



Cleberton Correia Santos
(Organizador)

**Estudos Interdisciplinares
nas Ciências e da Terra
e Engenharias**


Ano 2019

Cleberton Correia Santos
(Organizador)

Estudos Interdisciplinares nas Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Natália Sandrini
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

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

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
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. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
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. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E82	<p>Estudos interdisciplinares nas ciências exatas e da terra e engenharias 1 [recurso eletrônico / Organizador Cleberton Correia Santos. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Estudos Interdisciplinares nas Ciências Exatas e da Terra e Engenharias; v. 1)</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-621-8 DOI 10.22533/at.ed.218191109</p> <p>1. Ciências exatas e da Terra. 2. Engenharias. 3. Tecnologia. I.Santos, Cleberton Correia. II. Série.</p> <p style="text-align: right;">CDD 016.5</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

O livro “**Estudos Interdisciplinares nas Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**” de publicação da Atena Editora apresenta em seu primeiro volume 35 capítulos relacionados temáticas de área multidisciplinar associadas à Educação, Agronomia, Arquitetura, Matemática, Geografia, Ciências, Física, Química, Sistemas de Informação e Engenharias.

No âmbito geral, diversas áreas de atuação no mercado necessitam ser elucidadas e articuladas de modo a ampliar sua aplicabilidade aos setores econômicos e sociais por meio de inovações tecnológicas. Neste volume encontram-se estudos com temáticas variadas, dentre elas: estratégias regionais de inovação, aprendizagem significativa, caracterização fitoquímica de plantas medicinais, gestão de riscos, acessibilidade, análises sensoriais e termodinâmicas, redes neurais e computacionais, entre outras, visando agregar informações e conhecimentos para a sociedade.

Os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora aos estimados autores que empenharam-se em desenvolver os trabalhos de qualidade e consistência, visando potencializar o progresso da ciência, tecnologia e informação a fim de estabelecer estratégias e técnicas para as dificuldades dos diversos cenários mundiais.

Espera-se com esse livro incentivar alunos de redes do ensino básico, graduação e pós-graduação, bem como pesquisadores de instituições de ensino, pesquisa e extensão ao desenvolvimento estudos de casos e inovações científicas, contribuindo então na aprendizagem significativa e desenvolvimento socioeconômico rumo à sustentabilidade e avanços tecnológicos.

Cleberton Correia Santos

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
CHÁ DE BOLDO: O SABER POPULAR FAZENDO-SE SABER CIENTÍFICO NO ENSINO DE QUÍMICA	
Andressa da Silva Muniz Monique Gonçalves	
DOI 10.22533/at.ed.2181911091	
CAPÍTULO 2	13
A ESTRATÉGIA REGIONAL DE INOVAÇÃO DA UNIÃO EUROPEIA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE SRIs NA AMÉRICA LATINA	
Guilherme Paraol de Matos Clarissa Stefani Teixeira Paulo Cesar Leites Esteves Solange Maria da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.2181911092	
CAPÍTULO 3	26
ENSINO DE TÉCNICAS LABORATORIAIS PELA ELABORAÇÃO DE SORVETE COM A FRUTA BERIBÁ/BIRIBÁ (<i>Annona hypoglauca</i>)	
Minelly Azevedo da Silva Alice Menezes Gomes Amanda Carolilna Cândido Silva Iasmim Moreira Linhares João Vitor Hermenegildo Bastos Mel Naomi da Silva Borges Rebeca da Costa Rodrigues Nilton Fagner de Oliveira Araújo Elza Paula Silva Rocha Cleber do Amaral Barros Jamil Mariano Macedo	
DOI 10.22533/at.ed.2181911093	
CAPÍTULO 4	37
A ETNOMATEMÁTICA COMO RECURSO METODOLÓGICO NO CONTEXTO DA EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA: UMA INVESTIGAÇÃO NO CURSO DE LICENCIATURA EM MATEMÁTICA DA UNICESUMAR	
Eliane da Rocha Rodrigues Ivna Gurniski de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.2181911094	
CAPÍTULO 5	52
USO DE GEOTECNOLOGIAS PARA MAPEAMENTO EM ÁREAS AGRICULTÁVEIS	
Ana Paula Brasil Viana Railton Reis Arouche Pedro Henrique da Silva Sousa Edvan Carlos de Abreu Dheime Ribeiro de Miranda Lineardo Ferreira de Sampaio Melo	
DOI 10.22533/at.ed.2181911095	

CAPÍTULO 6 58

O USO DA CASCA DA BANANA COMO ADSORVENTE RENOVÁVEL DE ÍONS METÁLICOS TÓXICOS

Adriana O. Santos
Danielle P. Freitas
Fabiane A. Carvalho
Fernando S. Melo
Juliana F. C. Eller
Stéphanie Calazans Domingues
Boutros Sarrouh
Willian A. Saliba

DOI 10.22533/at.ed.2181911096

CAPÍTULO 7 76

STATIC MAGNETIC TREATMENT OF IRRIGATION WATER ON DIFFERENTS PLANTS CULTURES IMPROVING DEVELOPMENT

Yilan Fung Boix
Albys Ferrer Dubois
Elizabeth Isaac Alemán
Cristiane Pimentel Victório
Rosani do Carmo de Oliveira Arruda
Ann Cuyppers
Natalie Beenaerts
Jorge González Aguilera
Alan Mario Zuffo

DOI 10.22533/at.ed.2181911097

CAPÍTULO 8 85

ANÁLISE DE ARQUITETURAS DE *DEEP LEARNING* APLICADO A UM BENCHMARK DE CLASSIFICAÇÃO

Henrique Matheus Ferreira da Silva
Max Tatsuhiko Mitsuya
Clayton André Maia dos Santos
Anderson Alvarenga de Moura Meneses

DOI 10.22533/at.ed.2181911098

CAPÍTULO 9 96

ANÁLISE DE VITAMINA C USANDO TÉCNICAS DE FLUORIMETRIA, CROMATOGRAFIA E ELETROFORESE

Luana Gabriela Marmitt
Sabrina Grando Cordeiro
Verônica Vanessa Brandt
Lucélia Hoehne

DOI 10.22533/at.ed.2181911099

CAPÍTULO 10 106

RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE MATEMÁTICA NO CURSO TÉCNICO EM AGROPECUÁRIA DO IFC – *CAMPUS SANTA ROSA DO SUL*

Julian da Silva Lima
Cassiano Scott Puhl
Neiva Ignês Grando

DOI 10.22533/at.ed.21819110910

CAPÍTULO 11 116

A VISÃO DOS PROFESSORES DE CIÊNCIAS DE ARAPIRACA-AL SOBRE O ENSINO DE ASTROBIOLOGIA

Janaína Kívia Alves Lima
Elielma Lucindo da Silva
Lilian Nunes Bezerra
Janice Gomes Cavalcante
Luis Carlos Soares da Silva
José Edson Cavalcante da Silva
Jhonatan David Santos das Neves
Daniella de Souza Santos

DOI 10.22533/at.ed.21819110911

CAPÍTULO 12 125

APLICAÇÃO DA GESTÃO DO CONHECIMENTO PARA MELHORIA DO PROCESSO DE ELABORAÇÃO DE PROPOSTAS DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA

André Felipe de Almeida Batista
Ricardo André Cavalcante de Souza

DOI 10.22533/at.ed.21819110912

CAPÍTULO 13 138

PRECIPITATION VARIABILITY ON THE STATE OF PARAÍBA IN ATMOSPHERIC CONDITIONS UNDER THE INFLUENCE OF UPPER LEVEL CYCLONIC VORTICES

André Gomes Penaforte
Maria Marle Bandeira
Magaly de Fatima Correia
Tiago Rocha Almeida
Flaviano Fernandes Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.21819110913

CAPÍTULO 14 148

AS CONTRIBUIÇÕES DO PLANETÁRIO E CASA DA CIÊNCIA DE ARAPIRACA PARA O ENSINO DE GEOGRAFIA E CIÊNCIAS NATURAIS

Luis Carlos Soares da Silva
Janaína Kívia Alves Lima
Janice Gomes Cavalcante
Jhonatan David Santos das Neves
Lilian Nunes Bezerra
Daniella de Souza Santos
José Edson Cavalcante da Silva
Elielma Lucindo da Silva

DOI 10.22533/at.ed.21819110914

CAPÍTULO 15 157

POLÍMERO SULFONADO UTILIZADO COMO CATALISADOR HETEROGÊNEO NA REAÇÃO DE ESTERIFICAÇÃO

Victória Maria Ribeiro Lima
Rayanne Oliveira de Araújo
Jamal da Silva Chaar
Luiz Kleber Carvalho de Souza

DOI 10.22533/at.ed.21819110915

CAPÍTULO 16 167

ATIVIDADE CRIATIVA (AC): UM MODO ALTERNATIVO PARA MINISTRAR O CONTEÚDO DE UMA DISCIPLINA DO CURSO NOTURNO DE FARMÁCIA DA UFRJ

Aline Guerra Manssour Fraga
Viviane de Oliveira Freitas Lione

DOI 10.22533/at.ed.21819110916

CAPÍTULO 17 180

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS MULTIEXTUSADOS: SIMULAÇÃO DO REPROCESSAMENTO DO POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD)

Fernando A. E Tremoço
Ricardo S. Souza
Valéria G. Costa

DOI 10.22533/at.ed.21819110917

CAPÍTULO 18 186

CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DE ARGILAS BENTONÍTICAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE NANOCOMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Carlos Ivan Ribeiro de Oliveira
Nancy Isabel Alvarez Acevedo
Marisa Cristina Guimarães Rocha
Joaquim Teixeira de Assis
Alexei Kuznetsov
Luiz Carlos Bertolino

DOI 10.22533/at.ed.21819110918

CAPÍTULO 19 197

AVALIAÇÃO PELA MODA, MÉDIA OU MEDIANA?

Luiz Fernando Palin Droubi
Norberto Hochheim
Willian Zonato

DOI 10.22533/at.ed.21819110919

CAPÍTULO 20 221

COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO DAS SOLUÇÕES FUNDAMENTAIS E O MÉTODO DOS VOLUMES FINITOS APLICADOS A UM PROBLEMA BIDIMENSIONAL DE DIFUSÃO DE CALOR

Bruno Henrique Marques Margotto
Carlos Eduardo Polatschek Kopperschmidt
Wellington Betencurte da Silva
Júlio Cesar Sampaio Dutra
Luiz Alberto da Silva Abreu

DOI 10.22533/at.ed.21819110920

CAPÍTULO 21 230

SINERGISMO DE MISTURAS DE COMPLEXOS ENZIMÁTICOS UTILIZADAS NA HIDRÓLISE DA CELULOSE EXTRAÍDA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR PRÉ-TRATADO COM H_2SO_4/H_2O_2 , EM MEIO ALCALINO

Leila Maria Aguilera Campos
Luciene Santos de Carvalho
Luiz Antônio Magalhães Pontes
Samira Maria Nonato de Assumpção
Maria Luiza Andrade da Silva
Heloise Oliveira Medeiros de Araújo Moura
Anne Beatriz Figueira Câmara

DOI 10.22533/at.ed.21819110921

CAPÍTULO 22	238
CONCEPÇÕES DE LINGUAGEM E SUAS IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO E A APRENDIZAGEM DA LINGUAGEM MATEMÁTICA	
Cíntia Maria Cardoso	
DOI 10.22533/at.ed.21819110922	
CAPÍTULO 23	248
DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE SOFTWARE INTERATIVO PARA PROJETOS CONCEITUAIS DE AERONAVES	
Carlos Antonio Vilela de Souza Filho	
Giuliano Gardolinski Venson	
Jefferson Gomes do Nascimento	
DOI 10.22533/at.ed.21819110923	
CAPÍTULO 24	260
ESTÁGIO CURRICULAR SUPERVISIONADO: UM OLHAR PARA O PROCESSO FORMATIVO POSSIBILITADO POR OBSERVAÇÕES DE AULA	
Mariele Josiane Fuchs	
Cláudia Maria Costa Nunes	
Elizangela Weber	
Lucilaine Goin Abitante	
DOI 10.22533/at.ed.21819110924	
CAPÍTULO 25	269
OTIMIZAÇÃO DOS CUSTOS FINANCEIROS DE UMA MADEIREIRA UTILIZANDO PROGRAMAÇÃO LINEAR	
Brenno Souza de Oliveira	
Edson Patrício Barreto de Almeida	
Vitor Miranda Sousa Brito	
DOI 10.22533/at.ed.21819110925	
CAPÍTULO 26	280
ESTUDO ATUALIZADO E ABRANGENTE DAS APLICAÇÕES PRÁTICAS DE GEOPROSPECÇÃO ELÉTRICA	
Pedro Henrique Martins	
Antonio Marcelino da Silva Filho	
Kaiisson Teodoro de Souza	
Márcio Augusto Tamashiro	
Humberto Rodrigues Macedo	
DOI 10.22533/at.ed.21819110926	
CAPÍTULO 27	292
FIQUE SABENDO: PLATAFORMA ACADÊMICA DE COMUNICAÇÃO	
Marco Antônio Castro Martins	
Lúcio Flávio de Jesus Silva	
George Miler Gomes Farias	
Diego Lisboa Pires	
DOI 10.22533/at.ed.21819110927	

CAPÍTULO 28 300

INVESTIGAÇÃO ESTRUTURAL, MORFOLÓGICA E FOTOCATALÍTICA DE MICROCRISTAIS DE β -(Ag_{2-2x}Zn_x)MoO₄

Fabiana de Sousa Cunha
Francisco Henrique Pereira Lopes
Amanda Carolina Soares Jucá
Lara Kelly Ribeiro da Silva
Keyla Raquel Batista da Silva Costa
Júlio César Sczancoski
Francisco Eroni Paz dos Santos
Elson Longo
Laécio Santos Cavalcante
Gustavo Oliveira de Meira Gusmão

DOI 10.22533/at.ed.21819110928

CAPÍTULO 29 325

PRODUTOS QUÍMICOS PERIGOSOS: EDUCAÇÃO AMBIENTAL E ENSINO DE QUÍMICA ATRAVÉS DA TEMÁTICA SANEANTES

Egle Katarinne Souza da Silva
Luislândia Vieira de Figueredo
Felícia Maria Fernandes de Oliveira
Luiz Antonio Alves Fernandes
Edilson Leite da Silva

DOI 10.22533/at.ed.21819110929

CAPÍTULO 30 339

INFLUÊNCIA DO SnCl₂ NA COPOLIMERIZAÇÃO DE NORBORNENO E ÁCIDO 5-NORBORNENO-2-CARBOXÍLICO VIA ROMCP CATALISADO POR RuCl₂(PCy₃)₂CHR

Sâmia Dantas Braga
Aline Aparecida Carvalho França
Vanessa Borges Vieira
Talita Teixeira da Silva
Aline Estefany Brandão Lima
Ravane Costa e Silva
Luís Fernando Guimarães Nolêto
Nouga Cardoso Batista
José Milton Elias de Matos
Benedito dos Santos Lima Neto
José Luiz Silva Sá
Geraldo Eduardo da Luz Júnior

DOI 10.22533/at.ed.21819110930

CAPÍTULO 31 347

MONITORAMENTO DE DESEMPENHO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA DO INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE CAMPUS PAU DOS FERROS

José Henrique Maciel de Queiroz
José Flávio Timoteo Júnior
Rogério de Jesus Santos

DOI 10.22533/at.ed.21819110931

CAPÍTULO 32 357

REDE FEDERAL EM SANTA CATARINA: ORIGEM, TRAJETÓRIA E ASPECTOS GERENCIAIS

Sônia Regina Lamego Lino

DOI 10.22533/at.ed.21819110932

CAPÍTULO 33	371
SISTEMA DE EDUCAÇÃO CORPORATIVA: EXPERIÊNCIAS BRASILEIRAS E CHINESAS PARA A INOVAÇÃO	
Regina Wundrack do Amaral Aires Cleunisse Aparecida Rauen De Luca Canto Patricia de Sá Freire	
DOI 10.22533/at.ed.21819110933	
CAPÍTULO 34	385
VARIABILIDADE TEMPORAL DE COMPOSTOS FENÓLICOS EM FOLHAS DE <i>Eucalyptus microcorys</i>	
Gilmara Aparecida Corrêa Fortes Pedro Henrique Ferri Suzana da Costa Santos	
DOI 10.22533/at.ed.21819110934	
CAPÍTULO 35	397
OXIDAÇÃO SELETIVA DO METANOL A FORMALDEÍDO ASSISTIDA POR N ₂ O SOBRE CATALISADOR Co,Ce DERIVADOS DE HIDRÓXIDOS DUPLOS LAMELARES	
Oséas Silva Santos Giulyane Felix de Oliveira Artur José Santos Mascarenhas Heloyza Martins. Carvalho Andrade	
DOI 10.22533/at.ed.21819110935	
SOBRE O ORGANIZADOR	408
ÍNDICE REMISSIVO	409

COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO DAS SOLUÇÕES FUNDAMENTAIS E O MÉTODO DOS VOLUMES FINITOS APLICADOS A UM PROBLEMA BIDIMENSIONAL DE DIFUSÃO DE CALOR

Bruno Henrique Marques Margotto

Universidade Federal do Espírito Santo
Vitória – Espírito Santo

Carlos Eduardo Polatschek Kopperschmidt

Universidade Federal do Espírito Santo
Vitória – Espírito Santo

Wellington Betencurte da Silva

Universidade Federal do Espírito Santo
Alegre – Espírito Santo

Júlio Cesar Sampaio Dutra

Universidade Federal do Espírito Santo
Alegre – Espírito Santo

Luiz Alberto da Silva Abreu

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Nova Friburgo – Rio de Janeiro

RESUMO: É resolvido um problema de difusão de calor bidimensional em uma geometria quadrangular com duas superfícies adiabáticas e duas apresentando fluxo de calor por convecção, de modo a apresentar transferência de calor linear no domínio de estudo, através dos métodos numéricos Volumes Finitos e Soluções Fundamentais, sendo o segundo utilizando pontos-fonte dentro do domínio, se assemelhando ao Método dos Nós de Contorno. Os dois métodos foram eficazes na determinação do perfil de temperatura no domínio. O Método das Soluções Fundamentais

apresentou melhores resultados em relação à precisão e a velocidade em todos os casos estudados.

PALAVRAS-CHAVE: Métodos Numéricos, Volumes Finitos, Soluções Fundamentais, Nós de Contorno, Difusão.

COMPARISON BETWEEN METHOD OF FUNDAMENTAL SOLUTIONS AND FINITE VOLUME METHOD APPLIED TO A BIDIMENSIONAL HEAT DIFFUSION PROBLEM

ABSTRACT: The purpose of this article is to solve a two-dimensional diffusion equation of heat problem for a quadrangular geometry with two adiabatic surfaces and two convection heat flux. The main goal is to present linear heat transfer on the studied domain, using Finite Volume Method and Method of Fundamental Solution, similar to Boundary Knot Method. Both methods were effective to determine domain temperature profile. The Method of Fundamental solution presented better results regarding accuracy and calculation time on studied cases.

KEYWORDS: Numerical method, Finite Volumes, Fundamental Solution, Boundary Knot, Diffusion.

1 | INTRODUÇÃO

A compreensão da física envolvida na transferência de calor e na dinâmica dos fluidos possui um papel fundamental para processos industriais, eventos naturais e diversos outros (Patankar, 1980). Para isso os métodos numéricos são amplamente utilizados para prever fenômenos que possuam geometrias e/ou equacionamentos mais complexos, sendo estes métodos muito estudados para se obter respostas cada vez mais precisas e rápidas. Visto isso, o objetivo deste artigo é a comparação da acurácia e tempo de resposta entre o Método dos Volumes Finitos e o Método das Soluções Fundamentais em um problema direto bem definido.

2 | MÉTODOS NUMÉRICOS

Os métodos numéricos aplicados neste artigo são apresentados nesta seção.

2.1 Método dos Volumes Finitos

O Método dos Volumes Finitos é um método numérico que consiste em integrar as equações diferenciais governantes no espaço e no tempo para um domínio tal a ser estudado de forma conservativa, como definido por Patankar (1980).

A discretização do domínio a ser estudado é necessária, visto que as equações governantes são definidas diferencialmente. Para isso, o domínio deve ser dividido em subdomínios, chamados de volumes de controle, descritos como na Figura 1, onde a integração das equações diferenciais é realizada em cada um dos volumes de controle. Para isso, a discretização será feita com malha estruturada simples, com elementos quadrangulares de dimensões estipuladas a partir do número de elementos desejados nas direções x e y .

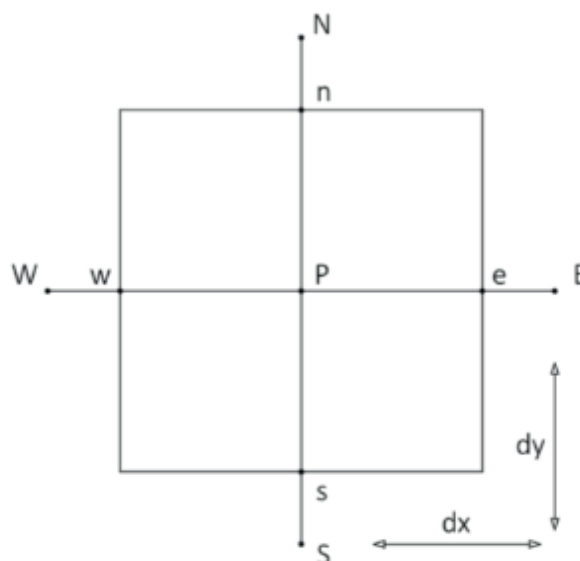


Figura 1 – Volume de controle quadrangular bidimensional

Fonte: Elaborada pelo autor.

Como definido por Versteeg & Malalasekera (1995), em um volume de controle, a propriedade analisada é dada em um ponto P, e os pontos N, S, E e W são os pontos de vizinhança ao norte, sul, leste e oeste, ou, para o caso 2D, ponto superior, inferior, à direita e à esquerda, respectivamente. A célula, como também é chamado o volume de controle, tem a interface representada por n, s, e, w, seguindo a convenção estabelecida para N, S, E, W, respectivamente.

A equação de difusão de calor sem geração em regime estacionário para um material isentrópico é expressa por (1).

$$\nabla(k\nabla T) = 0 \tag{1}$$

Para isso, integra-se a equação (1) e esta ficará representada pelos Método dos Volumes Finitos de acordo com (2).

$$\Delta y k \frac{(T_E - T_P)}{\Delta x} + \Delta y k \frac{(T_P - T_W)}{\Delta x} + \Delta x k \frac{(T_N - T_P)}{\Delta y} + \Delta x k \frac{(T_P - T_S)}{\Delta y} = 0 \tag{2}$$

Assim, de acordo com Versteeg & Malalasekera (1995), podemos rearranjar os termos e obter o equacionamento como se segue em (3).

$$a_P T_P = a_N T_N + a_S T_S + a_e T_e + a_w T_w + S_U \tag{3}$$

Onde os coeficientes são definidos como descrito na Tabela 1.

a_N, a_S	a_E, a_W	a_P
$\frac{\Delta x k y}{\Delta y}$	$\frac{\Delta y k x}{\Delta x}$	$a_N + a_S + a_E + a_W - S_P$

Tabela 1 - Coeficientes para os volumes de controle no interior do domínio

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os valores de S_U e S_P , neste caso, variam de acordo com as condições de contorno. Para as condições de contorno, imprescindíveis para a solução numérica, foram propostas para as faces à esquerda e à direita influência de fluxo de calor por convecção, e faces superior e inferior como superfícies adiabáticas, gerando assim os contornos descritos na Tabela 2.

Esquerda	Direita	Superior	Inferior
$a_E = 0$	$a_W = 0$	$S_U = h_{ref,N} T_{ref,N} dx$	$S_U = h_{ref,S} T_{ref,S} dx$
$S_U = q_l$	$S_U = q_r$	$S_P = h_{ref,S} dx$	$S_P = h_{ref,S} dx$

Tabela 2 - Coeficientes para os volumes de controle no contorno

Fonte: Elaborada pelo autor.

Com isso, aplica-se a todos os volumes de controle e faz-se o uso do método iterativo para obtenção do campo de temperatura no interior do domínio, neste caso, Gauss-Seidel.

2.2 Método das Soluções Fundamentais

O método das Soluções Fundamentais foi inicialmente descrito por Kupradze e Aleksidze (1964), vindo a se tornar um método efetivo na resolução de problemas diretos e inversos governados por equações diferenciais parciais, tendo se estendido para equações diferenciais parciais hiperbólicas, como apresentado por Young et. al. (2009).

A solução a partir do Método das Soluções Fundamentais é baseada na combinação linear de soluções fundamentais, como explicitado por Sun e He (2017), sendo um método que se aproxima da família dos Métodos de Trefftz, como explicitado por Karageorghis et. al. (2011).

Loeffler e Falchetto (2015) afirmam que a modelagem do Método das Soluções Fundamentais consiste na inserção de uma série de pontos de colocação sobre o contorno onde o problema será analisado, o que exige uma computação rigorosa das condições de contorno do problema mesmo sem ele exigir uma discretização explícita.

A aproximação através do Método das Soluções Fundamentais é dada pela Eq. (4), onde β_j são os coeficientes desconhecidos a serem determinados, G é a solução fundamental da equação diferencial elíptica em questão e N é o número de pontos fonte-fonte considerados.

$$u(x) = \sum_{j=1}^N \beta_j G(x, y_j) \quad (4)$$

De modo análogo ao desenvolvimento de Colaço et al. (2006), tem-se para solução da equação de Helmholtz em 2D a solução fundamental descrita na Eq. (5), onde $H_0^{(1)}$ é a função de Hänkel, definida pelas funções de Bessel de primeiro e segundo tipo e k equivale ao número de onda.

$$G(x, y_j) = (i/4)H_0^{(1)}(\kappa\|x - y\|) \quad (5)$$

Adotando apenas a função de Bessel de primeiro tipo em (5) é possível considerar pontos dentro do domínio, resultando em uma metodologia semelhante ao Método dos Nós de Contorno, ideia também desenvolvida por Chen (2001), resultando, portanto, nas Eq. (6) e (7), para cada ponto de colocação utilizado, sendo as funções para a temperatura e fluxo de calor, respectivamente, onde $\|\mathbf{r}_j\| = \|x - y_j\|$, \mathbf{n} o vetor normal e K a condutibilidade térmica do material de estudo.

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \beta_{i,j} J_0(\kappa_i \|\mathbf{r}_j\|) = T_0 \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \left(\frac{\mathbf{n} \cdot \mathbf{r}_j}{\|\mathbf{r}_j\|} \right) \kappa_i \beta_{i,j} J_1(\kappa_i \|\mathbf{r}_j\|) = \frac{q_{med}(x,y)}{K} \quad (7)$$

Nota-se que, conhecidos pontos no contorno em relação ao fluxo de calor e à temperatura é possível reduzir as Eq. (6) e Eq. (7) em um sistema linear descrito na forma matricial descrita na Eq. (8), onde existem $M \times N$ incógnitas $\beta_{i,j}$ e $2P$ equações, para P sendo o número de pontos de colocação, descrito em \mathbf{b} como o termo da direita das Eq. (6) e (7).

$$A\beta = \mathbf{b} \quad (8)$$

Determinados os coeficientes $\beta_{i,j}$, após aplicado mínimos quadrados quando o número de linhas é superior ao de colunas, é possível obter as temperaturas e fluxos a partir das aproximações indicadas pela Eq. (9) e (10), respectivamente.

$$T(x) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \beta_{i,j} J_0(\kappa_i \|\mathbf{r}_j\|) \quad (9)$$

$$\frac{\partial T(x,y)}{\partial n} = - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \left(\frac{\mathbf{n} \cdot \mathbf{r}_j}{\|\mathbf{r}_j\|} \right) \kappa_i \beta_{i,j} J_1(\kappa_i \|\mathbf{r}_j\|) \quad (10)$$

3 | RESULTADOS

O domínio em estudo é baseado no problema descrito por Valle (2007), que possui geometria simples de material isentrópico sem geração de calor de largura L e altura H .

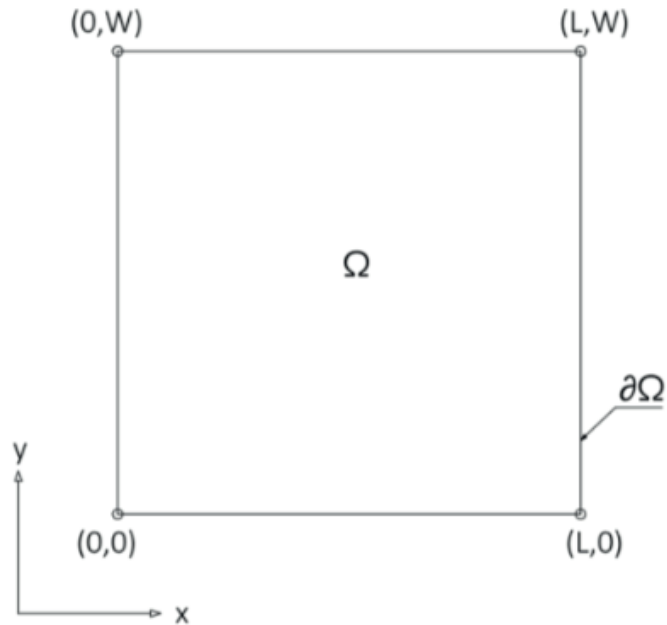


Figura 2 - Esquema para geometria estudada

Fonte: Elaborada pelo autor.

As equações governantes no domínio e as condições de contorno são apresentadas como segue nas Eq. (11), (12), (13), e (14).

$$\nabla^2 T = 0 \text{ no domínio } \Omega \quad (11)$$

$$k \frac{\partial T}{\partial x} = h_{ref,l} (T - T_{ref,l}) \quad \text{em } x = 0 \quad (12)$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = h_{ref,r} (T - T_{ref,r}) \quad \text{em } x = L \text{ no domínio } \Omega \quad (13)$$

$$\frac{\partial T}{\partial y} = 0 \quad \text{em } y = 0 \text{ e em } y = W \quad (14)$$

Portanto, tem-se nas faces em $x = 0$ e L contorno regido por convecção e nas faces em $y = 0$ e W contorno adiabático.

Inicialmente utilizou-se o Ansys® Steady-State Thermal de modo a gerar os dados que servirão de base para o desenvolvimento do artigo. Optou-se pelo uso da plataforma como forma de validação dos casos de estudo devido a sua simplicidade, sendo os resultados desta modelagem explicitados na Figura 3.

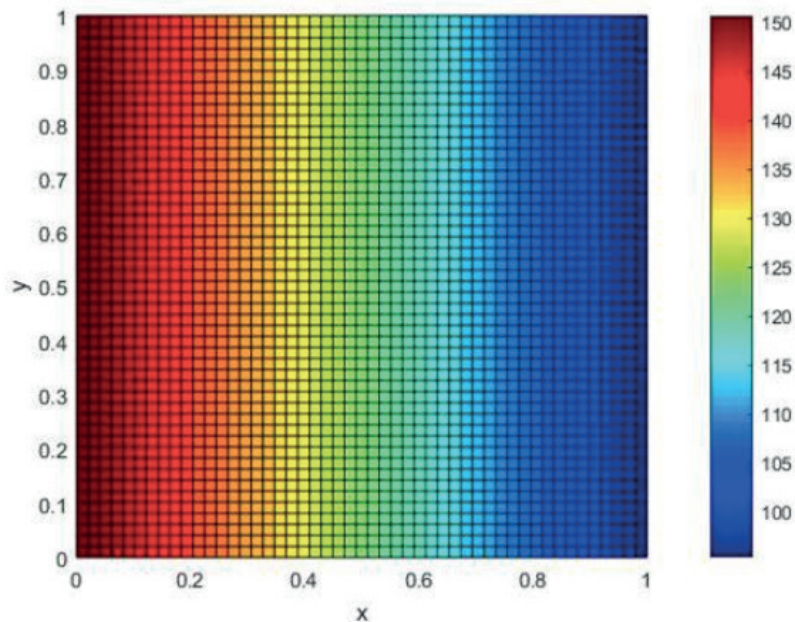


Figura 3 - Representação dos dados utilizados como modelo base nos experimentos numéricos

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os programas desenvolvidos para a solução do modelo via Método dos Volumes Finitos e Método das Soluções Fundamentais foram desenvolvidos na plataforma Matlab®, sendo o computador utilizado um Notebook de processador Core I5 com 8gb de memória RAM. Para as simulações, foram utilizadas malhas de 50x50, 25x25 e 10x10, respectivamente, sendo apresentados os erros e os tempos em cada caso, dispostos na Tabela (3).

Malha	erro MVF (%)	tempo MVF (s)	erro MSF (%)	tempo MSF (s)
10 x 10	0,7908	0.37	0,00042	0.19
25 x 25	0,6919	13.38	0,37645	2.73
50 x 50	0,3256	193.89	0,00066	53.42

Tabela 3 – Resultado dos experimentos numéricos

Fonte: Elaborada pelo autor.

Nos experimentos utilizando o Método das Soluções Fundamentais foi necessário encontrar em cada caso o melhor valor para o número de números de onda na obtenção da solução do sistema, sendo a ideia de Colaço et al. (2006) de determinar a frequência que apresente o menor erro na solução do sistema da Eq. (8), sendo neste artigo comparado o erro máximo relativo para cada valor de. O valor de 5 para o número de ondas se mostrou o melhor caso. Na resolução do sistema linear dado pela Eq. (8) foi utilizado o GMRES com tolerância de 1e-9, dados os resultados positivos obtidos por Valle (2007), tanto devido à velocidade do método quanto a sua boa precisão.

4 | CONCLUSÕES

Neste trabalho foram comparados parâmetros da solução de um problema direto de condução de calor através do Método dos Volumes Finitos e o Método das Soluções Fundamentais, sendo o último implementado de modo semelhante ao Método dos Nós de Contorno, onde os pontos fonte são inseridos dentro do domínio de estudo. Dados os parâmetros do sistema foram determinadas as temperaturas no domínio do problema.

O Método das Soluções Fundamentais se mostrou uma opção poderosa na aproximação das temperaturas tendo a exigência apenas de existir uma solução fundamental conhecida para a equação diferencial parcial do problema.

Além de ser mais rápido na solução direta do problema tanto para malhas mais grosseiras quanto mais refinadas em comparação ao Método dos Volumes Finitos para o caso estudado, o Método das Soluções Fundamentais apresentou acurácia consideravelmente maior em relação aos três casos estudados. Apesar de tais vantagens, o Método dos Volume Finitos apresenta relativa simplicidade de implementação, dada a ampla gama de trabalhos já desenvolvidos neste sentido, enquanto o Método das Soluções Fundamentais tem representado um tema de destaque em pesquisas mais recentes

5 | AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e com o apoio do Edital FAPES/CAPES nº 01/2018.

REFERÊNCIAS

CHEN, W. **Boundary Knot Method for Laplace and Biharmonic Problems**. Proceeding of the 14^o Nordic Seminar on Computational Mechanics, 117-120, Lund, 2001.

COLAÇO, M. J.; ORLANDE H. R. B.; ROBERTY N. C.; ALVES, C. J. S.; LEITÃO, V.; **On the use of MFS in linear inverse diffusion problems**, ENCIT, Curitiba, PR, 2006.

KARAGEORGHIS A., LESNIC D., MARIN L.; **A survey of applications of the MFS to inverse problems**. Inverse Problems in Science and Engineering. Vol. 19, No. 3, 309–336, abril, 2011

KUPRADZE, V. D.; ALEKSIDZE, M. A. **The Method of Functional Equations for the Approximative Solution of Certain Boundary Value Problems**; USSR Computational Mathematics and Mathematical Physics, Vol. 4, 82–126, Tbilisi, 1964.

LOEFFLER, C. F.; FALCHETTO, V. P., **Comparação entre os Métodos dos Elementos de Contorno e das Soluções Fundamentais em Problemas de Laplace**. Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics, Vol. 3, N. 2. Trabalho apresentado no III CMAC - SE, Vitória, ES, 2015.

PATANKAR, S. V., **Numerical Heat Transfer and Fluid Flow**, 1° ed., CRC Press, Florida, 1980.

SUN, Y.; HE, S.; **A meshless method based on the method of fundamental solution for three-dimensional inverse heat conduction problems**, International Journal of Heat and Mass Transfer. Vol. 108 ,945–960. 2017.

VALLE, M. F. **Estimativa Do Coeficiente De Transferência De Calor Em Uma Placa Via Método Das Soluções Fundamentais**, Tese de Mestrado, IME, Rio de Janeiro, RJ, 2007.

VERSTEEG, H. K.; MALALASEKERA, W. **An introduction to computational fluid dynamics: The Finite Volume Method**, 1° ed., Longman Scientific & Technical, Harlow, 1995.

YOUNG, D. L., GU, M. H., FAN, C.M. **The time-marching method of fundamentals solutions for wave equations**. Engineering Analysis with Boundary Elements, Vol. 33, 1411-1425, 2009.

SOBRE O ORGANIZADOR

CLEBERTON CORREIA SANTOS- Graduado em Tecnologia em Agroecologia, mestre e doutor em Agronomia (Produção Vegetal). Tem experiência nas seguintes áreas: agricultura familiar, indicadores de sustentabilidade de agroecossistemas, uso e manejo de resíduos orgânicos, propagação de plantas, manejo e tratos culturais em horticultura geral, plantas medicinais exóticas e nativas, respostas morfofisiológicas de plantas ao estresse ambiental, nutrição de plantas e planejamento e análises de experimentos agropecuários.

(E-mail: cleber_frs@yahoo.com.br) – ORCID: 0000-0001-6741-2622

ÍNDICE REMISSIVO

A

Agricultura 30, 38, 42, 43, 44, 45, 46, 52, 53, 56, 57, 77, 106, 110, 112, 141, 280, 281, 286, 287, 289, 333, 408

Agricultura de precisão 56, 289

Astrobiologia 116, 117, 118, 119, 121, 122, 123, 124

Atividade fotocatalítica 301

B

Bagaço de cana 64, 230, 233

C

Campo magnético estático 77, 83

Catalisador ácido sólido 157, 159

Celulose 65, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236

Compostos fenólicos 36, 385, 386, 387, 393, 394

Copolímeros 339, 340, 341, 342, 343, 344

Cromatografia 96, 97, 100, 105, 233, 234, 387, 399

D

Desenvolvimento tecnológico 373

E

Educação 1, 11, 25, 28, 30, 35, 37, 39, 41, 49, 50, 51, 52, 106, 107, 108, 109, 114, 115, 116, 117, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 126, 137, 148, 149, 152, 153, 154, 155, 156, 168, 169, 177, 178, 179, 245, 246, 260, 261, 262, 263, 268, 290, 291, 325, 327, 328, 329, 337, 338, 356, 357, 358, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 380, 381, 382, 383, 384

Eletroforese 96, 97, 102

Energia solar 347, 348, 349, 350, 354, 355

Ensino de matemática 51, 114

Estratégias regionais de inovação 20, 21

G

Geotecnologias 52, 53, 56, 57

H

Hidrólise 96, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236

I

Íons metálicos 62, 64, 65, 69, 400

M

Metátese 339, 340, 341, 346

Minigeração 347, 349, 350, 354, 355

N

Nanopartículas 186

Norborneno 339, 340, 341

O

Oxidação seletiva de metanol 397, 399

P

Planejamento territorial 52, 53, 55

Planetário 116, 117, 118, 119, 122, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155

Poliméricas 157, 159, 161, 163, 183, 188

R

Resina polimérica 157, 159, 160, 163, 164

S

Saber popular 1, 3, 4

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-621-8

