E O EFEITO GLÓRIA: UMA ABORDAGEM UTILIZANDO SISTEMAS DINÂMICOS

Janaína Dias da Silva

Alberto Tufaile

**DOI 10.22533/at.ed.6022002076**

**CAPÍTULO 7 ..... 88**

MAGIC: INTERAÇÃO ENTRE HOBBY E LUCRO

Victor Ferreira da Silva

Édipo Menezes da Silva

Kelly Pereira de Lima

João Domingos Scalon

**DOI 10.22533/at.ed.6022002077**

**CAPÍTULO 8 ..... 93**

A SOCIEDADE DA INFORMAÇÃO E O LIXO ELETRÔNICO: DESAFIOS, REFLEXÕES E OPORTUNIDADES

Fábio Henrique Angelo dos Santos

Luana Maia Woida

**DOI 10.22533/at.ed.6022002078**

**CAPÍTULO 9 ..... 109**

APLICAÇÃO SIMULTÂNEA DE CALOR E MASSA NO PROCESSO DE SECAGEM DO ABIU

Nathalia Cristina Ramos Lima

Julles Mitoura dos Santos Junior

Emilio Émerson Xavier Guimarães Filho

Ronaldo Maison Martins Costa

Audirene Amorim Santana

**DOI 10.22533/at.ed.6022002079**

**CAPÍTULO 10 ..... 119**

BIOCONTROLE DO ÓLEO ESSENCIAL DE ORIGANUM VULGARE FRENTE ÀS LARVAS DE *Aedes aegypti* (DIPTERA: CULICIDAE)

Juliana de Sousa Figuerêdo

Felipe Pereira da Silva Santos

Matheus Oliveira do Nascimento

Patrícia e Silva Alves

Lucas Mendes Feitosa Dias

Layana Karine Farias Lima

Aline Aparecida Carvalho França

Edymilaís da Silva Sousa

Pedro Vitor Oliveira Silva Furtado

Veruska Cavalcanti Barros

José Luíz Silva Sá

Chistiane Mendes Feitosa

**DOI 10.22533/at.ed.60220020710**

**CAPÍTULO 11 ..... 133**

COMPLEXOS B-DICETONATOS LUMINESCENTES BASEADOS EM ÍONS TERRAS RARAS DISPERSOS EM POLÍMEROS TRANSPARENTES PARA APLICAÇÕES EM CÉLULAS SOLARES

Gabriel de Moraes Rodrigues

Ivan Guide Nunes da Silva

Danilo Mustafa

**DOI 10.22533/at.ed.60220020711**

**CAPÍTULO 12 ..... 146**

SÍNTESE, CARACTERIZAÇÃO E PROPRIEDADES DAS PENEIRAS MOLECULARES: SBA-16, FDU-12, SBA-15 E MCM-41

Mayara Resende Alves  
Mateus Freitas Paiva  
Elon Ferreira de Freitas  
Sílvia Cláudia Loureiro Dias  
José Alves Dias

**DOI 10.22533/at.ed.60220020712**

**CAPÍTULO 13 ..... 160**

UMA EFICIENTE SÍNTESE DE DERIVADOS DE TRIARILMETANO

Shirley Muniz Machado Rodrigues  
Giovanni Stoppa Baviera  
Daniel Previdi  
Alexandre de Almeida Matias  
Paulo Marcos Donate

**DOI 10.22533/at.ed.60220020713**

**CAPÍTULO 14 ..... 170**

IDENTIFICAÇÃO NÃO INVASIVA DE MATERIAL POLIMÉRICO COM A TÉCNICA DE ESPECTROSCOPIA FTIR: BANCO DE DADOS DE REFERÊNCIA E APLICAÇÃO PRÁTICA

Fabrcio de Melo Rodrigues Barbosa  
Mrcia de Almeida Rizzutto  
Wanda Gabriel Pereira Engel

**DOI 10.22533/at.ed.60220020714**

**CAPÍTULO 15 ..... 183**

SOLOS DO BRASIL: GÊNESE, CLASSIFICAÇÃO E LIMITAÇÕES AO USO

Carlos Roberto Pinheiro Junior  
Marcos Gervasio Pereira  
Eduardo Carvalho da Silva Neto  
Lcia Helena Cunha dos Anjos  
Ademir Fontana

**DOI 10.22533/at.ed.60220020715**

**CAPÍTULO 16 ..... 200**

DETERMINAÇÃO DE HEXAZINONA EM AMOSTRAS DE SOLO POR ESPECTROFOTOMETRIA UV-VIS

Auriléia Pereira da Silva  
Lucina Rocha Sousa

**DOI 10.22533/at.ed.60220020716**

**CAPÍTULO 17 ..... 225**

GERAÇÃO DE MALHA PARA DESCREVER A DISPERSÃO DA FERRUGEM DA SOJA NO PARANÁ

Eduardo Oliveira Belinelli  
Paulo Laerte Natti  
Neyva Maria Lopes Romeiro  
Eliandro Rodrigues Cirilo  
Lucas Henrique Fantin  
Karla Braga de Oliveira  
Marcelo Giovanetti Canteri  
Érica Regina Takano Natti

**DOI 10.22533/at.ed.60220020717**



<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>240</b>
ESTUDO DA ARTE SOBRE A UTILIZAÇÃO DO ÓLEO FÚSEL A PARTIR DA PRODUÇÃO DE ETANOL DA CANA-DE-AÇÚCAR	
Raquel Santos da Silva	
Danielle Christine Almeida Jaguaribe	
Joelma Morais Ferreira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.60220020718</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>249</b>
FORMAS ASSOCIATIVISTAS DA COMUNIDADE QUILOMBOLA NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO, IGARAPÉ-AÇU/PA	
Jéssica Vasconcelos Ferreira	
Raiana Rocha Pereira	
Francisco Laurimar do Nascimento Andrade	
Fabiana Mar dos Santos	
Nayra Silva do Vale	
Luiz Cláudio Moreira Melo Júnior	
Eleci Teresinha Dias da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.60220020719</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>259</b>
ESTUDO DO EFEITO MEMÓRIA E FOTOLUMINESCÊNCIA EM HIDRÓXIDOS DUPLOS LAMELARES (HDL)	
Alexandre Candido Teixeira	
Alysson Ferreira Morais	
Ivan Guide Nunes da Silva	
Danilo Mustafa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.60220020720</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>273</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>274</b>

## ANÁLISES DE GERAÇÃO DE MALHA NA MODELAGEM NUMÉRICA DE TROCADORES DE CALOR SOLO-AR

Data de aceite: 24/06/2020

Data de submissão: 09/03/2020

Rio Grande - RS.

<http://lattes.cnpq.br/6854950768271660>

### **Liércio André Isoldi**

Universidade Federal do Rio Grande,  
Programa de Pós-Graduação em Modelagem  
Computacional,  
Rio Grande - RS.

<http://lattes.cnpq.br/3761060945802171>

### **Michel Kepes Rodrigues**

Universidade Federal do Rio Grande,  
Programa de Pós-Graduação em Modelagem  
Computacional,  
Rio Grande - RS.

<http://lattes.cnpq.br/0379919270609981>

### **Jairo Valões de Alencar Ramalho**

Universidade Federal de Pelotas, Programa de  
Pós-Graduação em Modelagem Matemática,  
Campus Capão do Leão,  
Pelotas - RS.

<http://lattes.cnpq.br/0477653233866226>

### **Ruth da Silva Brum**

Universidade Federal de Pelotas, Programa de  
Pós-Graduação em Modelagem Matemática,  
Campus Capão do Leão,  
Pelotas - RS.

<http://lattes.cnpq.br/7298347412058864>

### **Luiz Alberto Oliveira Rocha**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Mecânica, Universidade do Vale do Rio dos Sinos  
(UNISINOS),  
Porto Alegre - RS.

<http://lattes.cnpq.br/2535324018884724>

### **Elizaldo Domingues dos Santos**

Universidade Federal do Rio Grande,  
Programa de Pós-Graduação em Modelagem  
Computacional,

**RESUMO:** Trocadores de Calor Solo-Ar (TCSA) são sistemas constituídos por dutos enterrados no solo, por onde o ar é forçado a escoar, permitindo seu aquecimento ou resfriamento. Na modelagem computacional de TCSA, o processo de discretização do domínio computacional é muito importante e geralmente consome um longo período com testes de independência de malha. O objetivo deste trabalho foi estudar a geração da malha computacional para análise térmica e fluidodinâmica na modelagem de TCSA. Respectivamente, essas análises visam determinar numericamente a temperatura do ar na saída do duto e a perda de carga ao longo deste. Dessa forma, o estudo de malha visa propor novos critérios para a criação de células computacionais na forma de hexaedros para a análise térmica de TCSA e prismas quadrangulares para sua análise fluidodinâmica. Com isso, foi possível obter uma redução na quantidade de células computacionais e, conseqüentemente, no

tempo de processamento, mantendo a precisão dos resultados numericamente obtidos para fazer análises térmicas. Para o problema fluidodinâmico, onde foram contempladas malhas mais refinadas e elementos na forma de prismas quadrangulares, estudou-se o caso de um duto reto e de um duto contendo uma curva de 90°. Com o critério proposto, foi obtida uma diferença relativa inferior a 1,1 % em relação a métodos analíticos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Trocadores de calor solo-ar, malhas computacionais, perda de carga, análise numérica.

## MESH GENERATION ANALYSIS TO AID EARTH-AIR HEAT EXCHANGERS NUMERICAL MODELLING

**ABSTRACT:** Earth-Air Heat Exchangers (EAHE) are systems made up of ducts buried in the ground, through which the air is forced to flow, allowing it to be heated or cooled. In the computational modeling of EAHE, the process of discretizing the computational domain is very important and generally consumes a long period with mesh independence tests. The objective of this work is to study the generation of the computational mesh for thermal and fluid dynamics analysis in EAHE modeling. Respectively, these analyzes aim to numerically determine the air temperature at the outlet of the duct and the pressure drop along it. In this way, the mesh study aims to propose new criteria for the creation of computational cells in the form of hexahedrons for the thermal analysis of EAHE and quadrangular prisms for their fluid-dynamic analysis. With that, it was possible to obtain a reduction in the amount of computational cells and, consequently, in the processing time, keeping the precision of the numerically obtained results to make thermal analyzes. For the fluid dynamics problem, where more refined meshes and elements in the form of square prisms were contemplated, the case of a straight duct and a duct containing a 90o curve was studied. With the proposed criterion, a relative difference of less than 1.1% was obtained in relation to analytical methods.

**KEYWORDS:** Earth-air heat exchangers, computational meshes, pressure drop, numerical analysis.

## 1 | INTRODUÇÃO

Trocadores de Calor Solo-Ar (TCSA) são sistemas constituídos por dutos enterrados por onde o ar é forçado a escoar, trocando calor por convecção com o solo, que por sua vez serve como fonte ou sumidouro de calor. Assim, os TCSA podem ser utilizados para promover a melhoria na condição térmica no interior de edificações e reduzir o consumo de energia elétrica com equipamentos de ar-condicionado tradicionais, explorando o recurso renovável da radiação solar incidente sobre a superfície terrestre e presente na camada superficial do solo (AGRAWAL et al., 2018; BISONIYA, KUMAR e BARENDAR, 2013; BRUM et al., 2016; FLORIDES e KALOGIROU, 2007; GUPTA e TIWARI, 2016; PERETTI et al., 2013; RODRIGUES, Dos Santos e ISOLDI, 2015; SOBTI e SINGH, 2015).

O princípio de funcionamento do TCSA baseia-se na transferência de calor do solo



para o ar que escoia nos dutos, em períodos frios; e do ar para o solo, em períodos quentes. Assim, a temperatura do ar que sai do TCSA torna-se mais amena em relação à temperatura do ar ambiente que entra no TCSA.

A discretização espacial (ou geração da malha) é um aspecto muito importante na modelagem computacional de um TCSA, pois dependendo do nível de complexidade da configuração geométrica dos dutos do TCSA, os testes de independência/convergência de malha, demandam um longo período de avaliação. Assim, o estabelecimento de critérios para a construção das malhas em função de parâmetros geométricos do domínio computacional mostra-se uma questão relevante, embora ainda pouco explorada na literatura de TCSA.

Um estudo da malha computacional construída a partir de células tetraédricas para a modelagem de TCSA foi proposto por Rodrigues, Dos Santos e Isoldi (2015) e Rodrigues et al. (2015), onde foi definido um critério de geração. Esse critério vem permitindo que se realize a análise numérica, do ponto de vista térmico, de forma satisfatória na avaliação de desempenho de TCSA. No entanto, tal critério não pode ser extrapolado para outros tipos de células computacionais e restringe-se apenas à análise térmica do TCSA.

Nesse contexto, o presente estudo avança as pesquisas anteriores e contempla a construção da malha a partir de células computacionais na forma de hexaedros e prismas quadrangulares visando permitir a realização não só da análise térmica do TCSA, mas também sua análise fluidodinâmica, através da modelagem computacional.

Mais especificamente, este artigo investiga questões relacionadas à quantidade de células necessárias no domínio computacional, à avaliação ao tempo de processamento da simulação numérica e à precisão dos resultados numéricos obtidos.

Além das questões levantadas, em abordagens computacionais de TCSA com geometrias complexas, como as apresentadas em Rodrigues et al. (2018), existe uma variação significativa em relação ao tamanho do elemento de malha adotado no duto e o elemento de malha utilizado no solo, acarretando na elevada razão de proporcionalidade entre tais elementos, tornando ainda mais oneroso o processo de geração da malha computacional e dificultando estimativas numéricas de perdas de carga nos dutos.

Embora a literatura clássica de mecânica dos fluidos apresente métodos analíticos capazes de calcular a perda de carga em dutos (BERGMAN et al., 2011; PRITCHARD e MITCHELL, 2015), dependendo da configuração geométrica dos arranjos de TCSA, estes métodos podem esbarrar em limitações, principalmente, devidas à redução da pressão decorrentes de perdas localizadas em partes complexas do domínio.

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi estudar a geração da malha computacional para análise térmica e fluidodinâmica na modelagem de TCSA. Neste trabalho, as análises térmica e fluidodinâmica se dão, respectivamente, com as determinações numéricas da temperatura do ar na saída do TCSA e da perda de carga do ar no duto.

## 2 | METODOLOGIA

A Figura 1 mostra o domínio computacional e a descrição das condições de contorno do modelo empregado neste trabalho para a análise térmica de TCSA.

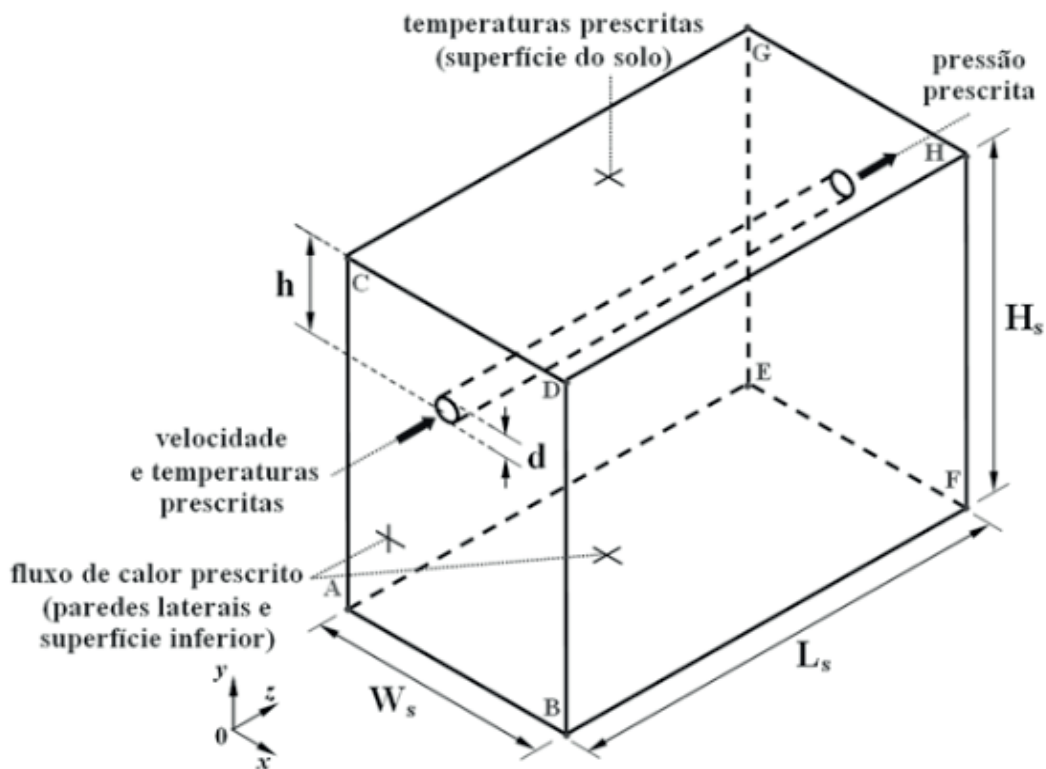


Figura 1. Domínio computacional.

Na Figura 1,  $H_s=15$  m e  $W_s=10$  m são, respectivamente, a profundidade e largura do solo.  $L_s=26$  m corresponde ao comprimento do solo e do duto. Além disso,  $d=0,22$  m é o diâmetro do duto adotado e  $h=3$  m é a profundidade do duto em relação à superfície do solo, adotada em Brum et al. (2012). Nas paredes laterais e na superfície inferior do solo é imposta a condição de contorno de fluxo de calor prescrita nulo. Como condição de contorno para as temperaturas na superfície do solo e na entrada do duto, para cada instante de tempo  $t$  (em s), são prescritas (em K) as respectivas funções:

$$T_s = 291,70 + 6,28 \sin(2 \times 10^{-7}t + 26,24), \quad (1)$$

$$T_e = 296,18 + 6,92 \sin(2 \times 10^{-7}t + 26,42), \quad (2)$$

Tais funções são baseadas nos dados experimentais de Vaz et al. (2011), representando as condições climáticas subtropicais da região sul do Brasil, mais especificamente na cidade de Viamão. Com base na mesma referência, a velocidade do ar na entrada do duto é prescrita em 3,3 m/s. Na saída do duto é imposta condição de contorno de pressão prescrita nula. Na abordagem computacional não foi considerada a espessura da parede do duto (de PVC) no modelo, admitindo-se que o ar escoar por meio de perfurações cilíndricas inseridas diretamente no volume do solo e em contato direto com o solo. Essa simplificação já foi

adotada em trabalhos anteriores (BANSAL et al. 2009; BRUM et al., 2013; RODRIGUES et al., 2015) e não altera significativamente a solução final do problema, viabilizando a geração da malha no domínio computacional.

As propriedades termofísicas do solo e do ar são mostradas na Tabela 1, conforme Rodrigues et al. (2015).

Materiais	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	Condutividade térmica $\kappa$ ( W/m.K)	Calor específico $c_p$ (J/kg.K)	Viscosidade Dinâmica $\mu$ (kg/m.s)
Solo	1800	2,1	1,780	-
Ar	1,16	0,0242	1,010	$1,789 \times 10^{-5}$

Tabela 1. Propriedades termofísicas do ar e do solo

## 2.1 Modelagem Matemática

Para obtenção da distribuição de temperaturas no solo, é utilizada a equação da conservação da energia (BERGMAN et al., 2011; VERSTEEG e MALALASEKERA, 2007). Para tratar do escoamento do ar no interior do duto assume-se um regime turbulento, escoamento incompressível, transiente, com transferência de calor, governado pelas equações de conservação da massa, quantidade de movimento e energia (BERGMAN et al., 2011; PRITCHARD e MITCHELL, 2015; VERSTEEG e MALALASEKERA, 2007; WILCOX, 2002). Para abordar a turbulência é aplicado o modelo de tensões de Reynolds (LAUNDER e SPALDING, 1972; WILCOX, 2002).

Por serem amplamente apresentadas na literatura, neste trabalho, tais equações são omitidas. No entanto, podem ser encontradas em Vaz et al. (2011), Brum et al. (2012), Brum et al. (2013) e Rodrigues et al. (2015). O número de Reynolds e o número de Prandtl que caracterizam o escoamento em estudo são, respectivamente, iguais a 46.838,71 e 0,75.

## 2.2 Modelagem Computacional

No pré-processamento foi empregado o software livre GMSH (GEUZAIN e REMACLE, 2009; REMACLE et al., 2010), o qual possibilita a construção das geometrias e a geração das malhas computacionais. Com o software FLUENT, que baseia-se no Método dos Volumes Finitos (PATANKAR, 1980; VERSTEEG e MALALASEKERA, 2007), foi realizado o processamento e pós-processamento. No pós-processamento também foi utilizada a planilha eletrônica.

Para a realização das simulações numéricas é adotado um passo de tempo de 3.600 s (1 h) em um total de 17.520 passos de tempo. O tempo físico simulado corresponde a dois anos, porém na análise de resultados apenas o segundo ano é considerado, conforme indicado em Rodrigues, Dos Santos e Isoldi (2015). A temperatura de inicialização do modelo computacional é de 291,7 K ou 18,7 °C (ver Eq. (1)), que é a temperatura média representativa do solo na região de estudo (VAZ et al., 2011). As soluções numéricas são consideradas convergidas quando os resíduos para a equação de conservação da massa



e da quantidade de movimento são inferiores a  $10^{-3}$  e para a equação de conservação da energia são inferiores a  $10^{-6}$ , entre duas iterações consecutivas.

No pós-processamento das simulações numéricas, foram extraídas amostras dos resultados de temperaturas a cada 21.600 s (6 h), totalizando 1460 medições. Mais informações sobre a abordagem numérica podem ser encontradas em Rodrigues, Dos Santos e Isoldi (2015).

Os dados experimentais e numéricos de Vaz et al. (2011) foram utilizados para validar e verificar o modelo computacional empregado neste trabalho, que foi desenvolvido em Brum et al. (2012). Mais detalhes sobre a validação e verificação do modelo computacional podem ser encontrados em Rodrigues et al. (2015).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo referem-se à geração de malha com células computacionais na forma de hexaedros e de prismas quadrangulares para avaliar, respectivamente, a temperatura na saída dos dutos de TCSA (análise térmica) e a perda de carga do ar ao longo do mesmo (análise fluidodinâmica).

Na análise térmica, é determinado o potencial térmico  $PT$  do TCSA, que é a diferença entre a temperatura na saída dos dutos e a conhecida temperatura na entrada. Através do  $PT$ , é possível estimar também a quantidade de calor trocado com o solo (BRUM et al., 2016).

Na análise fluidodinâmica, como o ar na saída do TCSA está à pressão atmosférica, deseja-se obter a pressão na entrada dos dutos para calcular a perda de carga ( $PC$ ). Isto é, a perda de energia dinâmica devido à fricção das partículas do fluido entre si e com as paredes da tubulação (BERGMAN et al., 2011; PRITCHARD e MITCHELL, 2015). Esse parâmetro operacional é importante, pois ele permite estimar a potência elétrica necessária para forçar o escoamento do ar no interior do TCSA.

Para os critérios apresentados a seguir, será admitida como satisfatória uma diferença relativa  $DR$  1,50 % entre resultados numéricos obtidos após dois refinamentos sucessivos.

#### 3.1 Critério para análise térmica

A Tabela 2 traz a definição do critério de geração da malha no duto e no solo, a quantidade de células, o tempo de processamento, a temperatura do ar na saída do TCSA e a diferença relativa entre os casos avaliados.

Malha	Critério de refinamento		Quantidade de células	Tempo de Processamento (s)	Temperatura do ar na saída do TCSA (°C)	DR (%) $\left  \frac{T_j - T_{j+1}}{T_j} \right  \cdot 100$
	Duto	Solo				
$MH_1$	$d/4$	2d	88.538	7.740	$T_1 = 25,40$	0,20
$MH_2$	$d/6$	4d/3	266.114	10.980	$T_2 = 25,35$	0,08
$MH_3$	$d/8$	d	703.922	17.340	$T_3 = 25,33$	-

Tabela 2. Estudo da malha computacional com elementos hexaédricos.

Conforme pode ser verificado na Tabela 2, o critério de geração de malha computacional usando células hexaédricas é satisfeito pela malha MH1. Assim, é suficiente que as medidas das arestas nos dutos e no solo sejam, respectivamente, de  $d/4$  e  $2d$ , onde, como já definido anteriormente,  $d$  é o diâmetro do duto.

Para fazer uma comparação, a Tabela 3 mostra os resultados do processo de geração de malha com elementos tetraédricos proposto em Rodrigues, Dos Santos e Isoldi (2015).

Malha	Critério de refinamento		Quantidade de células	Tempo de Processamento (s)	Temperatura do ar na saída do TCSA (°C)	DR (%) $\left  \frac{T_j - T_{j+1}}{T_j} \right  \cdot 100$
	Duto	Solo				
$MT_1$	$d/3$	$3d$	202.524	15.300	$T_1 = 25,40$	0,20
$MT_2$	$4d/17$	$36d/17$	458.203	23.760	$T_2 = 25,45$	0,04
$MT_3$	$5d/26$	$45d/26$	800.908	48.360	$T_3 = 25,46$	-

Tabela 3. Estudo da malha computacional com elementos tetraédricos.

Pelos dados apresentados nas Tabelas 3 e 4, é possível observar que as razões entre o critério de geração de malha no solo e no duto, são 9,0 e 8,0, respectivamente, para células tetraédricas e hexaédricas. Em relação à constituição do elemento de malha (célula computacional), tomando como base as expressões elementares do volume do hexaedro e do tetraedro, a razão entre o volume do elemento hexaédrico e o volume do elemento tetraédrico, no duto, é aproximadamente 7,1; enquanto que a razão entre o volume do elemento hexaédrico e o volume do elemento tetraédrico, no solo, é aproximadamente 2,5. Isso exprime a redução da quantidade de elementos na malha do domínio computacional ao utilizar elementos hexaédricos em comparação com malhas geradas com elementos tetraédricos.

Já em relação à quantidade de elementos gerados no domínio computacional, as malhas  $MH_1$ ,  $MH_2$  e  $MH_3$  constituídas com células hexaédricas promovem, respectivamente, sua redução em torno de 56 %, 41 % e 12 % em relação às malhas  $MT_1$ ,  $MT_2$  e  $MT_3$ , constituídas com células tetraédricas, gerando assim uma redução média de 36 %.

Por fim, no que se refere ao tempo de processamento da simulação numérica, as malhas  $MH_1$ ,  $MH_2$  e  $MH_3$  reduzem, respectivamente, em aproximadamente 49 %, 53 % e 64 % na comparação com as malhas  $MT_1$ ,  $MT_2$  e  $MT_3$ , provocando assim uma redução média de 55 %. Dessa forma, a redução da quantidade de elementos de malha aliada à utilização de células hexaédricas também acarreta na redução do tempo de processamento da simulação numérica. Isso pode estar relacionado com a simplicidade dos elementos hexaédricos, no sentido da aplicação do Método de Volumes Finitos pelo FLUENT, ampliando a regularidade do sentido do fluxo que segue o sentido normal à superfície de integração.

### 3.1 Critério para análise fluidodinâmica

A perda de carga, PC, pode ser avaliada fisicamente através da diferença das pressões do fluido na entrada ( $p_e$ ) e na saída ( $p_s$ ) do duto (PRITCHARD e MITCHELL, 2015) :

$$PC = p_e - p_s. \quad (3)$$

A PC pode ser calculada de forma distribuída (em trechos retos) e localizada (em curvas, conexões, etc.). Assim, a contabilização de todas as perdas associadas a componentes localizados, mais as perdas distribuídas da rede de dutos definem o valor total da PC.

As malhas  $MT_1$  e  $MH1$ , definidas anteriormente, a partir dos seus respectivos critérios de geração para realizar a análise térmica no TCSA, não são suficientemente refinadas para permitir a determinação numérica da perda de carga distribuída no duto reto com DR 1,50 %. Tais malhas não são suficientemente refinadas para descrever os efeitos viscosos do ar no interior do duto considerando as regiões formadas pela camada de superposição, amortecedora e a subcamada viscosa (LAUNDER e SPALDING, 1972; WILCOX, 2002; VERSTEEG e MALALASEKERA, 2007).

Desse modo, a análise fluidodinâmica foi desacoplada da térmica e adotou-se uma simplificação no modelo, considerando como domínio computacional apenas o trecho reto do duto, como ilustrado na Figura 2.

Aproveitou-se também para estudar malhas com células na forma de prismas quadrangulares e os resultados obtidos a partir do teste de independência de malha são apresentados na Tabela 4.

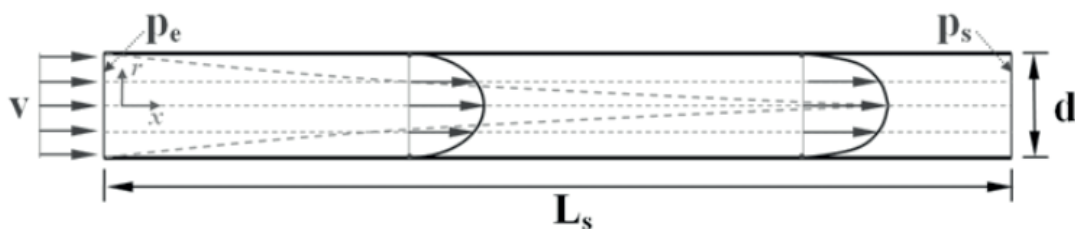


Figura 2. Trecho reto do duto do TCSA.

Malha	Critério de refinamento		Pressão do ar na entrada do duto (Pa)	DR (%) $\left  \frac{T_j - T_{j+1}}{T_j} \right  \cdot 100$
	Largura e Altura	Profundidade		
$MP_1$	$d/12$	$d/3$	$p_1 = 15,62$	0,51
$MP_2$	$d/14$	$2d/7$	$p_2 = 15,70$	0,45
$MP_3$	$d/16$	$d/4$	$p_2 = 15,77$	-

Tabela 4. Teste de independência de malha com células na forma de prisma quadrangular para análise fluidodinâmica no duto reto do TCSA.

Como se pode observar na Tabela 4, o critério de geração  $MP_1$ , propiciou a determinação numérica de  $p_e$  em aproximadamente 15,62 Pa com DR 1,00%. Além disso, é possível estimar

pe analiticamente através da metodologia clássica de mecânica dos fluidos apresentada, por exemplo, em Pritchard e Mitchell (2015) e omitida aqui pela brevidade do trabalho. Nessa abordagem, obtém-se para  $p_e$  um valor aproximado 15,73 Pa. Ou seja, a DR entre os dois resultados é de 0,70 %, corroborando com a adoção da malha  $MP_1$  para análise fluidodinâmica no duto reto.

Para o estudo da PC localizada, também foi proposta uma simplificação do modelo, considerando apenas uma curva de 90°, como ilustrado na Figura 3. A Tabela 5 mostra o teste de independência de malha com células na forma de prisma quadrangular para este caso.

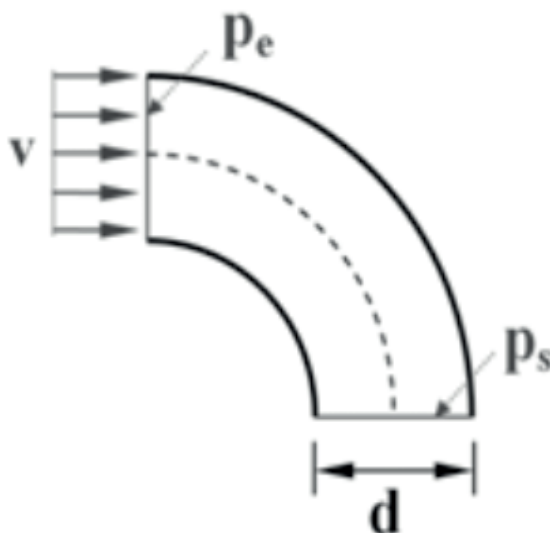


Figura 3. Curva de 90° no TCSA.

Malha	Critério de refinamento		Pressão do ar de entrada no TCSA (Pa)	Diferença relativa (%) $\left  \frac{T_j - T_{j+1}}{T_j} \right  \cdot 100$
	Largura e Altura	Profundidade		
$MC_1$	$d/12$	$\pi d/24$	$p_1 = 1,87$	1,06
$MC_2$	$d/14$	$\pi d/28$	$p_2 = 1,89$	0,53
$MC_3$	$d/16$	$\pi d/32$	$p_3 = 1,90$	-

Tabela 5. Teste de independência de malha com células na forma de prisma quadrangular para análise numérica fluidodinâmica na curva de 90° do TCSA.

Novamente, também foi calculado  $p_e$  analiticamente, pela metodologia clássica de mecânica dos fluidos (PRITCHARD e MITCHELL, 2015), onde o coeficiente de perda de carga localizada considerado foi de  $k = 0,3$ . Assim, o valor de  $p_e$  estimado numericamente com a malha  $MC_1$  foi de 1,87 Pa e o analítico foi de 1,89 Pa. Isso resulta em uma DR de aproximadamente 1,06 % entre os resultados, verificando o modelo computacional para análise dinâmica na curva de 90° no TCSA.

Finalmente, a proposta de análise fluidodinâmica exige uma malha mais refinada em relação à metodologia de análise térmica em TCSA. Nesse caso, tem-se um problema de análise fluidodinâmica de escoamentos internos em tubulações. Nesse contexto, a

porção de solo pode ser desconsiderada na análise, uma vez que é possível promover um desacoplamento da parte térmica em relação à fluidodinâmica do problema, sem prejuízos à modelagem física do sistema.

Fisicamente, a fim de se obter a solução de um escoamento com convecção forçada, de acordo com Bejan (2004), não há prejuízo em tratar separadamente os efeitos térmicos em relação aos fluidodinâmicos. Entretanto, em casos de convecção natural ou mista os campos fluidodinâmico e térmico são acoplados e essa metodologia não é viável.

## 4 | CONCLUSÕES

O presente trabalho propôs, primeiramente, um critério de geração de malha com elementos hexaédricos para análise térmica de TCSA. Assim, foi definido como sendo  $d/4$  e  $2d$  para as medidas das arestas das células, no duto e no solo, respectivamente, sendo  $d$  o diâmetro do duto.

A partir dos resultados apresentados é possível perceber a importância do estudo da malha computacional na modelagem de TCSA, pois isso permitiu uma redução média na quantidade de células computacionais e no tempo de processamento em torno de 36 % e 55 %, respectivamente, mantendo a precisão dos resultados numericamente obtidos em referências anteriores. Os critérios e técnicas propostas favorecem a elaboração de novos projetos constituídos a partir de geometrias complexas na busca dos melhores desempenhos dos TCSA.

Visando também realizar análises fluidodinâmicas e determinar numericamente a perda de carga do ar no TCSA no duto reto, foi proposto um critério de geração de malha com elementos na forma de prisma quadrangular definindo como  $d/12$  para as medidas das arestas da altura e largura, e  $d/3$  nas arestas do comprimento. Para realizar o estudo fluidodinâmico em uma curva de  $90^\circ$  do TCSA também foi definido um critério construtivo para gerar os elementos de malha na forma de prisma quadrangular, como sendo  $d/12$  para as arestas da altura e largura, e  $\pi d/24$  para as arestas do comprimento.

## AGRADECIMENTOS

E. D. dos Santos, L. A. Isoldi e L. A. O. Rocha agradecem ao CNPq por suas bolsas de Produtividade em Pesquisa. Todos os autores agradecem à FAPERGS pelo suporte financeiro obtido via: Edital 02/2017 - PqG: Processo 17/2551-0001-111-2; Edital 04/2019 – ARD: Processo 19/2551-0001345-0; Edital 05/2019 – PqG: Processo 19/2551-0001964-5.



## REFERÊNCIAS

- AGRAWAL, K.; AGRAWAL, G.; MISRA, R.; BHARDWAJ, M.; JAMUWA, D. **A Review on Effect of Geometrical, Flow and Soil Properties on the Performance of Earth Air Tunnel Heat Exchanger**. Energy & Buildings, v. 176, p. 120-138, 2018.
- BANSAL, V.; MISRA, R.; AGRAWAL, G.; MATHUR, J. **Performance analysis of earth-pipe air heat exchanger for winter heating**. Energy & Buildings, v. 41, p. 1151-1154, 2009.
- BEJAN, A. **Convection Heat Transfer**. Durham, USA: John Wiley, 2004
- BERGMAN, T.; LAVINE, A.; INCROPERA, F.; DEWITT, D. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. Hoboken: John Wiley & Sons Inc., 2011.
- BISONIYA, T.; KUMAR, A.; BAREDAR, P. **Experimental and analytical studies of earth-air heat exchanger (EAHE) systems in India. A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 19, p. 238-246, 2013.
- BRUM, R.; RAMALHO, J.; ROCHA, L.; ISOLDI, L.; DOS SANTOS, E. **Transient models to analyze the influence of air velocity and ducts diameter on the performance of earth-air heat exchangers**. International Journal of Fluid Mechanics Research, v. 43, p. 503-520, 2016.
- BRUM, R.; ROCHA, L.; VAZ, J.; DOS SANTOS, E.; ISOLDI, L. **Development of simplified numerical model for evaluation of the influence of soil-air heat exchanger installation depth over its thermal potential**. International Journal of Advanced Renewable Energy Research, v. 1, p. 505-514, 2012.
- BRUM, R.; VAZ, J.; ROCHA, L.; DOS SANTOS, E.; ISOLDI, L. **A new computational modeling to predict the behavior of earth-air heat exchangers**. Energy and Buildings, v. 64, p. 395-402, 2013.
- FLORIDES, G.; KALOGIROU, S. Ground heat exchangers: **A review of systems, models and applications**. Renewable Energy, v. 32, p. 2461-2478, 2007.
- GEUZAIN, C.; REMACLE, J. **Gmsh: a three-dimensional finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities**. International Journal for Numerical Methods in Engineering, v. 79(11), p. 1309-1331, 2009.
- GUPTA, N.; TIWARI, G. **Review of passive heating/cooling systems of buildings**. Energy Science & Engineering, v. 4(5), p. 305-333, 2016.
- LAUNDER, B.; SPALDING, D. **Lectures in Mathematical Models of Turbulence**. London: Academic Press, 1972
- PATANKAR, S. **Numerical Heat Transfer and Fluid Flow**. New York: McGraw-Hill, 1980.
- PERETTI, C.; ZARRELLA, A.; CARLI, M.; ZECCHIN, R. **The design and environmental evaluation of earth-to-air heat exchangers (EAHE): A literature review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 28, p. 107-116, 2013.
- PRITCHARD, P.; MITCHELL, J. **FOX and McDonald's Introduction to fluid mechanics**, Hoboken: John Wiley & Sons, 2015.
- REMACLE, J.; GEUZAIN, C.; COMPERE G.; MARCHANDISE, E. **High-quality surface remeshing using harmonic maps**. International Journal for Numerical Methods in Engineering, v. 83 (4), p. 403-425, 2010.
- RODRIGUES, M.; BRUM, R.; VAZ, J.; ROCHA, L.; DOS SANTOS, E.; ISOLDI, L. **Numerical Investigation About the Improvement of the Thermal Potential of an Earth-Air Heat Exchanger (EAHE) Employing the Constructal Design Method**. Renewable Energy, v. 80, p. 538-551, 2015.

RODRIGUES, M.; DOS SANTOS, E.; ISOLDI, L. **Numerical Analysis and Constructal Design of Earth-Air Heat Exchanger - Mathematical Methods for Engineering**. Saarbrücken: Lap Lambert Academic Publishing, 2015.

RODRIGUES, M.; NUNES, B.; ROCHA, L.; DOS SANTOS, E.; ISOLDI, L. **Simulação numérica de trocador de calor solo-ar constituído por formas geométricas complexas**. Revista Cereus, v. 10(2), p. 12-25, 2018.

SOBTI J.; SINGH, S. **Earth-Air Heat Exchanger as a Green Retrofit for Chandigarh - A Critical Review**. Geothermal Energy, 3:14, p. 1-9, 2015

VAZ, J.; SATTTLER, M.; DOS SANTOS, E.; ISOLDI, L. **Experimental and Numerical Analysis of an Earth-Air Heat Exchanger**. Energy and Buildings, v. 43, p. 2476-2482, 2011.

VAZ, J.; SATTTLER, M.; BRUM, R.; DOS SANTOS, E.; ISOLDI, L. **An experimental study on the use of earth-Air heat exchangers (EAHE)**. Energy and Buildings, v. 72, p. 122-131, 2014.

VERSTEEG, H.; MALALASEKERA, W. **An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method**, London: Pearson Education, 2007.

WILCOX, D. **Turbulence Modeling For CFD**, California: DCW Industries, 2002.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Água Subterrânea 36, 39, 40, 41, 42, 202, 207  
Aldeídos Aromáticos 160, 161, 167  
Análise Numérica 44, 45, 51  
Aquecimento 43, 101, 111, 115, 137, 138, 148, 149, 228  
Aquífero 30, 31, 34, 35  
Associativismo 249, 250, 251, 252, 253, 254, 257, 258

### B

Biocontrole 119, 120

### C

Cadastro Territorial 1, 3, 11  
Células Solares 133, 137, 138, 143  
Cinética de Secagem 109, 111, 112, 115, 116, 117  
Classificação 32, 40, 152, 183, 184, 185, 186, 188, 192, 193, 197, 199  
Comunidade 89, 137, 147, 162, 175, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258  
Contaminação 29, 30, 32, 35, 37, 38, 39, 41, 201, 202, 227, 228, 231, 246  
Correntes Atmosféricas 226, 227

### D

Demarcação 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 256  
Dispositivos Eletrônicos 93  
Doença Fúngica 225, 227

### E

Espectrofotometria 200, 202

### F

Fenômeno Atmosférico 87, 227  
Ferrugem Asiática 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 238, 239

### H

Hidrodestilação 120, 122  
Hidrogeologia 30, 32, 34, 42

## I

Informação 31, 59, 60, 86, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 173, 179  
Ionosfera 55, 56, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 74, 75

## L

Larvicida 120, 121, 123, 125, 126, 128  
Linha de Preamar Média 1  
Lixo Eletrônico 93, 95, 96, 97, 98, 99, 101, 102, 103, 104, 105, 107

## M

Malha Computacional 43, 45, 49, 52, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 239  
Marinha 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12  
Material Polimérico 170, 171, 177  
Mercado Informal 88  
Modelagem 13, 14, 28, 43, 45, 47, 52, 111, 117, 226  
Modelagem Matemática 43, 47, 117, 226  
Modelagem Numérica 13, 14, 28, 43  
Multivariada 30, 31, 35, 39, 41, 200, 202

## O

Óleo Essencial 119, 120, 122, 124, 125, 126, 127, 128  
Óleo Fúsel 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248  
Onda Eletromagnética 55, 59, 61, 64, 70, 75, 82, 87

## P

Pedogênese 183, 184, 186, 199  
Peneiras Moleculares 146, 148  
Plantas Daninhas 200, 201, 227, 246, 247  
Plataforma Continental 13  
Plumas de Emissários 13  
Polímeros 133, 136, 138, 139, 141, 143, 144, 170, 171, 173, 174, 175, 176, 177, 181, 261  
Processamento 44, 45, 47, 48, 49, 52, 97, 109, 114, 137, 144, 181, 236, 241  
Processo de Secagem 109, 110, 112, 114, 115  
Processos Pedogenéticos 183, 185, 186, 191, 192, 194, 196, 199  
Propriedades Medicinais 120

## R

Reaproveitamento 105, 240, 246, 247  
Região Costeira 13, 14

Resfriamento 43

Resíduos 47, 101, 103, 105, 106, 195, 240, 245, 273

## S

Sílicas Mesoporosas 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 154, 155, 156, 157, 158

Sistemas Dinâmicos 76

Sistemas Ópticos 76

Solventes Orgânicos 200, 202

## T

Tecnologia 57, 60, 93, 95, 97, 99, 100, 104, 105, 106, 108, 239, 273

Terras Raras 133, 137, 138, 143, 259, 261, 262, 263, 268

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

## U

Umidade 66, 77, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 123, 197, 198

## V

Variabilidade Ambiental 183, 184

Vulnerabilidade 11, 30, 31, 32, 34, 35, 37, 38, 39, 41



 **Atena**  
Editora

**2 0 2 0**