

# **Ciências Exatas e da Terra: Aprendizado, Integração e Necessidades do País 2**

Américo Junior Nunes da Silva  
André Ricardo Lucas Vieira  
(Organizadores)

# **Ciências Exatas e da Terra: Aprendizado, Integração e Necessidades do País 2**

Américo Junior Nunes da Silva  
André Ricardo Lucas Vieira  
(Organizadores)

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

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

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

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

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

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª 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. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais  
Prof. Me. Alexandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein  
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Livia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo  
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  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista



## Ciências exatas e da terra: aprendizado, integração e necessidades do país 2

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Maria Alice Pinheiro  
**Correção:** Kimberlly Elisandra Gonçalves Carneiro  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadores:** Américo Junior Nunes da Silva  
André Ricardo Lucas Vieira

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

C569 Ciências exatas e da terra: aprendizado, integração e necessidades do país 2 / Organizadores Américo Junior Nunes da Silva, André Ricardo Lucas Vieira. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-961-5

DOI 10.22533/at.ed.615211404

1. Ciência. 2. Tecnologia. I. Silva, Américo Junior Nunes da (Organizador). II. Vieira, André Ricardo Lucas (Organizador). III. Título.

CDD 500

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

## APRESENTAÇÃO

O desenvolvimento da ciência e da tecnologia tem acarretado diversas transformações na sociedade contemporânea, refletindo em mudanças nos níveis econômico, político e social. É comum considerarmos ciência e tecnologia motores do progresso que proporcionam não só desenvolvimento do saber humano, mas, também, uma evolução real para o homem.

Sendo assim, precisamos de uma imagem de ciência e tecnologia que possa trazer à tona a dimensão social do desenvolvimento científico–tecnológico, entendido como produto resultante de fatores culturais, políticos e econômicos. Seu contexto histórico deve ser analisado e considerado como uma realidade cultural que contribui de forma decisiva para mudanças sociais, cujas manifestações se expressam na relação do homem consigo mesmo e os outros.

Hoje, estamos vivendo um período, por conta do contexto da Pandemia provocada pelo Novo Coronavírus, onde os olhares se voltam a Ciência e a Tecnologia. Antes de tudo isso acontecer os conhecimentos produzidos em espaços acadêmicos, centros de pesquisa e laboratórios, por exemplo, tem buscado resposta para problemas cotidianos, em busca de melhorar a vida da população de uma forma geral.

É nesse ínterim que este livro, intitulado “Ciências Exatas e da Terra: Aprendizado, Integração e Necessidades do País 2”, em seu segundo volume, reúne trabalhos de pesquisa e experiências em diversos espaços, com o intuito de promover um amplo debate acerca das diversas áreas que o compõe.

Por fim, ao levar em consideração todos esses elementos, a importância desta obra, que aborda de forma interdisciplinar pesquisas, relatos de casos e/ou revisões, reflete-se nas evidências que emergem de suas páginas através de diversos temas evidenciando-se não apenas bases teóricas, mas a aplicação prática dessas pesquisas.

Nesse sentido, desejamos uma boa leitura a todos e a todas.

Américo Junior Nunes da Silva  
André Ricardo Lucas Vieira

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

STABILITY EVALUATION OF SEQUENTIAL ESTIMATORS APPLIED TO ORBIT DETERMINATION: SIGMA-POINT AND EXTENDED KALMAN FILTERS

Paula Cristiane Pinto Mesquita Pardal

Rodolpho Vilhena de Moraes

Helio Koiti Kuga

**DOI 10.22533/at.ed.6152114041**

### **CAPÍTULO 2..... 16**

VARIAÇÃO DO NÍVEL DA ÁGUA E DA SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA EM POÇOS DE MONITORAMENTO NA ÁREA DE UM ATERRO SANITÁRIO

Willian Fernando de Borba

José Luiz Silvério da Silva

Edner Baumhardt

Éricklis Edson Boito de Souza

Pedro Daniel da Cunha Kemerich

Gabriel D'ávila Fernandes

Mateus Guimarães da Silva

Fernando Ernesto Ucker

**DOI 10.22533/at.ed.6152114042**

### **CAPÍTULO 3..... 30**

DESENVOLVIMENTO E IMPLANTAÇÃO DE UM TERMÔMETRO DE SENSAÇÃO TÉRMICA NO IFSC CAMPUS URUPEMA

Glauco Cardozo

Marcos Roberto Dobler Stroschein

Enzzo Comassetto

**DOI 10.22533/at.ed.6152114043**

### **CAPÍTULO 4..... 33**

DESIGN REGENERATIVO E DIREITO AMBIENTAL: CONSTRUÇÃO DE PONTE PARA A ECONOMIA CIRCULAR

Marcos Paulo Marques Araújo

**DOI 10.22533/at.ed.6152114044**

### **CAPÍTULO 5..... 49**

O QUE ESTAMOS PRODUZINDO DE CONHECIMENTO CIENTÍFICO SOBRE TECNOLOGIA ASSISTIVA NO BRASIL?

Fernanda do Nascimento Maia

Renan Carvalho

Clara Ribeiro

**DOI 10.22533/at.ed.6152114045**

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>56</b>
<b>TREINAMENTOS EM REALIDADE VIRTUAL VOLTADOS PARA ORGANIZAÇÕES DE ALTA CONFIABILIDADE</b>	
Diego de Jesus Penaforte Parreiras André Ribeiro de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6152114046</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>68</b>
<b>ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS SIMPLIFICAÇÕES REALIZADAS NAS EQUAÇÕES CINEMÁTICAS DO SATÉLITE CBERS</b>	
Roberta Veloso Garcia Hugo Henrique Valim de Lima Campos Hélio Koiti Kuga	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6152114047</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>77</b>
<b>A ENGENHARIA AMBIENTAL NO ESTUDO DA EROSIÃO DE PRAIAS ASSOCIADOS AOS IMPACTOS DAS CONSTRUÇÕES NA ZONA COSTEIRA NO ESTADO DO CEARÁ, BRASIL</b>	
Glacianne Gonçalves de Oliveira Maia Márcio Roberto de Paula da Fonseca Luis de Carvalho Feitosa Neto Lucas Barbosa Fernandes Vitória Lima Tavares	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6152114048</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>84</b>
<b>GÊNESE DE LINHAS DE PEDRA ATRAVÉS DE INFERÊNCIAS PALEOAMBIENTAIS NO MÉDIO VALE DO RIO PARAÍBA DO SUL, SUDESTE DO BRASIL</b>	
Heloisa Helena Gomes Coe André Luiz Carvalho da Silva Amanda Pacheco Seixas Igo Fernando Lepsch Mauro Parolin Kita Macario	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6152114049</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>103</b>
<b>CARACTERIZAÇÃO DE FOLHAS DE ALUMÍNIO DE USO DOMÉSTICO POR EDXRF</b>	
Carlos Augusto da Mata Bittencourt Junior Joaquim Teixeira de Assis Marcelino José dos Anjos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.61521140410</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>110</b>
<b>CARACTERIZAÇÃO BIOMÉTRICA E PRODUTIVA DA VINAGREIRA VERDE COM DIFERENTES ADUBAÇÕES NPK</b>	
Vinícius Junqueira Minjoni	

Luis Felipe Lima e Silva  
José Ricardo Mantovani

**DOI 10.22533/at.ed.61521140411**

**CAPÍTULO 12..... 120**

**MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR EM AMBIENTES COM FOTOCOPIADORAS  
UTILIZANDO *TRADESCANTIA PALLIDA***

Ana Luisa Santos de Carvalho  
André Búrigo Leite  
Luciano da Silva Lima

**DOI 10.22533/at.ed.61521140412**

**CAPÍTULO 13..... 135**

**REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS TÊXTEIS PROVENIENTES DO POLO DA MODA  
DO MUNICÍPIO DE NOVA FRIBURGO NO DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS DE  
POLIPROPILENO**

Nancy Isabel Alvarez Acevedo  
Rafael Gelson Ismério Cler  
Marisa Cristina Guimarães Rocha

**DOI 10.22533/at.ed.61521140413**

**CAPÍTULO 14..... 148**

**AVALIAÇÃO DA AADIÇÃO DO TALCONAS PROPRIEDADES TÉRMICAS E MORFOLÓGICAS  
DE MISTURAS DE POLIPROPILENO COM ELASTÔMERO TERMOPLÁSTICO**

Carlos Ivan Ribeiro de Oliveira  
Marisa Cristina Guimarães Rocha  
Joaquim Teixeira de Assis  
Ana Lúcia Nazareth da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.61521140414**

**CAPÍTULO 15..... 160**

**SOLUÇÃO DE UM PROBLEMA DE MULTICAMADAS DE CONDUÇÃO DE CALOR  
UTILIZANDO O MÉTODO QUADRUPOLO**

Guilherme Ramalho Costa  
José Aguiar dos Santos Júnior  
José Ricardo Ferreira Oliveira  
Gilmar Guimarães

**DOI 10.22533/at.ed.61521140415**

**CAPÍTULO 16..... 167**

**PLANO REAL, UMA MUDANÇA NA SOCIEDADE BRASILEIRA**

Felipe Matheus Rodrigues  
Rita de Cassia Araújo

**DOI 10.22533/at.ed.61521140416**

**CAPÍTULO 17..... 180**

**PREVIDÊNCIA COMPLEMENTAR: A IMPORTANCIA DA PREVIDÊNCIA COMPLEMENTAR**

Bruna Larissa dos Santos Pereira

Rita de Cassia Araujo

**DOI 10.22533/at.ed.61521140417**

**CAPÍTULO 18..... 192**

**O USO DA GEOMETRIA ANALÍTICA NA CONSTRUÇÃO DO GPS**

Raimundo Eugênio da Silva Filho

Iarla Antunes de Matos Arrais

José Augusto Pereira Nogueira

Líliã Santos Gonçalves

Francisco Ronald Feitosa Moraes

**DOI 10.22533/at.ed.61521140418**

**CAPÍTULO 19..... 203**

**A ESSÊNCIA ENTRE A DIVISÃO EUCLIDIANA E A CONGRUÊNCIA MODULAR**

Marcos Garcia de Souza

Paulo Sérgio da Silva Pantoja

**DOI 10.22533/at.ed.61521140419**

**CAPÍTULO 20..... 219**

**ESTÁGIO CURRICULAR SUPERVISIONADO DE OBSERVAÇÃO: CONJECTURANDO SOBRE ESSE ESPAÇO DE FORMAÇÃO**

Lucas Gabriel Gonçalves da Silva

Américo Junior Nunes da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.61521140420**

**SOBRE OS ORGANIZADORES ..... 227**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 228**

# CAPÍTULO 7

## ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS SIMPLIFICAÇÕES REALIZADAS NAS EQUAÇÕES CINEMÁTICAS DO SATÉLITE CBERS

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 05/02/2021

### Roberta Veloso Garcia

Escola de Engenharia de Lorena EEL/USP  
Lorena – São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/5107846466535413>

### Hugo Henrique Valim de Lima Campos

Escola de Engenharia de Lorena EEL/USP  
Lorena – São Paulo

### Hélio Koiti Kuga

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
São José dos Campos – São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/1786255724025154>

**RESUMO:** A grande diversidade de missões espaciais com fins meteorológicos, de telecomunicação, de sensoriamento remoto, entre outros, tem motivado as atividades de controle, propagação e determinação da atitude de satélites artificiais. Para que tais atividades sejam bem sucedidas, o conhecimento preciso das equações que descrevem o movimento do satélite no espaço (dinâmica e/ou cinemática) é essencial. No entanto, no caso do satélite CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite*), tais equações são compostas por inúmeras funções trigonométricas que podem levar a indeterminações ou mesmo a um tempo extra de CPU. Neste trabalho é analisado o possível emprego de simplificações nas equações cinemáticas que descrevem o movimento de

atitude do satélite CBERS quando o Filtro de Kalman *Unscented* com *Smoothing* é considerado no processo de estimação de atitude. Os resultados obtidos pelo suavizador, quando são empregadas as equações cinemáticas na sua forma completa e com aproximações, não apresentaram diferenças significativas. Isso valida as equações simplificadas que modelam o movimento de atitude do satélite CBERS.

**PALAVRAS - CHAVE:** Suavizador de Estado, Equação Cinemática, Dados Reais, CBERS-2B.

### ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF SIMPLIFICATIONS IMPLEMENTED IN THE CINEMATIC EQUATIONS OF THE CBERS SATELLITE

**ABSTRACT:** The great diversity of space missions for meteorological, telecommunication and remote sensing purposes, among others, has motivated the activities as control, propagation and determination of attitude of artificial satellites. For such activities to be successful, accurate knowledge of the equations that describe the satellite movement in space (dynamic and / or kinematic) is essential. However, in the case of the CBERS satellite (*China-Brazil Earth Resources Satellite*), these equations are composed of numerous trigonometric functions that can lead to indeterminations or even extra CPU time. This work analyzes the possible use of simplifications in the kinematic equations that describe the attitude movement of the CBERS satellite when the *Unscented Kalman Filter* with *Smoothing* is considered in the attitude estimation process. The results obtained by the smoother, when kinematic equations are used in their complete form and



with approximations, do not present significant differences. This validates the simplified equations that model the attitude movement of the CBERS satellite.

**KEYWORDS:** State Smoother, Kinematic Equation, Real Data, CBERS.

## 1 | INTRODUÇÃO

O aumento da vida útil dos veículos espaciais e o sucesso da missão a que ele foi destinado depende de fatores como: escolha de um método robusto de determinação de atitude e órbita (filtros e/ou suavizadores); sensores que forneçam as observações necessárias para o bom funcionamento do método de estimação escolhido; conhecimento do conjunto de equações que compõem o vetor de estado e vetor de medidas que modelam o sistema dinâmico do satélite, etc.

Este trabalho dá uma atenção especial a atitude (orientação espacial) do satélite. A precisão na determinação da atitude tem dependência em grande parte do modelo matemático que descreve a trajetória do satélite. No entanto, tais equações, em geral, são não lineares e apresentam funções trigonométricas que podem gerar indeterminações e levar os algoritmos de estimação a divergência, além de tornar o processo de estimação custoso computacionalmente. Uma forma de evitar estes problemas é considerar modelos simplificados, mas que ainda representam bem o modelo original do satélite.

Resultados precisos da atitude estimada fornece informações de grande importância com relação aos desvios relacionados a trajetória nominal da espaçonave podendo, portanto, ser previsto problemas relacionados a desvios não desejados na orientação e órbita do satélite, gerando assim uma economia de recursos que acarreta no aumento da vida útil da espaçonave (Prado; Kuga, 2001).

## 2 | O FILTRO DE KALMAN UNSCENTED COM SMOOTHING

O problema de suavização de estado (*smoothing*) é uma extensão do problema de filtragem e tem como proposta encontrar a melhor estimativa do estado do sistema em algum instante  $k$  ( $t_0 < k < t_m$ ), a partir de todas as  $m$  medidas ( $y_0, \dots, y_m$ ) disponíveis no intervalo. O Filtro de Kalman *Unscented* com *Smoothing* (FKUS) considera uma aproximação Gaussiana baseada na suavização, de forma que a não linearidade do sistema seja aproximada através da transformação *unscented* (Julier; Uhlmann, 1997). A seguir é apresentado resumidamente o algoritmo para o FKUS (Sarkka, 2010).

Suponha um sistema não linear descrito pelas equações 
$$\begin{cases} x_{k+1} = f(x_k) + w_k, \\ y_k = h(x_k) + v_k \end{cases}$$

vem que  $x_k$  é o estado,  $w_k$  e  $v_k$  são ruídos brancos Gaussianos com média zero e covariâncias dadas por  $Q_k$  e  $R_k$ , respectivamente. A função  $f(\cdot)$  representa um sistema não linear variante no tempo e a função  $h(\cdot)$  representa as equações não lineares de medidas.

Para  $k = 0, \dots, m$  (onde  $m$  é o instante final) executar as etapas do Filtro de Kalman *Unscented*:

1. Selecionar os sigma-pontos  $\chi_k$ :  $(\chi_k)_0 = \hat{x}_k$

$$(\chi_k)_i = \hat{x}_k + \left( \sqrt{(n+\lambda)P_k} \right)_i \quad i=1, \dots, n$$

$$(\chi_k)_i = \hat{x}_k - \left( \sqrt{(n+\lambda)P_k} \right)_{i-n} \quad i=n+1, \dots, 2n$$

em que  $n$  é a dimensão do vetor de estado,  $\lambda$  é o parâmetro que fornece informações a respeito dos momentos de ordem superior da distribuição e  $P$  é a matriz de covariância do estado.

2. Fase de propagação da média  $\hat{x}_{k+1}^-$  e covariância  $P_{k+1}^-$  do estado:

$$(\chi_{k+1})_i = f\left((\chi_k)_i\right) \quad , \quad i=0, \dots, 2n$$

$$\hat{x}_{k+1}^- = \sum_{i=0}^{2n} W_i (\chi_{k+1})_i \quad , \quad W_0 = \frac{\lambda}{(n+\lambda)} \quad , \quad W_i = \frac{1}{2(n+\lambda)}$$

$$P_{k+1}^- = \sum_{i=0}^{2n} W_i \left[ (\chi_{k+1})_i - \hat{x}_{k+1}^- \right] \left[ (\chi_{k+1})_i - \hat{x}_{k+1}^- \right]^T + Q_{k+1}$$

3. Fase de atualização da média  $\hat{x}_{k+1}^+$ , covariância do estado  $\hat{P}_{k+1}^+$  e covariância cruzada  $D_{k+1}$ :

$$(\Upsilon_{k+1})_i = h\left((\chi_{k+1})_i\right) \quad , \quad \hat{y}_{k+1}^- = \sum_{i=0}^{2n} W_i (\Upsilon_{k+1})_i$$

$$P_{xy} = \sum_{i=0}^{2n} W_i \left[ (\chi_{k+1})_i - \hat{x}_{k+1}^- \right] \left[ (\Upsilon_{k+1})_i - \hat{y}_{k+1}^- \right]^T$$

$$P_{yy} = \sum_{i=0}^{2n} W_i \left[ (\Upsilon_{k+1})_i - \hat{y}_{k+1}^- \right] \left[ (\Upsilon_{k+1})_i - \hat{y}_{k+1}^- \right]^T + R$$

$$K_{k+1} = P_{xy} P_{yy}^{-1}$$

$$\hat{x}_{k+1}^+ = \hat{x}_{k+1}^- + K_{k+1} \left( \mathbf{y}_{k+1} - \hat{y}_{k+1}^- \right)$$

$$\hat{P}_{k+1}^+ = \hat{P}_{k+1}^- - K_{k+1} P_{yy} K_{k+1}^T$$

$$D_{k+1} = \sum_{i=0}^{2n} (\chi_{k+1,i} - \hat{x}_{k+1}^+) \left( (\chi_{k+1,i}^- - \hat{x}_{k+1}^+) \right)^T$$

Inicialização da etapa de suavização:

4. Para  $k = m-1, \dots, 1, 0$ :

$$\hat{\mathbf{x}}_m^s = \hat{\mathbf{x}}_m^+$$

$$\hat{P}_m^s = \hat{P}_m^+$$

$$C_k = D_{k+1} [P_{k+1}^-]^{-1}$$

$$\hat{\mathbf{x}}_k^s = \hat{\mathbf{x}}_{k+1}^+ + C_k [\hat{\mathbf{x}}_{k+1}^s - \hat{\mathbf{x}}_{k+1}^-]$$

$$P_k^s = P_k^+ + C_k [P_{k+1}^s - P_{k+1}^-] C_k^T$$

Observa-se que a suavização obtém a estimativa do estado do sistema no instante  $k$  baseada no conjunto completo de medidas do intervalo de  $t_0$  à  $t_m$ , para qualquer  $k$  tal que  $0 \leq k \leq m$ . Esta suavização também é conhecida como suavização de intervalo fixo. Este tipo de suavizador é normalmente utilizado em redução de dados *off-line*, para obter estimativas refinadas de melhor qualidade do que as obtidas pelos filtros *on-line*, já que a estimativa suavizada passa a incorporar as informações contidas em todas as medidas do intervalo considerado e não apenas a presente medida.

### 3 I EQUAÇÕES CINEMÁTICAS DO SATÉLITE CBERS

Para descrever a atitude do satélite CBERS são necessárias informações de três eixos com relação a um sistema de coordenadas fixo no satélite e um sistema de referência fixado em um referencial inercial, que, neste caso é a Terra.

Para a aplicação realizada neste trabalho a atitude é representada pelos ângulos de Euler (*f-roll*, *q-pitch*, *y-yaw*). O vetor de estado é composto pelos ângulos de atitude e pelas componentes do bias dos giroscópio .

Para um satélite do tipo CBERS, a construção das equações que modelam o vetor de estado depende da matriz de atitude  $A$ , que relaciona o sistema de referência fixo no corpo do satélite com o sistema de referência orbital, e é dada por (Fuming; Kuga, 1999):

$$A = \begin{bmatrix} \cos \psi \cos \theta & \sin \psi \cos \theta & -\sin \theta \\ \cos \psi \sin \theta \sin \phi - \sin \psi \cos \phi & \sin \psi \sin \theta \sin \phi + \cos \psi \cos \phi & \cos \theta \sin \phi \\ \cos \psi \sin \theta \cos \phi + \sin \psi \sin \phi & \sin \psi \sin \theta \cos \phi - \cos \psi \sin \phi & \cos \theta \cos \phi \end{bmatrix}$$

com:  $-360^\circ \leq \phi \leq 360^\circ, -90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ, -360^\circ \leq \psi \leq 360^\circ$ .

Como as medidas de giroscópio são utilizadas neste trabalho, as equações dinâmicas podem ser substituídas pelas equações cinemáticas, definidas por:

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \sin \phi / \cos \theta & \cos \phi / \cos \theta \end{bmatrix} \left\{ \begin{bmatrix} \tilde{\omega}_x \\ \tilde{\omega}_y \\ \tilde{\omega}_z \end{bmatrix} - A \begin{bmatrix} 0 \\ -\omega_0 \\ 0 \end{bmatrix} \right\}$$

em que  $\tilde{\omega}_x, \tilde{\omega}_y, \tilde{\omega}_z$  são as componentes da velocidade angular inercial (medida pelo giro) e  $\omega_0$  é a velocidade angular orbital.

Desta forma, o vetor de estado será representado por  $\mathbf{x} = [\phi \ \theta \ \psi \ \varepsilon_x \ \varepsilon_y \ \varepsilon_z]^T$  e as equações que o descrevem em qualquer instante é:

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \\ \dot{\varepsilon}_x \\ \dot{\varepsilon}_y \\ \dot{\varepsilon}_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(.) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

em que  $f(.)$  representa o lado direito das equações cinemáticas apresentadas anteriormente.

No presente trabalho a função  $f(.)$  é considerada de duas formas diferentes:

- i. As equações que representam  $[\dot{\phi} \ \dot{\theta} \ \dot{\psi}]^T$  são consideradas na sua forma completa, ou seja, sem aproximações, e
- ii. As equações que representam  $[\dot{\phi} \ \dot{\theta} \ \dot{\psi}]^T$  são consideradas levando em conta as seguintes aproximações:  $\phi \approx 0^\circ$ ,  $\theta \approx 0^\circ$ .

No caso (i) as equações são definidas por:

$$\begin{aligned}\dot{\phi} &= \tilde{\omega}_x + \omega_0 \sin \psi \cos \theta + \tilde{\omega}_y \sin \psi \tan \theta + \omega_0 \sin^2 \phi \sin \psi \sin \theta \tan \theta + \omega_0 \tan \theta \sin \phi \cos \phi \cos \psi + \\ &\quad \tilde{\omega}_z \tan \theta \cos \phi + \omega_0 \tan \theta \cos^2 \phi \sin \theta \sin \psi - \omega_0 \tan \theta \sin \phi \cos \phi \cos \psi \\ \dot{\theta} &= \tilde{\omega}_y \cos \phi + \omega_0 \sin \phi \sin \theta \sin \psi \cos \phi + \omega_0 \cos^2 \phi \cos \psi - \tilde{\omega}_z \sin \phi - \omega_0 \cos \phi \sin \phi \sin \theta \sin \psi + \\ &\quad \omega_0 \sin^2 \phi \cos \psi \\ \dot{\psi} &= \tilde{\omega}_y \frac{\sin \phi}{\cos \theta} + \omega_0 \frac{\sin \phi}{\cos \theta} \sin \phi \sin \theta \sin \psi + \omega_0 \frac{\sin \phi}{\cos \theta} \cos \phi \cos \psi + \tilde{\omega}_z \frac{\cos \phi}{\cos \theta} + \\ &\quad \omega_0 \frac{\cos \phi}{\cos \theta} \cos \phi \sin \theta \sin \psi - \omega_0 \frac{\cos \phi}{\cos \theta} \sin \phi \cos \psi\end{aligned}$$

Para o caso (ii), em que são assumidos  $f$  e  $q$  pequenos ângulos, as equações diferenciais utilizadas no processo de estimação de atitude para o satélite CBERS são:

$$\begin{aligned}\dot{\phi} &= \omega_0 \sin \psi + \tilde{\omega}_x + \theta \tilde{\omega}_z \\ \dot{\theta} &= \omega_0 \cos \psi + \tilde{\omega}_y - \phi \tilde{\omega}_z \\ \dot{\psi} &= \omega_0 (\theta \sin \psi - \phi \cos \psi) + \tilde{\omega}_z + \phi \tilde{\omega}_y\end{aligned}$$

## 4 | RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados comparativos da performance do Filtro de Kalman *Unscented* com *Smoothing* (FKUS) quando as equações cinemáticas que descrevem a atitude do satélite são consideradas: (i) na forma completa e (ii) com aproximações para os ângulos de  $f$  e  $q$  (como apresentada no relatório do CBERS (Fuming; Kuga, 1999)).

Na aplicação proposta, dados reais de sensores de atitude que estão a bordo do satélite CBERS-2B foram fornecidos pelo Centro de Controle de Satélites (CCS) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os sensores adotados são: Sensor Solar Digital (SSD), Sensor de Terra Infravermelho (STI) e Giroscópio. A Tabela 1 mostra algumas informações das medidas consideradas neste trabalho.

Data	Período das observações		Intervalo de amostragem	Medidas processadas		
	$t_0$ (hh:mm:sss)	$t_f$ (hh:mm:sss)		$\Delta t$ (s)	SSD	STI
12/12/2008	13:12:39,500	13:19:54,000	13,47	2	2	3

Tabela 1: Informações das medidas fornecidas pelo CCS do INPE.

As medidas reais obtidas pelos sensores SSD, STI e pelo Giro, associados a cada instante em que a medida foi obtida, são apresentados nas Figuras 1 e 2.

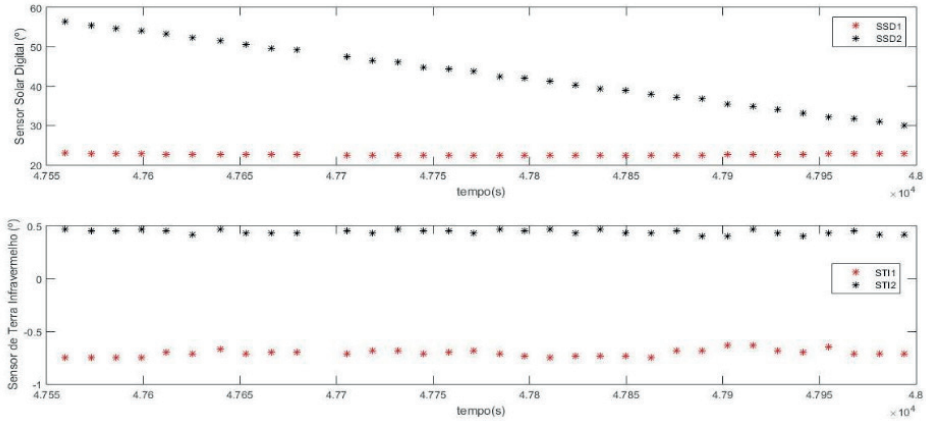


Figura 1: Medida reais fornecidas pelos sensores SSD e STI que estão a bordo do satélite CBERS-2B.

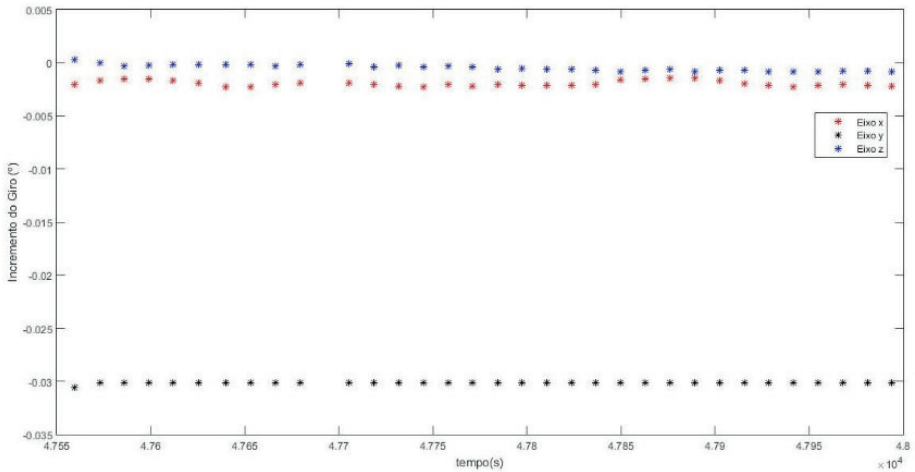


Figura 2: Medida reais fornecidas pelos giroscópios que estão a bordo do satélite CBERS-2B.

De forma a analisar o quanto modelos aproximados podem interferir no processo de estimação de atitude quando dados reais são considerados, as Figuras 3 e 4 mostram resultados obtidos para atitude e bias do giro estimados via FKUS em duas situações: (i) equações cinemáticas na forma completa (sem aproximações) e (ii) equações cinemáticas sem aproximações (simplificada).

Na Figura 3 observa-se que ambos os modelos (completo e simplificado) mantêm

a mesma performance para os ângulos de atitude  $f$  (*roll*),  $q$  (*pitch*) e  $y$  (*yaw*). A média da diferença entre a atitude suavizada via modelo completo e simplificado é:  $0,0033^\circ$  para *roll*,  $0,0071^\circ$  para *pitch* e  $0,0038^\circ$  para *yaw*.

Com relação ao comportamento do bias do giro, nota-se na Figura 4 que, para o período proposto, os resultados obtidos via equações completas tendem aos resultados obtidos via equações simplificadas, os quais parecem ter atingido a convergência desde os primeiros instantes.

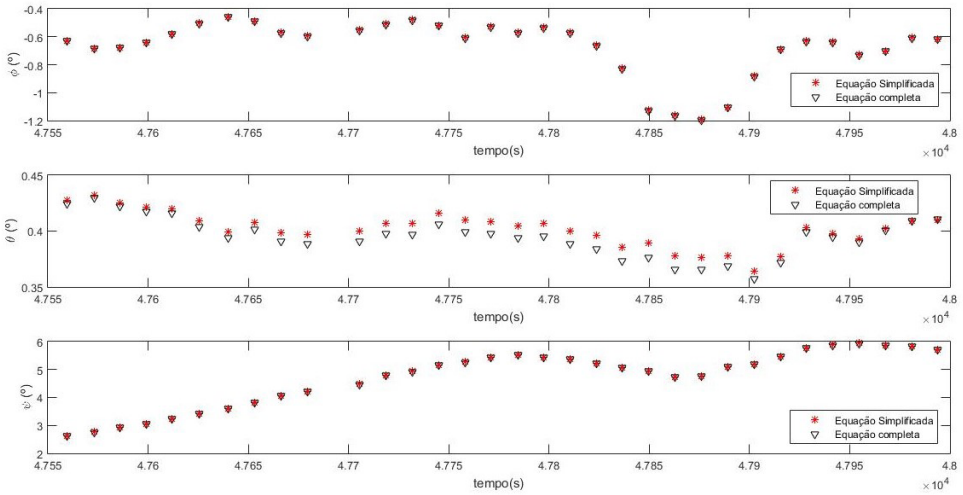


Figura 3: Comparação dos ângulos de atitude obtidos via FKUS considerando o modelo cinemático completo e com aproximações.

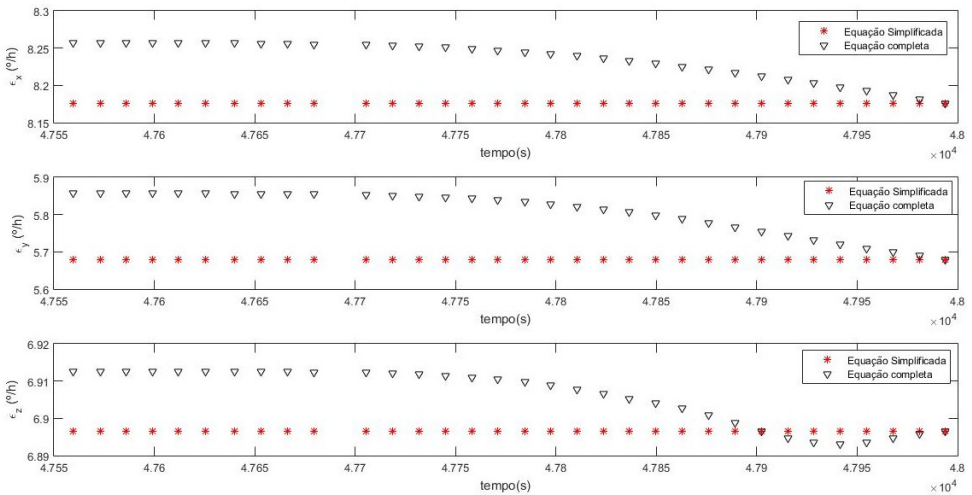


Figura 4: Comparação das componentes do bias do giro obtidas via FKUS considerando o modelo cinemático completo e com aproximações

Os resultados obtidos validam a utilização de modelos menos complexos, mas que ainda representam bem o modelo original. Tal consideração traz benefícios ao processo de estimação, pois com modelos simplificados evita-se possíveis indeterminações relacionadas a funções trigonométricas que aparecem em denominador e, em casos em que a estimação é realizada em tempo real, menor gasto de CPU para processar as medidas.

## 5 | COMENTÁRIOS FINAIS

A proposta deste trabalho foi analisar o quanto as simplificações consideradas nas equações que descrevem o modelo de um sistema podem interferir nos resultados estimados, quando dados reais são considerados no processo de estimação. Para isso foi tomado como base o modelo que representa a atitude do satélite CBERS, fornecido pelo INPE, com e sem simplificações. Os resultados obtidos por meio do Filtro de Kalman *Unscented* com *Smoothing* validaram as simplificações consideradas no modelo cinemático, uma vez que os resultados obtidos via equações simplificadas apresentaram o mesmo comportamento dos obtidos via equações completas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao suporte financeiro recebido pelo CNPq 405468/2016-6.

## REFERÊNCIAS

Fuming, H.; Kuga, H. K. **Cbers simulator mathematical models**. CBTT Project, CBTT/2000/MM001, 1999.

Julier, S. J.; Uhlman, J. K. **“A new extension of the Kalman filter to nonlinear systems.”** Proceedings of the International symposium on aerospace/defense sensing, simulation and controls, Orlando, FL, 1997.

Prado, A. F. B. A.; Kuga, H. K (Ed.). **Fundamentos de Tecnologia Espacial**. São José dos Campos, Sp. 220 p., 2001.

Sarkka, S. **“On Gaussian Optimal Smoothing of Non-Linear State Models”**. IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 55, n. 8, 2010.



## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Acessibilidade 49

Água subterrânea 16, 17, 23, 27, 28

Algorithm Stability 1, 14

Alimentos Funcionais 110

Alumínio 7, 90, 103, 104, 105, 107, 108, 109

Aposentadoria 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187

### B

Biomonitoramento 120, 122, 124, 125, 130, 131, 132, 133, 134

### C

Câmbio 167, 170

CBERS-2B 68, 73, 74

Cenário econômico 167

Classe residual 203, 218

CoDesign 33

Compósitos 8, 135, 136, 137, 138, 140, 141, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158

Compósitos Ternários 148, 150

Congruência Modular 9, 203, 204, 210, 213, 218

Consumidor 34, 35, 37, 39, 167, 173, 174, 176

### D

Dados Reais 68, 73, 74, 76

Design de interação 56

Design e tecnologia 49, 56

Design Regenerativo 6, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 44, 45, 46

Direito ambiental 6, 33

Divisão Euclidiana 9, 203, 204, 205, 206, 210, 211, 214, 218

### E

Economia circular 6, 33, 34, 36, 41, 42, 43, 44, 45, 46

Elastômero Termoplástico 8, 148, 150, 152, 158, 159

Equação Cinemática 68

Extended Kalman Filter 1, 3, 14

## **F**

Fitólitos 84, 87, 89, 90, 92, 94, 96, 97, 98, 99, 100, 101

Fluorescência de raios X 103

Folhas de Alumínio 7, 103, 104, 105

Fotocopiadoras 8, 120, 121, 122, 123, 124, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133

Função de Transferência 160

## **G**

Geometria Analítica 9, 192, 193, 194

## **H**

Hibiscus sabdariffa L. 110, 111, 118, 119

Hortaliça não convencional 110, 111, 112

## **I**

Inflação 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177

## **L**

Linhas de pedra 7, 84, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 97, 98, 101

## **M**

Matemática 28, 192, 193, 194, 195, 197, 201, 202, 210, 212, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227

Médio Vale do Rio Paraíba do Sul 7, 84, 88, 98

## **N**

Nível estático 16

Nutrição Humana 110

Nutrição Vegetal 110, 112

## **O**

Orbit Determination 6, 1, 2, 3, 7, 8, 9, 14, 15

Organizações de alta complexidade 56, 58, 59, 61

## **P**

Pesquisa e metodologia do design 49

Planos de Previdência Privada 180, 189

Poliéster 135, 136, 137, 139, 144

Polipropileno 8, 135, 137, 142, 144, 145, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159

políticas públicas 33, 34, 42, 123

Prevenção de acidentes 56

Previdência Complementar Aberta 180, 190

Previdência Complementar Fechada 180

Propriedades 8, 18, 104, 112, 135, 137, 138, 142, 143, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 154, 158, 159, 161, 194, 203, 207, 213, 215

## **R**

Realidade virtual 7, 56, 57, 58, 59, 61, 63, 64, 65

Reconstituição Paleoambiental 84

Resíduos sólidos 16, 18, 27, 35, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 135

Resíduos têxteis 8, 135, 136, 137, 139, 145, 146

## **S**

Saúde 34, 40, 43, 49, 50, 54, 61, 105, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 132, 134, 183

Sensação Térmica 6, 30, 31, 32

Sigma-Point Kalman Filter 1

Sistema Aquífero Serra Geral 16, 18, 28

Sistema de Posicionamento Global 192, 193, 195

Suavizador de Estado 68

## **T**

Talco 8, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158

Taxa Selic 167, 173, 177

Tecnologia Assistiva 6, 49, 50, 51, 54, 55

Termômetro 6, 30, 31, 32


Teste de micronúcleos 120

Tradescantia Pallida 8, 120, 121, 122, 125, 128, 130, 131, 133, 134

Transferência de calor 160, 161, 165

Transformada de Laplace 160

# Ciências Exatas e da Terra: Aprendizado, Integração e Necessidades do País 2

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 


[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 


 **Atena**  
Editora

Ano 2021

# **Ciências Exatas e da Terra: Aprendizado, Integração e Necessidades do País 2**

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 