



# 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  
Jules 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

Fabício de Melo Rodrigues Barbosa  
Márcia 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  
Lúcia 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>

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

Data de aceite: 25/06/2020

Londrina - PR.

<http://lattes.cnpq.br/2018241615695790>

### **Eduardo Oliveira Belinelli**

Universidade Estadual de Londrina, Departamento  
Matemática,  
Londrina - PR.

<http://lattes.cnpq.br/7765410891571937>

### **Paulo Laerte Natti**

Universidade Estadual de Londrina, Departamento  
Matemática,  
Londrina - PR.

<http://lattes.cnpq.br/9638679509810719>

### **Neyva Maria Lopes Romeiro**

Universidade Estadual de Londrina, Departamento  
Matemática,  
Londrina - PR.

<http://lattes.cnpq.br/4461273355568982>

### **Eliandro Rodrigues Cirilo**

Universidade Estadual de Londrina, Departamento  
Matemática,  
Londrina - PR.

<http://lattes.cnpq.br/4013438197275949>

### **Lucas Henrique Fantin**

Universidade Estadual de Londrina, Departamento  
Agronomia,  
Londrina - PR.

<http://lattes.cnpq.br/5898123190760096>

### **Karla Braga de Oliveira**

Universidade Estadual de Londrina, Departamento  
Agronomia,

### **Marcelo Giovanetti Canteri**

Universidade Estadual de Londrina, Departamento  
Agronomia,  
Londrina - PR.

<http://lattes.cnpq.br/8756197722397278>

### **Érica Regina Takano Natti**

Pontifícia Universidade Católica do Paraná,  
Campus Londrina,  
Londrina - PR.

<http://lattes.cnpq.br/7055881494536454>

**RESUMO:** A ferrugem asiática é uma doença fúngica com o potencial de ser a doença mais destrutiva das lavouras de soja. Seus danos podem causar de 10% a 90% de perdas nas diversas regiões geográficas em que ocorre. O custo anual com a contenção dessa doença no Brasil gira em torno de 2 bilhões de dólares. O principal fator para a disseminação da doença é a produção de esporos pelo fungo, esporos que se desprendem das folhas de soja por meio do vento. Considerando que a doença tem sido relatada há anos no estado do Paraná, diversas medidas de controle têm sido utilizadas para combatê-la, como por exemplo, o período de vazio sanitário. Entretanto, esse procedimento não ocorre em países vizinhos ao estado do Paraná, como no Paraguai. Compreender como os fatores atmosféricos influenciam na

dispersão da ferrugem asiática pelo ar é fundamental para prever medidas de controle e manejo da doença. Nesse contexto, este trabalho teve por objetivo gerar malhas retangulares para simular o transporte atmosférico da ferrugem asiática no estado do Paraná. O processo de geração de malhas visa decompor um determinado domínio geométrico contínuo em elementos discretos. O domínio geométrico do problema em estudo é o estado do Paraná e seu entorno. Neste trabalho, as malhas geradas têm as dimensões: 10×10, 15×15 e 20×20. A geometria interna à malha (mapas) foi construída por interpolação Spline Cúbico. Condições iniciais, condições de contorno e campos de velocidades das correntes atmosféricas são implementadas nas malhas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cultivo da Soja, ferrugem asiática, modelagem matemática, malhas computacionais, correntes atmosféricas.

**ABSTRACT:** Asian rust is a fungal disease with the potential to be the most destructive disease in soybean plantations. Its damages can cause 10% to 90% of losses in the different geographic regions where it occurs. The annual cost of containing this disease in Brazil is around 2 billion dollars. The main factor for the spread of the disease is the production of spores by the fungus, spores that come off the soy leaves through the wind. Considering that the disease has been reported for years in the state of Paraná, several control measures have been used to combat it, such as the sanitary following periods. However, this procedure does not occur in countries neighboring the state of Paraná, as in Paraguay. Understanding how atmospheric factors influence the dispersion of Asian rust in the air is essential to provide measures to control and manage the disease. In this context, this work aims to generate rectangular meshes to simulate the atmospheric transport of Asian rust in the state of Paraná. The mesh generation process aims to decompose a given continuous geometric domain into discrete elements. The geometric domain of the problem under study is the state of Paraná and its surroundings. In this work, the generated meshes have the dimensions: 10×10, 15×15 and 20×20. The internal geometry of the mesh (maps) was constructed by Spline Cubic interpolation. Initial conditions, boundary conditions and velocity fields of atmospheric currents are implemented in the meshes.

**KEYWORDS:** Soybean cultivation, asian rust, mathematical modeling, computational meshes, atmospheric currents.

## 1 | INTRODUÇÃO

A soja é uma das dez culturas de maior importância econômica em âmbito mundial devido à grande demanda de grãos para a produção de óleo vegetal e rações, como também, fonte alternativa na produção de biocombustíveis. O Brasil é o segundo maior país produtor de soja do mundo. Apenas na safra 2018/19, a produção de soja no país foi superior a 100 milhões de toneladas, em uma área equivalente a 35,8 milhões de hectares. O maior estado brasileiro produtor de soja foi o Mato Grosso com uma produção de 32,455 milhões de toneladas, em uma área de 9,7 milhões de hectares, seguido pelo estado do Paraná, com aproximadamente 16,253 milhões de toneladas, em uma área de 5,438 milhões de hectares

(EMBRAPA, 2020; CONAB, 2020).

O cultivo da soja no estado do Paraná ocorre na primavera entre os meses de setembro e outubro. Nos meses seguintes (novembro e dezembro) é o período em que a planta se desenvolve, e de janeiro a março o período da colheita. Durante os meses de crescimento da planta, diversas doenças atingem a cultura da soja, desde o estágio de germinação das sementes até a colheita dos grãos. Estima-se que a cultura da soja é afetada por 47 doenças, causadas por fungos, bactérias, protozoários ou insetos (FIALLOS, 2011). Entre as doenças já relatadas, encontra-se a ferrugem asiática, que tem o potencial de ser a doença mais destrutiva às lavouras de soja.

A ferrugem asiática é uma doença fúngica que afeta todos os anos a produção de soja em escala mundial (MINCHIO et al., 2016). O custo anual com a contenção da doença gira em torno de 2 bilhões de dólares, sendo a maior parte com gastos em aplicações de fungicidas (EMBRAPA, 2020). O agente etiológico da ferrugem asiática é o fungo *Phakopsora pachyrhizi*, que depende de hospedeiros vivos, como a soja, ou de hospedeiros secundários, como plantas daninhas, para sobreviver e se multiplicar. O principal agravante da doença é que a disseminação ocorre devido à produção de esporos pelo fungo, que se despreendem das folhas de soja devido ao vento. Nesse contexto, correntes atmosféricas permitem que os esporos alcancem grandes altitudes, percorrendo longas distâncias e ocasionando a contaminação de grandes áreas produtoras de soja. Na literatura, encontram-se alguns trabalhos, tais como (ISARD et al., 2005; PAN et al., 2006; ISARD et al. 2007; LI et al., 2009; MINCHIO et al. 2016; MEYER et al., 2017), que estudam o transporte atmosférico dos esporos da ferrugem asiática por longas distâncias.

No estado do Paraná, a maior parte da contaminação por ferrugem asiática que acontecia no campo era durante a entressafra (após a colheita), pois nesse período, hospedeiros secundários (plantas daninhas e soja voluntária) serviam como fonte de inóculo primário para a doença (EMBRAPA, 2020). Para reduzir o número de casos na entressafra, e atrasar a ocorrência da doença na safra, foi introduzido em alguns estados brasileiros, inclusive no estado do Paraná, um período de sessenta a noventa dias sem plantas vivas no campo, denominado vazio sanitário. Na prática, os agricultores fazem rodízio de culturas, sendo proibida a plantação de soja no período de vazio sanitário. Contudo, esse mesmo procedimento, considerado como a melhor forma de reduzir o número de hospedeiros da doença no campo, não ocorre em outros países produtores de soja que fazem fronteira com o estado do Paraná, como no Paraguai, onde o cultivo da soja é constante o ano inteiro.

Na sequência, considerando que os esporos da ferrugem asiática são transportados predominantemente pelo vento, analisam-se as correntes atmosféricas predominantes no Paraná. A corrente atmosférica que predomina no estado do Paraná são os Ventos Alísios (VA), que ocorrem em escala planetária, devido à rotação da Terra. Os Ventos Alísios sopram de Leste para o Oeste. Outro fenômeno atmosférico que provoca ventos de Leste para o Oeste no Paraná é o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Localizado no Oceano Atlântico, entre a América do Sul e o continente africano, ele exerce grande influência no clima brasileiro, seja no verão ou no inverno. No verão é responsável pelo aumento

da temperatura no Brasil, com a ocorrência de ventos fracos, enquanto no inverno causa inversão térmica e concentração de poluentes nas regiões centro-oeste, sudeste e sul do Brasil (SILVA et al., 2011).

Por outro lado, o regime de ventos dominante Leste-Oeste também é influenciado pela passagem de frentes frias, que se intensificam no inverno e na primavera. Esses ventos são ocasionados pelo fenômeno denominado Depressão Barométrica do Nordeste da Argentina (DBNA). O DBNA é uma área permanente de baixas pressões, geralmente estacionária a leste da Cordilheira dos Andes, causada pelo bloqueio da circulação geral imposto pela parede montanhosa dos Andes e acentuada pelo intenso aquecimento das planícies de baixa altitude na região. Quando massas de ar frias se deslocam das regiões polares (altas pressões) para a DBNA (baixas pressões), a frente fria é desviada em direção ao Paraná, com ventos intensos no sentido de oeste para leste (COPEL, 2007).

Nesse contexto, argumenta-se que as frentes frias podem ser responsáveis pelo transporte dos esporos de regiões infectadas do Paraguai para o estado do Paraná. Assim, compreender os mecanismos pelo quais os esporos da ferrugem asiática podem ser transportados para o estado do Paraná, via frentes frias, é de fundamental importância. Esse estudo pode além de comprovar a hipótese de que o Paraguai é o principal responsável pela contaminação das culturas de soja no Paraná/Brasil pela ferrugem asiática, pode também prever e avaliar os impactos nas plantações de soja devido a esse fungo, propondo medidas de controle e manejo da doença no campo. Desta forma, este trabalho teve por objetivo gerar uma malha retangular bidimensional para simular o transporte atmosférico dos esporos da ferrugem asiática no estado do Paraná, provenientes de regiões infectadas do Paraguai, por meio das frentes frias.

Na seção 2 é apresentado o modelo matemático que descreve a dispersão da concentração de fungos na região de estudo, juntamente com as condições iniciais e de contorno. Na seção 3 é descrito o procedimento de geração de malha, quando a região do estado do Paraná e seu entorno são discretizados. Na seção 4 são mostrados os resultados em malhas 10x10, 15x15 e 20x20. E na seção 5, são apresentadas as conclusões.

## 2 | MODELO MATEMÁTICO

O transporte atmosférico dos esporos da ferrugem asiática abordado neste trabalho é modelado por uma equação diferencial parcial (EDP) bidimensional com termos difusivo, convectivo e reativo, ou seja,

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left( \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) - \left( \frac{\partial [C v_x]}{\partial x} + \frac{\partial [C v_y]}{\partial y} \right) - \lambda C, \quad (1)$$

*termo temporal   termo difusivo   termo convectivo   termo reativo*

onde  $C = C(x,y,t)$  é a função que representa a concentração de esporos na posição  $(x,y)$  no instante  $t$ ,  $D$  é o coeficiente de difusão molecular dos esporos suspensos no ar,  $v=(v_x, v_y)$  é o campo de velocidades que descreve as frentes frias e  $\lambda$  é a taxa de mortalidade dos esporos durante o transporte atmosférico.

Nas próximas seções são discutidas as condições iniciais e de contorno para a equação (1).

### 2.1.1 Condição inicial para a concentração de esporos

A Figura 1 representa a região de estudo onde será descrito o transporte dos esporos da ferrugem asiática, devido às frentes frias, do Paraguai para o Paraná. A região contém o estado do Paraná e seu entorno, incluindo parte do Paraguai. Denomina-se essa região de domínio geométrico de soluções, pois é nessa região que se procura soluções para a equação (1).

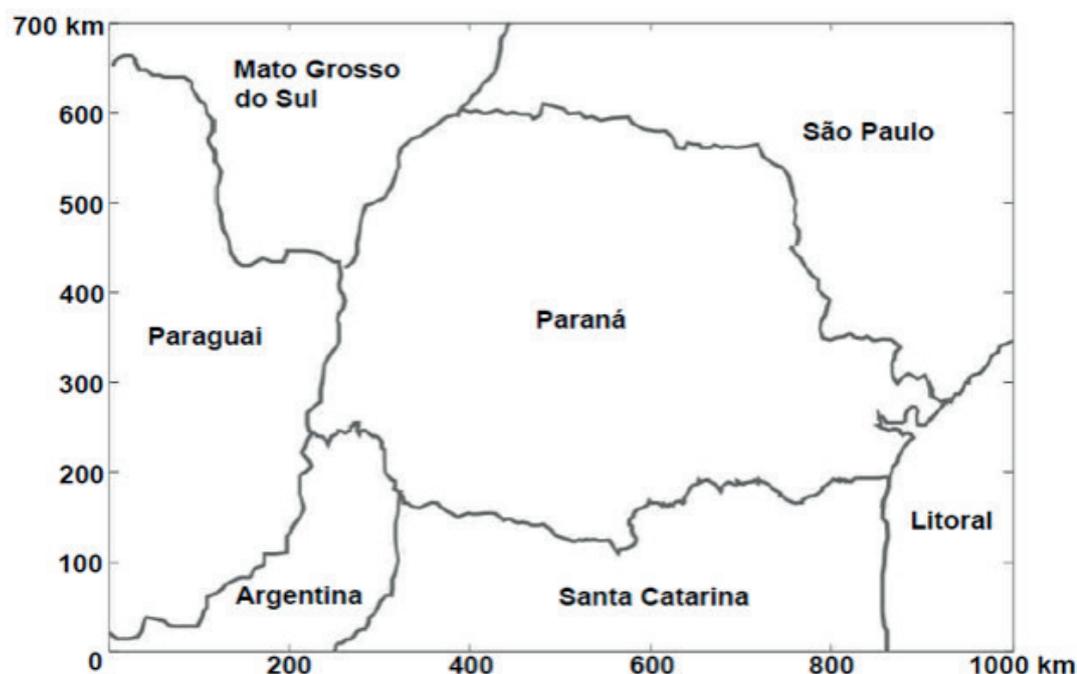


Figura 1. Domínio geométrico de soluções. Fonte: Autor.

A condição inicial para a concentração de esporos considera que no instante de tempo  $t = 0$  não há fungos sobre a geometria interna da região representada na Figura 1, ou seja,

$$C(x, y, 0) = 0. \quad (2)$$

### 2.1.2 Condição inicial para o campo de velocidades

O campo de velocidades que representa as frentes frias, descrito matematicamente no termo convectivo da equação (1), é obtido a partir de dados reais disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Considerando que o cultivo da soja no estado do Paraná ocorre entre os meses de setembro a março, os campos de velocidades

que descrevem as frentes frias contemplam esses fenômenos atmosféricos no período do final de outubro ao início de fevereiro, isso para a safra 2018/19.

### 2.1.3 Condição de contorno para a concentração de esporos

Para estabelecer as condições de contorno para a equação (1), com relação à concentração de esporos, consideram-se, inicialmente, as regiões do Paraguai produtoras de soja destacadas pelas cores verde, amarelo e vermelho na Figura 2.

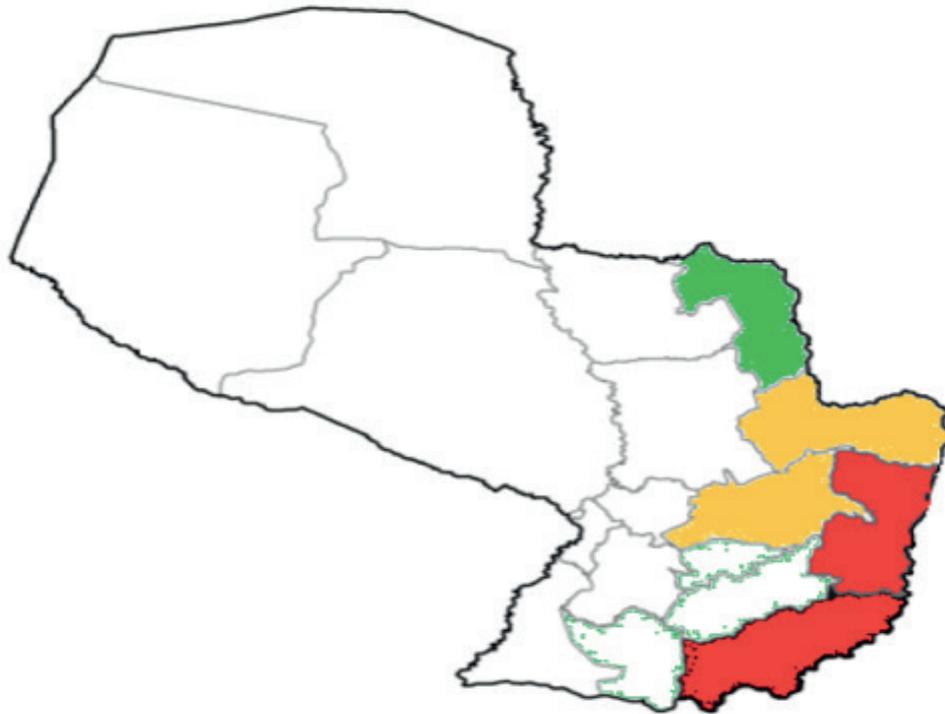


Figura 2. Regiões produtoras de soja no Paraguai. As regiões em vermelho têm alta produção, em amarelo têm produção mediana e em verde são regiões com baixa produção. As regiões em branco não produzem soja. Fonte: Autor.

De acordo com a *Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas (CAPECO)* - site oficial do governo do Paraguai - as regiões destacadas pela cor vermelha na Figura 2 são as regiões com maior produção de soja no Paraguai. As regiões em amarelo são regiões com produção intermediária, enquanto as regiões na cor verde são as regiões com baixa produção de soja. Essas informações são utilizadas como condições de contorno do tipo Dirichlet para a equação (1). Entretanto, não é conhecida a concentração absoluta de fungos/esporos da ferrugem asiática nas plantações de soja nessas regiões, pois essas informações não são disponibilizadas pelo governo do Paraguai.

Desta forma, considera-se neste estudo a dinâmica de concentrações relativa de esporos/fungos. Considera-se que as regiões que mais produzem soja no Paraguai são as regiões que têm as maiores contaminações de fungos ou esporos da ferrugem asiática. Nesse contexto, os valores numéricos que são atribuídos para as concentrações de esporos da ferrugem asiática, que contemplam as regiões produtoras de soja no Paraguai, são representados por números na forma relativa (ou percentual) no intervalo  $[0,1]$ , onde o valor

1 corresponde às regiões de maior produção/contaminação e os valores próximos à zero correspondem às regiões de menor produção/contaminação.

Nesse estudo considera-se que, se o tempo de duração de uma frente fria for suficientemente longo para que os esporos da ferrugem asiática ultrapassem a geometria física do domínio de soluções, os esporos devem vazar do domínio geométrico de soluções. Dessa forma, condições de contorno do tipo Neumann são estabelecidas para representar o fluxo contínuo do transporte de esporos nos bordos à direita, superior e inferior da região apresentada na Figura 1.

### 3 | DISCRETIZAÇÃO DO DOMÍNIO DE SOLUÇÕES

Considerando que a equação (1) não possui solução analítica, faz-se necessário uma abordagem numérica para obter soluções do problema em estudo. Na resolução numérica de equações diferenciais, problemas contínuos são transformados em problemas discretos. O processo de discretização é realizado tanto na equação diferencial como no domínio geométrico de soluções. No domínio de soluções, a transformação consiste na decomposição de uma região geométrica contínua em um conjunto finito de pontos, de modo que seja possível a aplicação de métodos numéricos para aproximar soluções das equações diferenciais somente nesses pontos discretos (MACHADO, 2008; CUMINATO e MENEGUETTE, 2013). O domínio de soluções definido neste trabalho é uma região retangular fechada do , que tem como geometria interna o estado do Paraná e suas respectivas fronteiras, conforme ilustra a Figura 1.

A discretização bidimensional do domínio de soluções consiste em obter um conjunto finito de pares ordenados  $(x,y)$ , que estão espaçados entre si por distâncias  $\Delta x$  e  $\Delta y$ , respectivamente. Esse conjunto de pares ordenados recebe o nome de malha computacional. A malha computacional definida neste trabalho foi obtida a partir das operações definidas na Tabela 1.

<b>Discretização do domínio de soluções.</b>
<b>Dados iniciais do domínio de soluções.</b>
$x_0 = 0; \quad x_f = 1000; \quad y_0 = 0; \quad y_f = 700;$
<b>Número de partições.</b>
$M_x = \text{dados de entrada};$
$M_y = M_x;$
<b>Comprimento das partições.</b>
$\Delta_x = \frac{(x_f - x_0)}{M_x}; \quad \Delta_y = \frac{(y_f - y_0)}{M_y};$
<b>Malha computacional.</b>
$x = (x_0 : \Delta_x : x_f); \quad y = (y_0 : \Delta_y : y_f);$

Tabela 1. Implementação computacional para a discretização bidimensional do domínio geométrico de soluções. Fonte: Autor.

De acordo com a Tabela 1, os dados iniciais correspondem à dimensão do domínio de soluções, conforme a Figura 1. As variáveis:  $x_0=0$ ,  $x_f=1000$ ,  $y_0=0$  e  $y_f=700$ , definem a dimensão do domínio de soluções em que a geometria interna da Figura 1 está inserida. As variáveis  $M_x$  e  $M_y$  definem o número de partições que serão realizadas nos eixos  $x$  e  $y$ , respectivamente, enquanto que as variáveis  $\Delta x$  e  $\Delta y$  definem o comprimento das partições. Desse modo, as variáveis contínuas  $x$  e  $y$  se transformam num conjunto discreto de pares ordenados (pontos da malha) entre  $e$  e  $e$ , que estão igualmente espaçados entre si por uma distância  $\Delta x$  e  $\Delta y$ , respectivamente.

A discretização do domínio de soluções conforme a Tabela 1 resulta em uma malha computacional do tipo cartesiana estruturada, pois apresenta uma regularidade na distribuição espacial dos pares ordenados, isto é, os pontos da malha estão igualmente espaçados entre si (FORTUNA, 2012). Para que seja possível realizar a implementação computacional e discretizar o domínio de soluções apresentado na Figura 1, os pontos da malha (pares ordenados) devem ser identificados pelo computador por meio de índices. Geralmente, os índices  $i$  e  $j$  são utilizados para identificar um ponto na  $i$ -ésima coluna e na  $j$ -ésima linha da malha, respectivamente. Desta forma, dado um ponto da malha  $(i,j)$ , o mesmo possui coordenadas  $(x_0+i\Delta_x, y_0+j\Delta_y)$  com  $i=1, \dots, n_x$  e  $j=1, \dots, n_y$ , de modo que o ponto representa a origem do sistema de coordenadas, enquanto  $e$  e  $e$  são as quantidades de pontos nas dimensões  $x$  e  $y$ , respectivamente.

#### 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

As malhas nesta seção foram obtidas a partir da implementação computacional apresentada na Tabela 1. O código foi escrito em GNU Octave, versão (4.2.2), em um sistema operacional *Ubuntu - Linux*, em uma CPU Intel (R) Core i5-3567-D30P com 4 GB de memória de RAM e 1 TB de disco rígido.

Primeiramente, o domínio geométrico de soluções apresentado na Figura 1 é discretizado em malhas 10x10, 15x15 e 20x20, utilizando a implementação computacional das operações definidas na Tabela 1. Esses resultados são apresentados nas Figuras 3 a 5.

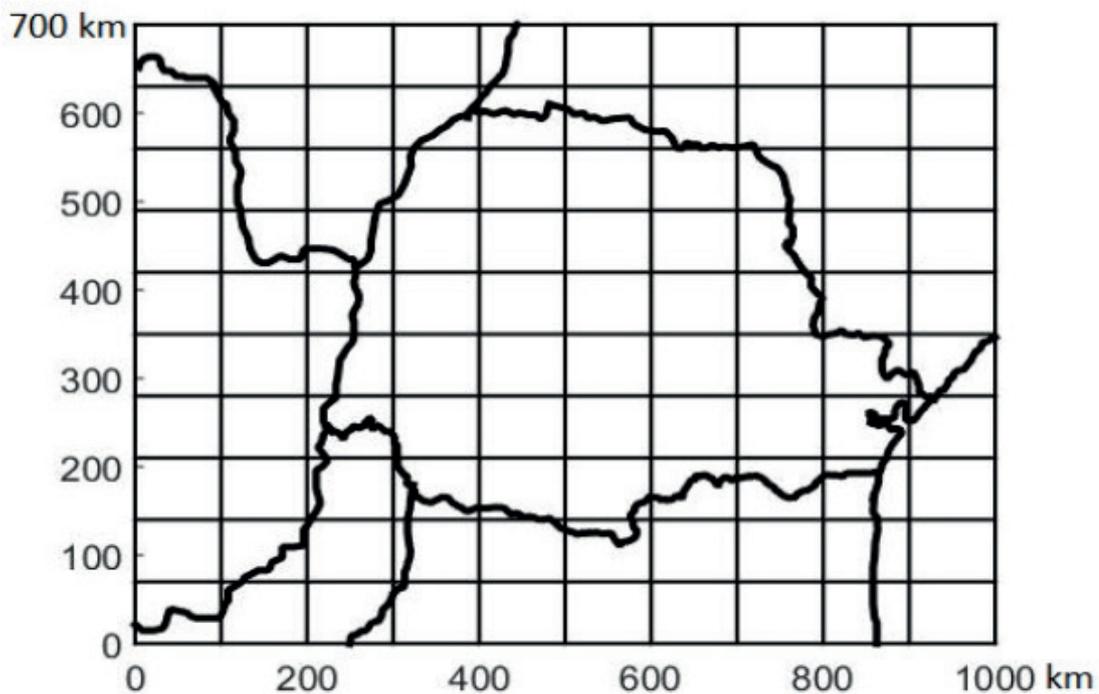


Figura 3. Malha computacional cartesiana estruturada (10X10). Fonte: Autor.

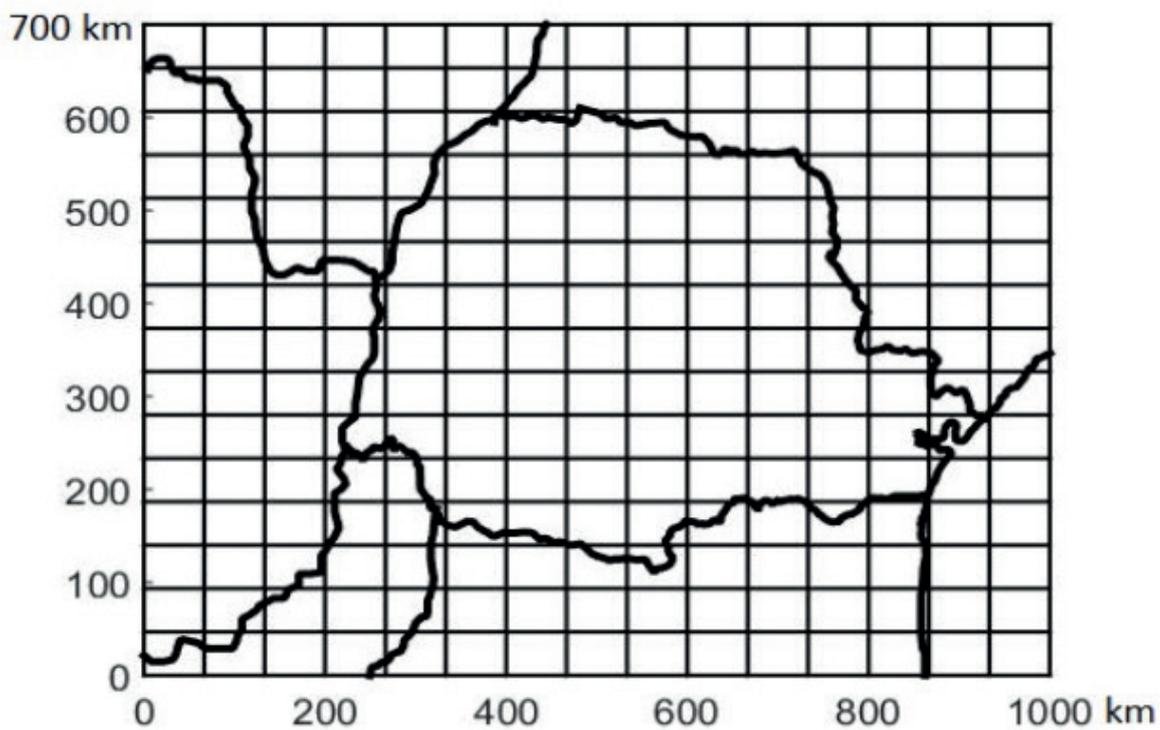


Figura 4. Malha computacional cartesiana estruturada (15 X 15). Fonte: Autor.

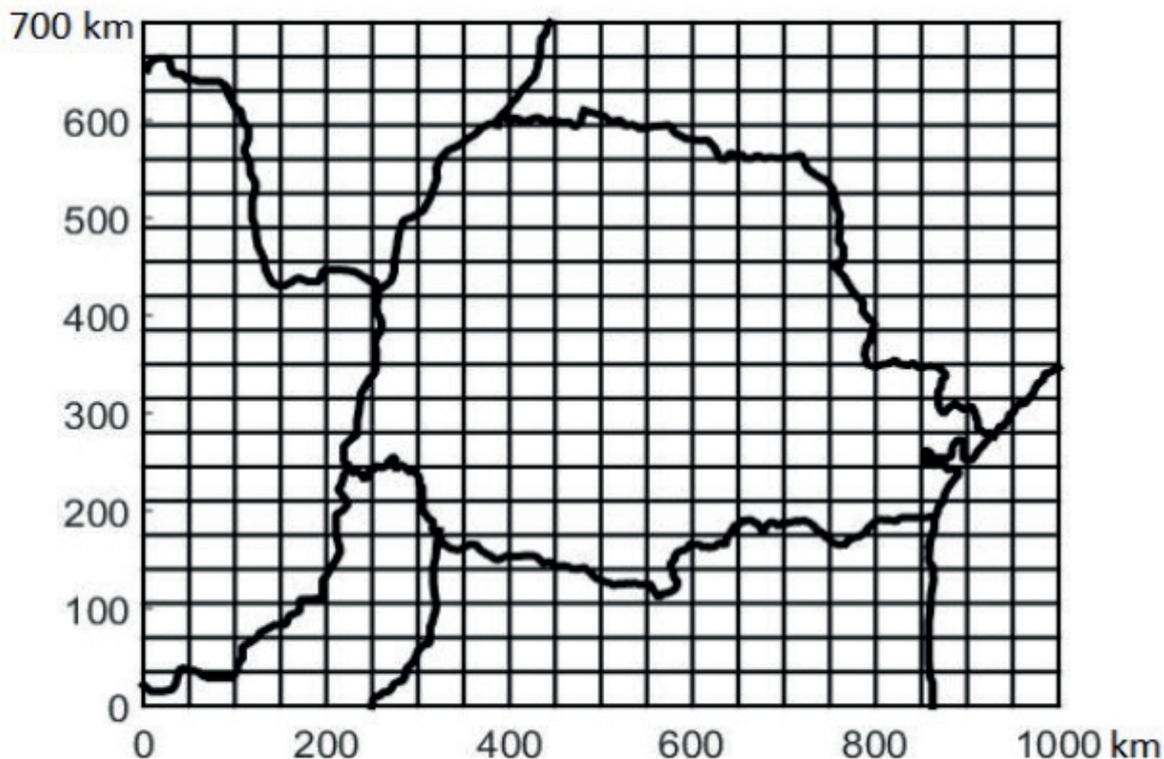


Figura 5. Malha computacional cartesiana estruturada (20 X 20). Fonte: Autor.

A partir das malhas computacionais cartesianas estruturadas (MCCE) apresentadas nas Figuras 3 a 5, podem-se inserir os campos de velocidades de diferentes frentes frias, ou as condições iniciais e de contorno, em cada ponto dessas malhas.

Nas Figuras 6 a 8 inseriu-se o campo de velocidades de uma frente fria que ocorreu em 25/10/2018 (INPE, 2020). Note nas Figuras 6 a 8 que é atribuído em cada ponto das diferentes malhas um vetor velocidades, com intensidade (módulo), direção e sentido. A intensidade das velocidades são dadas pelas cores e pode ser identificada na barra lateral de cores ao lado das Figuras. Esses campos de vetores descrevem localmente as velocidades dos ventos durante uma frente fria.

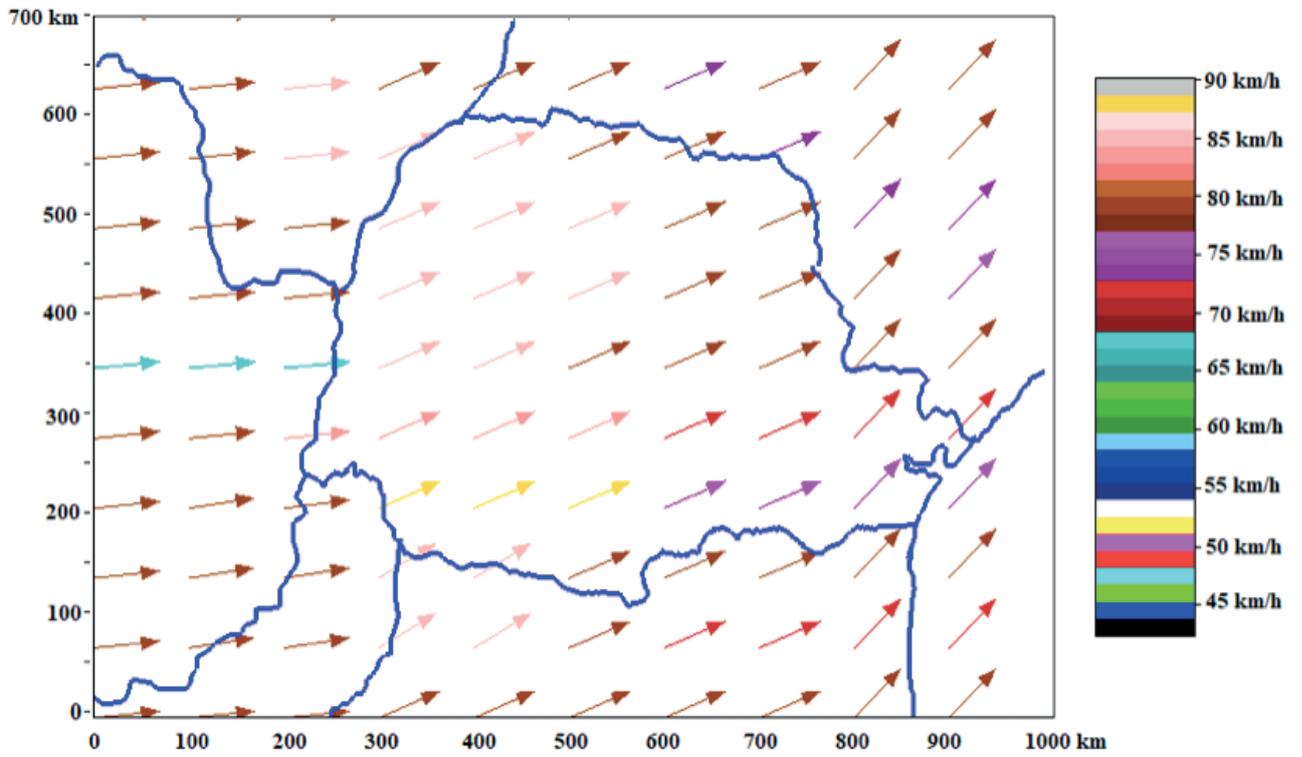


Figura 6. Campo de velocidades na malha computacional Fonte: Autor.

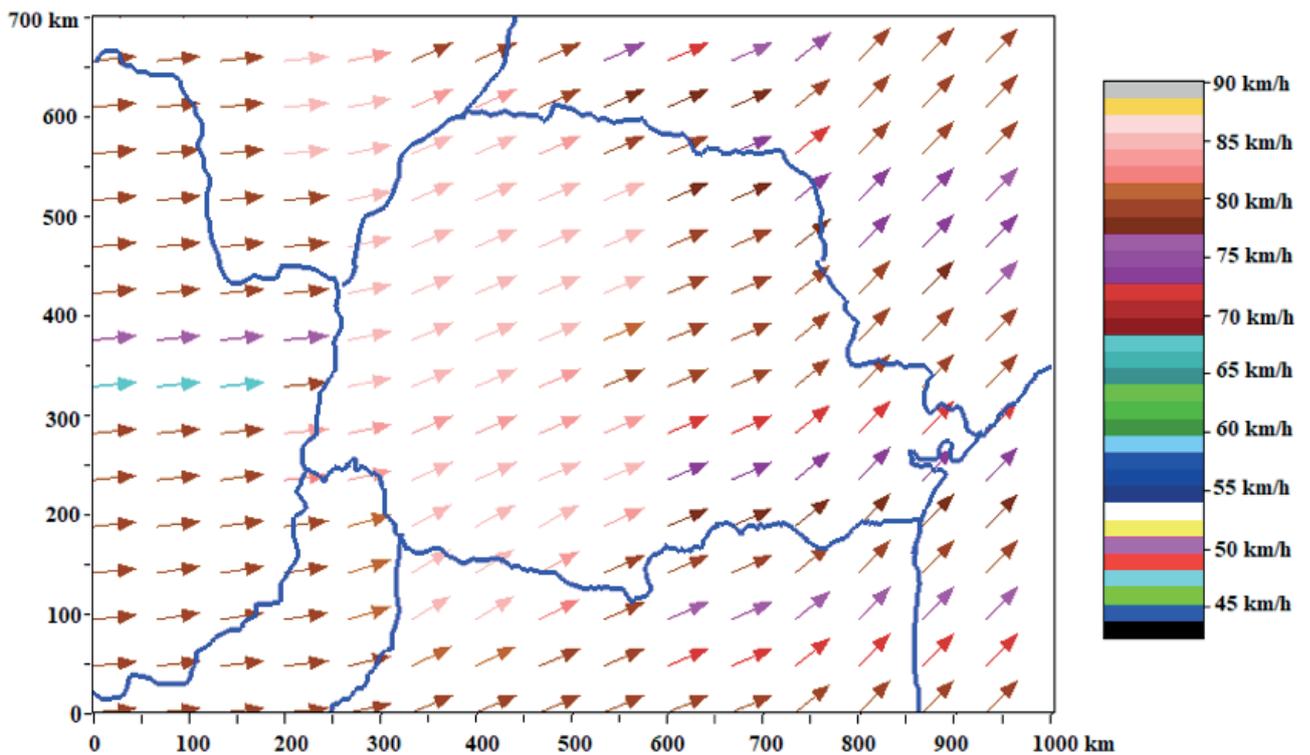


Figura 7. Campo de velocidades na malha computacional Fonte: Autor.

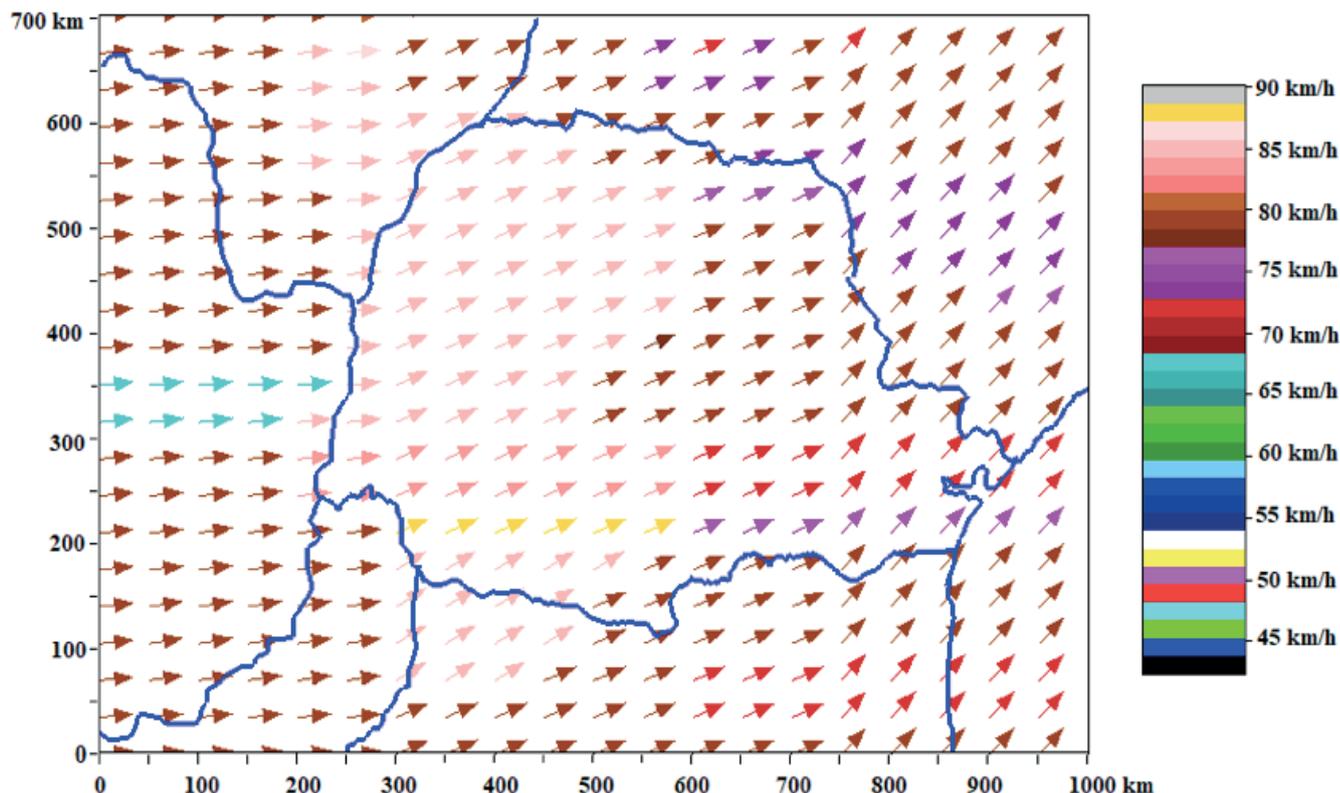


Figura 8. Campo de velocidades na malha computacional Fonte: Autor.

Dada uma região geométrica de soluções, quanto mais pontos a malha computacional tiver, mais refinada será a descrição da propriedade estudada e, conseqüentemente, melhor será a aproximação do mundo real contínuo pelo modelo matemático discreto. Por outro lado, ao refinarmos uma malha computacional, o número de cálculos aumenta muito, pois o número de pontos da malha aumentou, fazendo com que o tempo de processamento aumente também. Dai a necessidade de supercomputadores para realizarem cálculos complexos em malhas muito refinadas.

Na seqüência mostram-se as malhas computacionais com as condições de contorno. Os pontos que recebem condições de contorno são os pontos verdes, amarelos, vermelhos e rosa. Os pontos do contorno, representados pelas cores verde, amarelo e vermelhos estão associados as plantações de soja contaminadas no Paraguai, conforme a Figura 2. Assim, os pontos identificados pela cor vermelha recebem valores de concentração de esporos iguais a 1. Os pontos na cor amarela recebem valores de concentração de esporos iguais a 0,8 e os pontos na cor verde recebem valores de concentração de esporos iguais a 0,05.

Ainda de acordo com a Figura 2, os pontos sem cor (no Paraguai) não tem plantações de soja, de modo que a concentração de esporos nesses pontos é nula. As condições de contorno que fixam valores para a concentração de esporos simulam uma injeção contínua de fungos levados pelas frentes frias do Paraguai para o Paraná e são chamadas de condições do tipo Dirichlet.

Quanto aos pontos do contorno identificados pela cor rosa, eles permitem que os esporos carregados pelas frentes frias, ao atingirem um bordo da região geométrica de

soluções, vazem para fora dessa região. Tais condições de fronteira garantem o aspecto físico do transporte (escoamento) de esporos, caso contrário os fungos iriam acumular-se nas fronteiras do domínio geométrico de soluções. Tais condições de fronteira são chamadas condições do tipo Neumann.

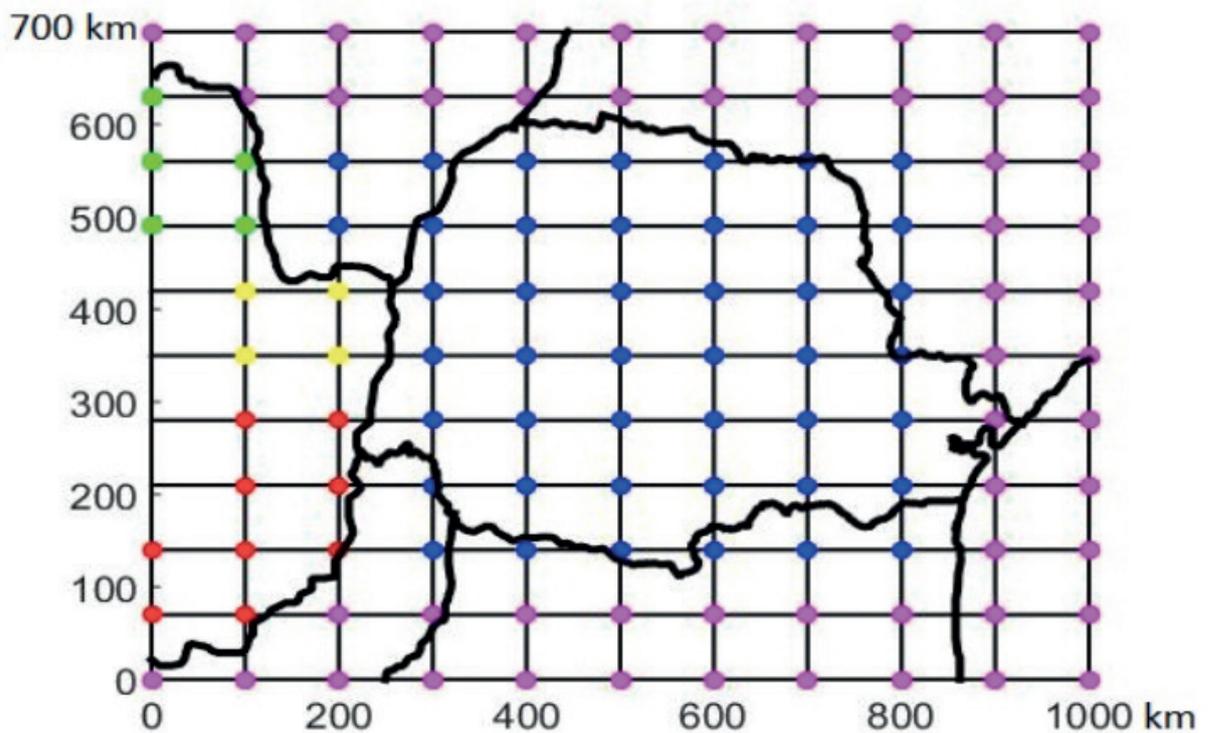


Figura 9. Identificação dos pontos da malha (10 X 10) que recebem condições iniciais, condições de contorno e os pontos onde a equação (1) será calculada. Fonte: Autor.

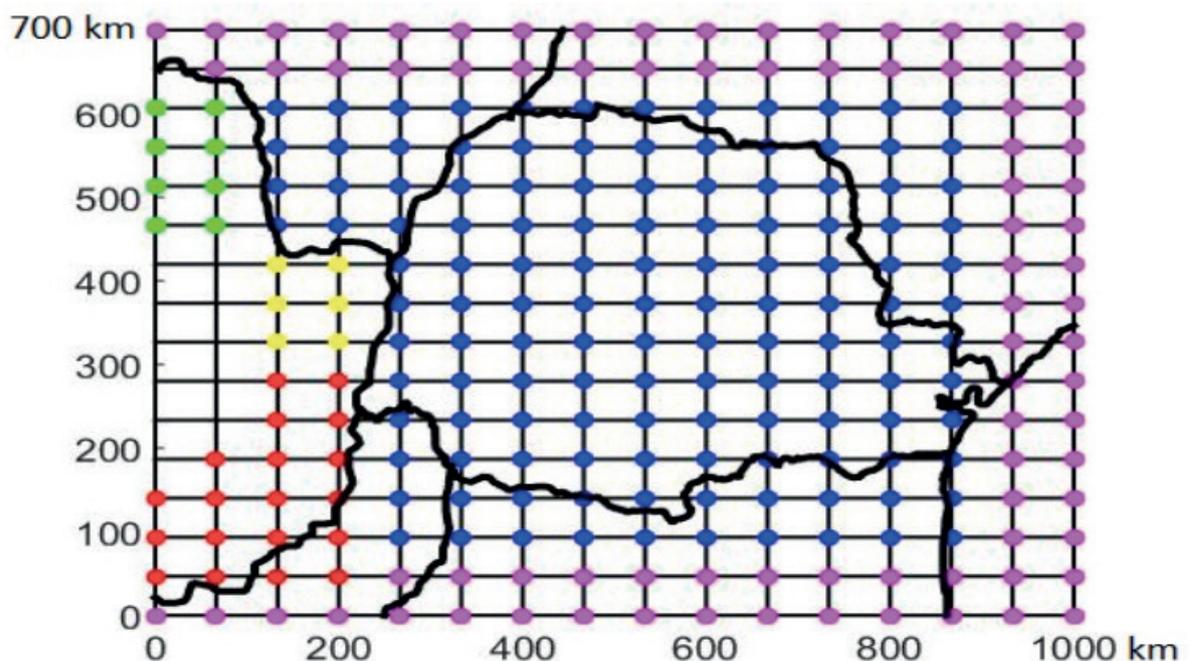


Figura10. Identificação dos pontos da malha (15 X 15) que recebem condições iniciais, condições de contorno e os pontos onde a equação (1) será calculada. Fonte: Autor.

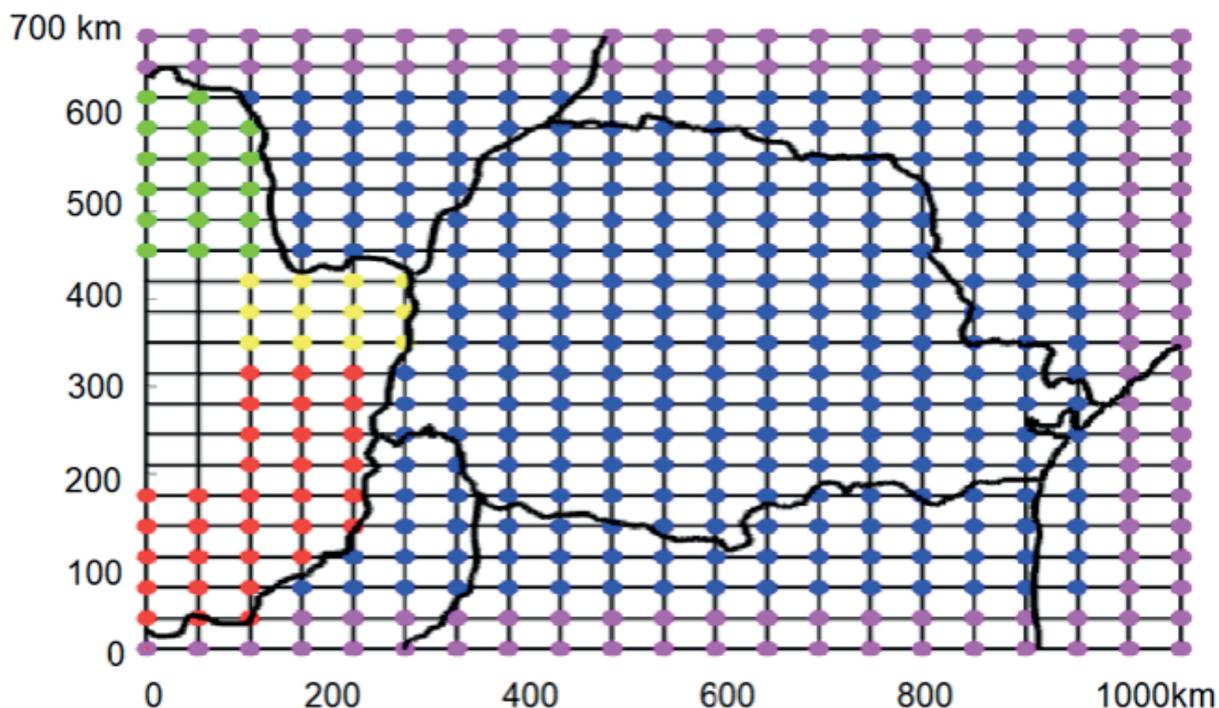


Figura 11. Identificação dos pontos da malha (20 X 20) que recebem condições iniciais, condições de contorno e os pontos onde a equação (1) será calculada. Fonte: Autor.

Enfim, note que em nosso modelo matemático calculam-se as concentrações de esporos  $C(x,y,t)$  apenas nos pontos azuis, pois nos demais pontos as concentrações de esporos  $C(x,y,t)$  são dadas pelas condições de contorno. Assim, a partir das condições iniciais dadas pela equação (2) e das condições de contorno (Figuras 9 a 11), inserindo um campo de velocidades (Figuras 6 a 9) no termo convectivo da equação (1), pode-se calcular para cada instante  $t$  e para cada ponto azul  $(x,y)$  da malha a solução da equação diferencial (1), e assim obter as concentrações de esporos  $C(x,y,t)$  em todos os pontos da malha.

## 5 | CONCLUSÕES

Verificou-se que o modelo matemático proposto para o transporte atmosférico dos esporos da ferrugem asiática no estado do Paraná é dado por uma equação diferencial parcial bidimensional com termos difusivo, convectivo e reativo, onde o termo convectivo depende do campo de velocidades da frente fria que transporta os esporos.

Considerou-se para a região geométrica do problema o estado do Paraná e seu entorno, principalmente as regiões do Paraguai com plantações de soja. Para esse domínio geométrico contínuo foram geradas malhas computacionais discretas com 10x10, 15x15 e 20x20 pontos. Em todas as malhas foram inseridas condições iniciais e de contorno, e campos de velocidades que simulam frentes frias reais. A partir dessas construções matemáticas será possível realizar simulações numéricas do transporte de esporos da ferrugem asiática no Paraná e em seu entorno.

De forma geral, conclui-se que, dada uma região geométrica de soluções, quanto mais pontos a malha computacional tiver, mais refinada será a descrição da propriedade estudada e, conseqüentemente, melhor será a aproximação do mundo real contínuo pelo modelo matemático discreto.

## REFERÊNCIAS

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br>>. Acesso em: março/2020.

COPEL. **Atlas do potencial eólico do estado do Paraná**. Curitiba: LACTEC, 2007.

CUMINATO, J.A.; MENEGUETTE, M. **Discretização de equações diferenciais parciais: técnicas de diferenças finitas**. Rio de Janeiro: SBMAC, 2013.

EMBRAPA - **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja>>. Acesso em: março/2020.

FIALLOS, F.R.G. **A ferrugem asiática da soja causada por Phakopsora pachyrhizi Sydow e Sydow**. Ciencia y Tecnologia, v.4, n.2, p. 45-60, 2011.

FORTUNA, A.O. **Técnicas computacionais para dinâmica dos fluidos**. 2 ed. São Paulo: Edusp, 2012.

INPE - **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Disponível em: <<http://www.inpe.br>>. Acesso em: março/2020.

ISARD, S.A.; GAGE, S.H.; COMTOIS, P.; RUSSO, J.M. **Principles of the atmospheric pathway for invasive species applied to soybean rust**. BioScience, v.55, n.10, p.851-861, 2005.

ISARD, S.A.; RUSSO, J.M.; ARIATTI, A. **The integrated aerobiology modeling system applied to the spread of soybean rust into the Ohio River valley during September 2006**. Aerobiologia, v.23, p.271-282, 2007.

LI, X.; YANG, X.B.; MO, J.Y.; GUO, T.X. **Estimation of soybean rust uredospore terminal velocity, dry deposition, and the wet deposition associated with rainfall**. European Journal of Plant Pathology, v.123, n.4, p.377-386, 2009.

MACHADO, L.G.P. **Malhas adaptativas em domínios definidos por fronteiras curvas**. 2008. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Computação e Matemática Aplicada) - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MEYER, M.; BURGİN, L.; HORT, M.C.; HODSON, P.D.; GILLICAN, C.A. **Large-scale atmospheric dispersal simulations identify likely airborne incursion routes of wheat stem rust into Ethiopia**. Phytopathology, v.107, n.10, p.1175-1186, 2017.

MINCHIO, C.A.; CANTERI, M.G.; FANTIN, L.H.; SILVA, M.A.A. **Epidemias de ferrugem asiática no Rio Grande do Sul explicadas pelo fenômeno ENOS e pela incidência da doença na entressafra**. Summa Phytopathologica, v.42, n.4, p.321-326, 2016.

PAN, Z.; YANG, X.B.; PIVONIA, S.; XUE, L.; PASKEN, R. **Long-term prediction of soybean rust entry into the continental United States**. Plant Disease, v.90, n.7, p.840-846, 2006.

SILVA, B.F.P.; FEDOROVA, N.; LEVIT, V.; PERESETSKY, A.; BRITO, B.M. **Sistemas sinóticos associados às precipitações intensas no estado de Alagoas**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.26, n.3, p.323-338, 2011.

## 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**