



# As Engenharias agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento

Franciele Braga Machado Tullio  
Lucio Mauro Braga Machado  
(Organizadores)

  
Ano 2021



# As Engenharias agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento

Franciele Braga Machado Tullio  
Lucio Mauro Braga Machado  
(Organizadores)

  
Ano 2021

**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 Alfnas

### **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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
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. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
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 – Faculdade da Amazônia  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Prof<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> 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



## As engenharias agregando conhecimento em setores emergentes de pesquisa e desenvolvimento

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Vanessa Mottin de Oliveira Batista  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadores:** Franciele Braga Machado Tullio  
Lucio Mauro Braga Machado

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

E57 As engenharias agregando conhecimento em setores emergentes de pesquisa e desenvolvimento / Organizadores Franciele Braga Machado Tullio, Lucio Mauro Braga Machado. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-769-7

DOI 10.22533/at.ed.697211102

1. Engenharia. I. Tullio, Franciele Braga Machado (Organizador). II. Machado, Lucio Mauro Braga (Organizador). III. Título.

CDD 620

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

A obra “As Engenharias Agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento” contempla vinte capítulos em que os autores abordam suas pesquisas aplicadas nos mais diversos setores da engenharia.

Pesquisas relacionadas a propriedades físico-químicas de materiais e desenvolvimento de novos produtos com a finalidade de aplicar na indústria.

Desenvolvimento de novos materiais e aplicação de inteligência artificial para utilização na medicina também são abordados.

Geração de energia, desenvolvimento de projetos sustentáveis e tratamento de efluentes são assuntos em evidência no meio acadêmico.

Por fim, estudo sobre a gestão de projetos de obras de arte especiais com a finalidade de auxiliar os gestores na tomada de decisões e intervenções nas mesmas.

Esperamos que esta obra promova ao leitor o desejo de desenvolver ainda mais estudos, agregando mais conhecimento em setores de pesquisa e desenvolvimento. Boa leitura!

Franciele Braga Machado Tullio  
Lucio Mauro Braga Machado

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **CONSTRUÇÃO DE IMPELIDORES POR MANUFATURA ADITIVA: UMA METODOLOGIA PARA O ENSINO DE OPERAÇÕES UNITÁRIAS**

Tadeu Henrique Aparecido da Silva

Monica Taís Siqueira D'Amelio

**DOI 10.22533/at.ed.6972111021**

### **CAPÍTULO 2..... 17**

#### **DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ACIDEZ E PERÓXIDO NO ÓLEO DE FRITURA UTILIZADO NO REFEITÓRIO DO IFMT – CAMPUS CONFRESA**

Fábio Gonçalves Marinho

Felipe Gimenes Rodrigues Silva

Ulisses Alberto Rodrigues da Silva

Milton Fantinell Junior

Carlos Bonfim Gonçalves Marinho

Geovana Rodrigues Soares

**DOI 10.22533/at.ed.6972111022**

### **CAPÍTULO 3..... 22**

#### **ESTUDO DA SEDIMENTAÇÃO DESCONTÍNUA DE $\text{CaCO}_3$ E $\text{Ca(OH)}_2$ EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES VISANDO A SEPARAÇÃO DE PARTICULADO**

Dinalva Schein

Carolina Smaniotto Fronza

Gabriela Aline Kroetz Bremm

Isaac dos Santos Nunes

Andréia Monique Lermen

Naiara Jacinta Clerici

Paula Gabriela Dalla Porta

Suelyly Ribeiro Hollas

**DOI 10.22533/at.ed.6972111023**

### **CAPÍTULO 4..... 33**

#### **FUNCIONALIZAÇÃO DO TERPOLÍMERO ACRILONITRILA-BUTADIENO-ESTIRENO COM ANIDRIDO MALEICO – UMA REVISÃO DA LITERATURA**

Carlos Bruno Barreto Luna

Danilo Diniz Siqueira

Eduardo da Silva Barbosa Ferreira

Edson Antonio dos Santos Filho

Edcleide Maria Araújo

**DOI 10.22533/at.ed.6972111024**

### **CAPÍTULO 5..... 54**

#### **ANÁLISE DE DESGASTE NAS LASTRINAS DA CAIXA MATRIZ NA INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS**

Tiago da Silva Fernandes

Anderson Daleffe

**DOI 10.22533/at.ed.6972111025**

**CAPÍTULO 6..... 68**

**ANÁLISE QUÍMICA E ÂNGULO DE CONTATO DE FILMES FORMADOS POR BLENDA DE POLIESTIRENO/POLI(CAPROLACTONA) FOTODEGRADADAS POR LUZ ULTRAVIOLETA**

Catarina Barbosa Levy

Maria Oneide Silva de Moraes

Walter Ricardo Brito

João de Deus Pereira de Moraes Segundo

**DOI 10.22533/at.ed.6972111026**

**CAPÍTULO 7..... 75**

**APLICAÇÃO DE NANOBIMATERIAIS NO TRATAMENTO DE FERIDAS**

Rayanne Cornelio Silva Carvalho

Deuzuita dos Santos Freitas Viana

Vicente Galber Freitas Viana

**DOI 10.22533/at.ed.6972111027**

**CAPÍTULO 8..... 87**

**INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE FERROCARBONILA EM MATERIAIS ABSORVEDORES DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA**

Cecília Maia Corsato

Nicholas Eras Fonseca

Bruno Ferraz Donati

Gustavo Freitas de Souza

Rademaks Bento de Oliveira

Valdirene Aparecida da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.6972111028**

**CAPÍTULO 9..... 96**

**INCORPORAÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO RECICLADAS EM COMPÓSITO CONCRETO**

Gabriela T. Santiago

Matheus Vosgnach

Vinício Ceconello

Edson Francisquetti

Mara Andrade Zeni

**DOI 10.22533/at.ed.6972111029**

**CAPÍTULO 10..... 105**

**ANÁLISE DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO SOLAR DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA LOCALIDADES NO BAIXO TOCANTINS – PA**

Marinaldo de Jesus dos Santos Rodrigues

Silvio Bispo do Vale

Tatiane Perna Rodrigues

**DOI 10.22533/at.ed.69721110210**

<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>117</b>
<b>SIMULAÇÃO ENERGÉTICA PARA RECUPERAÇÃO DE CALOR DO AR EM AGÊNCIAS BANCÁRIAS</b>	
Alexandre Fernandes Santos	
Jeová Alves Diniz Junior	
Heraldo José Lopes de Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.69721110211</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>131</b>
<b>USO DO SISTEMA DX (EXPANSÃO DIRETA) PARA SISTEMAS GEOTÉRMICOS EM CURITIBA</b>	
Alexandre Fernandes Santos	
Paulo Henrique Colombo	
Heraldo José Lopes de Souza	
Fabio Francisco Ferreira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.69721110212</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>143</b>
<b>MÉTODOS DE APRENDIZAGEM DE MÁQUINA APLICADOS NA CLASSIFICAÇÃO DE NÍVEIS DE APNEIA UTILIZANDO SINAIS DE ELETROCARDIOGRAMA</b>	
João Pedro dos Santos Silva	
Pedro Henrique dos Santos Almeida	
Letícia Chaves Lima Cananéa	
Helder Alves Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.69721110213</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>153</b>
<b>ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE CONTROLE VOLUMÉTRICOS E DINÂMICOS EM SISTEMAS DE PERFURAÇÃO DE POÇOS PETROLÍFEROS</b>	
Juliana Gomes da Silva	
Savio Raider Matos Sarkis	
<b>DOI 10.22533/at.ed.69721110214</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>173</b>
<b>UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP) COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO MULTICRITÉRIO NO PROCESSO DE DECISÃO DE PRIORIZAÇÃO DE PROJETOS DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NA AMAZÔNIA AZUL</b>	
Andrezza de Oliveira Agápito	
Dalessandro Soares Vianna	
Marcilene de Fátima Dianin Vianna	
Edwin Benito Mitacc Meza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.69721110215</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>185</b>
<b>IMPLANTAÇÃO DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA EM COMPLEXO ALIMENTÍCIO INDUSTRIAL</b>	
Yuri de Oliveira Godoy	



Aldo Muro Júnior

**DOI 10.22533/at.ed.69721110216**

**CAPÍTULO 17..... 196**

**AVANÇOS PARA MELHORIA DA RESISTÊNCIA À INCRUSTAÇÃO EM MEMBRANAS DE ULTRAFILTRAÇÃO COM POTENCIAL PARA APLICAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS OLEOSAS: uma revisão**

Victor José Romão dos Santos

Suellen Cristine Meira

**DOI 10.22533/at.ed.69721110217**

**CAPÍTULO 18..... 211**

**ANÁLISE PROBABILÍSTICA E DETERMINÍSTICA DA ESTABILIDADE DE TALUDES EM BARRAGEM DE TERRA DO ESTADO DO CEARÁ**

Fernando Feitosa Monteiro

Andressa de Araujo Carneiro

Yago Machado Pereira de Matos

Giovanna Monique Alelvan

**DOI 10.22533/at.ed.69721110218**

**CAPÍTULO 19..... 222**

**A GESTÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS MUNICIPAIS: CONCEPÇÃO DE UM MODELO CONCEITUAL DE BANCO DE DADOS APLICADO ÀS PONTES, VIADUTOS E PASSARELAS**

André Felipe Bozio

Vivian da Silva Celestino Reginato

**DOI 10.22533/at.ed.69721110219**

**CAPÍTULO 20..... 240**

**ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS DO PORTO MARAVILHA, RIO DE JANEIRO: TRANSFORMAÇÕES URBANAS**

Amanda Martins Marques da Silva

Gisele Silva Barbosa

Patricia Regina Chaves Drach

Eduardo Praun Machado

Victor Marques Zamith

**DOI 10.22533/at.ed.69721110220**

**SOBRE OS ORGANIZADORES ..... 255**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 256**

## ANÁLISE PROBABILÍSTICA E DETERMINÍSTICA DA ESTABILIDADE DE TALUDES EM BARRAGEM DE TERRA DO ESTADO DO CEARÁ

*Data de aceite:* 01/02/2021

*Data de submissão:* 16/11/2020

### **Fernando Feitosa Monteiro**

Universidade de Brasília  
Brasília – DF

<http://lattes.cnpq.br/3204932197766528>

### **Andressa de Araujo Carneiro**

Universidade Federal do Piauí  
Teresina – PI

<http://lattes.cnpq.br/0875241084102716>

### **Yago Machado Pereira de Matos**

Universidade de Brasília  
Brasília – DF

<http://lattes.cnpq.br/5533205384020554>

### **Giovanna Monique Alelvan**

Universidade de Brasília  
Brasília – DF

<http://lattes.cnpq.br/0411796546899865>

**RESUMO:** Devido ao alto grau de incertezas envolvidas nos projetos das barragens, bem como ao elevado número de barragens de terra existentes no Brasil, verifica-se a necessidade da utilização de metodologias que levem em consideração a variabilidade dos componentes envolvidos nas análises de estabilidade, uma vez que essas incertezas não são levadas em consideração nos métodos determinísticos convencionais. O presente trabalho tem o objetivo de avaliar a estabilidade do talude de montante de uma barragem de terra no estado do Ceará

durante sua fase final de construção, a partir de metodologias determinísticas e probabilísticas. Proporcionando um melhor entendimento da aplicação da análise probabilística na avaliação de risco em barragens de terra. Das análises probabilísticas realizadas, conclui-se que não existe uma diferença significativa entre as probabilidades de falha obtidas pelos métodos de FOSM e o método de Monte Carlo. O estudo ainda mostrou que a metodologia probabilística auxilia no cálculo da probabilidade intrínseca nos projetos de engenharia, contrapondo à falsa ideia de que altos FS implicam em projetos mais seguros.

**PALAVRAS-CHAVE:** Análise Probabilística, Barragens de Terra, Estabilidade de Taludes.

### PROBABILISTIC AND DETERMINISTIC SLOPE STABILITY ANALYSIS OF AN EARTH DAM IN THE STATE OF CEARÁ

**ABSTRACT:** Due to the high degree of uncertainty involved in dam projects, as well as the high number of earth dams in Brazil, there is a need to use methodologies that take into account the variability of the components involved in stability analyses, since these uncertainties are not taken into account in conventional deterministic methods. The present work aims to evaluate the stability of the upstream slope of an earth dam in the state of Ceará at its end of construction phase, based on deterministic and probabilistic methodologies. Providing a better understanding of the application of probabilistic analysis in earth dam risk assessment. From the probabilistic analysis performed, it is concluded that there is

no significant difference between the probabilities of failure obtained by the FOSM and the Monte Carlo methods. The study also demonstrated that the probabilistic methodology is useful in the evaluation of the intrinsic probability in engineering designs, as opposed to the false idea that high FS imply in safer projects.

**KEYWORDS:** Probabilistic Analysis, Earth Dams, Slope Stability.

## 1 | INTRODUÇÃO

As análises usuais de estabilidade de taludes são baseadas no método de equilíbrio limite obtendo-se um fator de segurança (FS). Os dados utilizados na análise são geralmente os valores médios, mas nem sempre estes dados são os mais representativos, devido às incertezas existentes, e principalmente às diferentes condições de composição dos solos. Em decorrência das inúmeras incertezas envolvidas nos projetos das barragens, bem como ao elevado número de barragens de terra existentes no Brasil, é necessária a utilização de metodologias que levem em consideração a variabilidade dos componentes envolvidos nas análises de estabilidade, uma vez que essas incertezas não são levadas em consideração nos métodos determinísticos convencionais (CRUZ, 1996). Nesse contexto, a análise probabilística se torna uma ferramenta adicional que permite quantificar as incertezas dos parâmetros de análise.

Sayão (2010) relata que, no período de 2002 a 2010, no Brasil foram registrados aproximadamente 800 incidentes com barragens, o que resulta em três a quatro falhas em barragens por dia, sendo verificados desde pequenos problemas de operação ou manutenção, até grandes desastres. Assim, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar a estabilidade do talude de montante de uma barragem de terra no estado do Ceará durante a fase final de construção, a partir de metodologias determinísticas e probabilísticas. Proporcionando uma melhor compreensão da aplicação da análise probabilística na avaliação de risco em barragens de terra.

## 2 | ESTABILIDADE DE TALUDES

### 2.1 Métodos determinísticos

Segundo Soares (1996), o enfoque determinístico nos métodos de estudo de estabilidade de taludes consiste em selecionar valores adequados para as variáveis dominantes e calcular seus fatores de segurança correspondentes a diversas situações de solicitação.

De acordo com Brito (2003), Fellenius apresentou o Método das Fatias em 1936, no Segundo Congresso de Grandes Barragens realizado em Washington. Esse método foi desenvolvido pela Comissão Sueca de Geotecnia e melhorado por Fellenius. O método admite uma superfície de ruptura circular e consiste em dividir a massa acima da superfície

de ruptura em fatias verticais, assumindo-se que as forças resultantes nos lados opostos de cada fatia são iguais e de sentidos opostos atuando numa mesma linha, paralela à base da fatia. Para resolver o problema, algumas hipóteses simplificadoras são necessárias. Estas hipóteses simplificadoras é que diferenciam os diversos métodos determinísticos, caracterizando-os como menos ou mais conservadores. O método de Bishop, tem como hipótese que a resultante das forças entre as fatias é horizontal. O fator de segurança é dado pela a seguinte equação:

$$FS = \frac{1}{\sum W \operatorname{sen} \alpha} \sum [c' + (W - ub) \operatorname{tg} \phi'] / m_{\alpha} \quad (1)$$

$$m_{\alpha} = \cos \alpha \left[ 1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \phi'}{FS_i} \right] \quad (2)$$

A solução resulta de um processo iterativo, no qual é arbitrado o valor do fator de segurança  $FS_i$  da Equação 2 e calcula-se o fator FS. O processo repete-se até que o valor calculado (FS) se iguale ao valor arbitrado ( $FS_i$ ).

Araújo (2013) explica que a estabilidade dos taludes é analisada com o objetivo de se obter a superfície potencial de ruptura que demonstre o menor valor para o fator de segurança, calculado a partir de metodologias determinísticas, o qual é comparado a um valor admissível. Este valor admissível é normalmente estipulado em função das consequências da ruptura do talude, tanto em termos de prejuízos materiais, como no que concerne perdas de vidas humanas. No caso específico de obras de barragens, o Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE, 2003) sugere os valores mínimos para os fatores de segurança a serem adotados em cada etapa do projeto das barragens, conforme é indicado na Tabela 1.

Tipos de Taludes	Final de Construção	Fluxo Permanente de longo prazo	Rebaixamento Rápido
Taludes de Barragens, diques, aterros e taludes de escavação	1,3	1,5	1,0 - 1,2

Tabela 1. Fatores de segurança para taludes de barragens

## 2.2 Métodos probabilísticos

Fenton e Griffiths (2008) relatam que a variabilidade inerente aos solos e rochas sugere que os sistemas geotécnicos são altamente suscetíveis a interpretações estatísticas. Na abordagem estatística, a entrada das características do solo é feita em termos de médias e variâncias, levando a estimativas de probabilidade de falha (PF) e índice de confiabilidade ( $\beta$ ). Este tipo de análise é baseado em alguns princípios dos métodos determinísticos (equilíbrio limite), mas sua maior vantagem é que podem ser quantificadas as incertezas inerentes.

A avaliação probabilística da estabilidade de um talude é realizada considerando-se usualmente o fator de segurança médio  $\overline{FS}$  como uma função de variáveis aleatórias  $X_i$ , independentes, que representam os parâmetros geotécnicos e/ou geométricos (Guedes, 1997). Obtêm-se a probabilidade de ruptura do talude como sendo igual à área sob a curva da distribuição de FS definida por  $FS \leq 1,0$ . Para isso, as variáveis envolvidas são normalmente representadas por curvas de distribuição normal, conforme sugerido por Priest e Brown (1983) e Sandroni e Sayão (1992).

Morlá-Catalán e Cornell (1976), considerando o fator de segurança como normalmente distribuído, chegaram à seguinte formulação para o índice  $\beta$ :

$$\beta = \frac{\overline{FS} - 1}{\sigma_{FS}} \quad (3)$$

O índice de confiabilidade indica o número de desvios-padrão que distancia a ruptura do coeficiente de segurança encontrado. O valor de  $\beta$  complementa o valor de FS e permite estimar a probabilidade de ruptura. Este índice pode ser relacionado com a probabilidade de ruptura,  $P[R]$ , desde que se conheça a forma da distribuição de FS. A Figura 1 mostra a relação entre  $\beta$  e  $P[R]$ , para o caso de distribuição Normal (Gaussiana), do coeficiente de segurança (Assis et al., 2001).

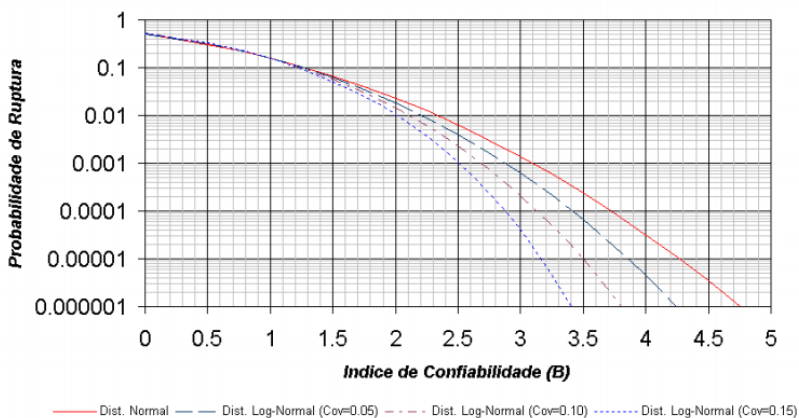


Figura 1. Relação entre  $\beta$  e  $P[R]$  para distribuição normal do coeficiente de segurança

Segundo Baecher (1982), a Figura 2 mostra diferentes probabilidades de ruptura aceitáveis para diferentes tipos de obra. No caso de barragens uma probabilidade de ruptura da ordem de  $10^{-4}$  pode ser aceitável.

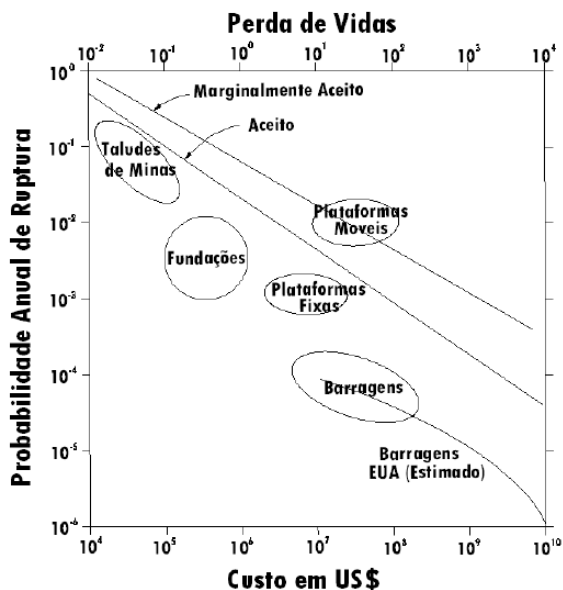


Figura 2. Probabilidade de rupturas admissíveis

Wolff (1996) propôs que, em análises de estabilidade de taludes comuns, seja designada uma probabilidade de ruptura de  $10^{-3}$  (índice de confiabilidade de 3), como aceitável. No caso de taludes críticos, como os das barragens, sugere-se uma probabilidade



de ruptura de  $3 \times 10^{-5}$  (índice de confiabilidade de 4), como aceitável. Já a “British Columbia Hydro” (Nielsen et al, 1994) propôs probabilidades de ruptura de  $10^{-4}$  como aceitáveis para barragens.

Harr (1987) descreve que a ideia básica do método FOSM (First Order Second Moment) é expressar a função de performance (fator de segurança) como uma função de diferentes variáveis aleatórias consideradas na análise estatística. O método é chamado de Segundo Momento porque usa a variância (segundo momento da função de performance). É também referido como sendo de 1ª ordem porque usa só a primeira derivada da série de Taylor (Linear). O procedimento consiste em variar separadamente cada parâmetro, observando-se a variação correspondente do valor da função de performance ou desempenho FS. A aproximação da derivada parcial de cada parâmetro é então obtida através da razão entre a variação observada de FS e a variação estipulada para cada parâmetro.

Do grupo de métodos probabilísticos exatos, a metodologia mais empregada é a de Monte Carlo. Assis et al. (2001) relatam que o método de Monte Carlo objetiva encontrar uma solução numérica aproximada da distribuição de probabilidade da variável dependente  $y$ , definida por uma função de engenharia, por meio de amostragens aleatórias de valores das variáveis independentes  $X_i$  e sucessivas avaliações da referida função. Repetindo este procedimento  $N$  vezes, tem-se uma amostra de valores discretos da variável  $y$ , e, portanto, pode-se calcular sua média, seu desvio-padrão, plotar o histograma de frequências e obter a distribuição probabilística que possui o melhor ajuste. Se o procedimento é repetido sucessivamente, fazendo com que o número de simulações  $N$  seja cada vez maior, tendendo a infinito, as estatísticas amostrais e a forma da distribuição de probabilidade da variável  $y$  tendem para o valor populacional, ou seja, a solução pode ser considerada exata.

### 3 | ESTUDO DE CASO

A barragem analisada está localizada no município de Aquiraz, no estado do Ceará. Geologicamente, a região de implantação desta barragem, foi caracterizada pela presença do Complexo Caicó, Grupo Barreiras e aluviões. O Complexo Caicó, cristalino, constitui-se por gnaisses, de coloração cinza clara, e magmáticos. O Grupo Barreiras, responsável por cerca de 95% da cobertura da região, é representado por argilas variegadas e arenitos avermelhados, incluindo seixos de quartzo e rochas cristalinas diversas. Na região litorânea ocorre como um espesso pacote de material areno argiloso, já nas porções mais próximas à costa, a lixiviação contribui para carrear material argiloso, resultando uma cobertura superior mais arenosa (SRH, 1998).

Após análise das alternativas para o barramento, baseando-se nos estudos técnicos e econômicos, arranjo geométrico escolhido foi o apresentado na Figura 3. Observa-se que a seção tipo possui inclinações suaves. O maciço foi constituído por um solo de alteração

de origem gnáissica, proveniente das escavações do vertedouro. Este solo foi caracterizado como areia argilo-siltosa, e granulometria variada, com pedregulhos de quartzo, feldspato e mica.

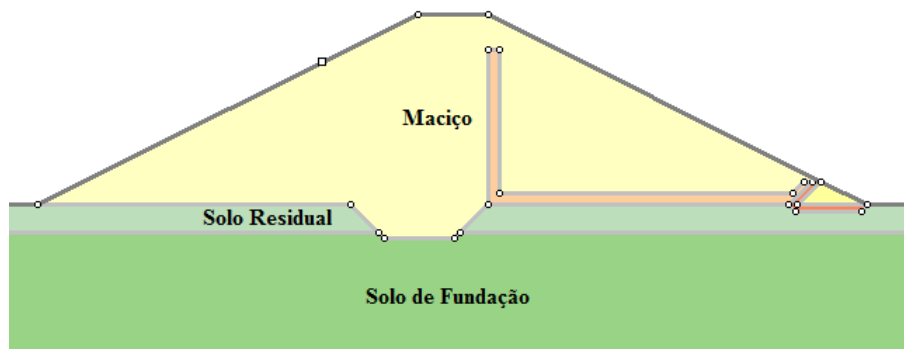


Figura 3. Seção da Barragem

A barragem possui uma altura de aproximadamente de 16 metros, talude de montante com inclinação de 1(V):2(H), e talude de jusante com inclinação 1(V):2(H). A Tabela 2 apresenta os parâmetros dos solos que constituem a barragem.

Solo	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	c (kPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
Maciço	27,4	6,4	17,6
Residual	30	0	18,5
Fundação	30	0	18,5

Tabela 2. Parâmetros dos solos analisados

Para a análise de estabilidade a partir dos métodos determinísticos e probabilísticos, o estudo avaliou a fase de final de construção da barragem. A metodologia determinística utilizada para estimar o fator de segurança foi a de Bishop. Quanto aos métodos probabilísticos, empregou-se os métodos de FOSM e Monte Carlo. Os coeficientes de variação adotados nas análises probabilísticas para todos os tipos de solo foram: peso específico igual a 3%, coesão efetiva igual a 40% e o ângulo efetivo de resistência igual a 10%.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Segundo momento de primeira ordem (FOSM)

Para a análise da estabilidade do talude de montante, foi utilizado o programa SLIDE. No estudo de estabilidade foram consideradas as variações das características dos solos apresentadas na Tabela 3. Para a determinação da variância do fator de segurança, foi seguida a recomendação de Farias e Assis (1998), empregando-se incrementos iguais a 10% nos parâmetros dos solos.

A Tabela 3 apresenta a metodologia de FOSM para a determinação do índice de confiabilidade ( $\beta$ ) e das contribuições relativas de cada parâmetro. As análises foram determinadas pelo método de Bishop, considerando a etapa de final de construção da barragem, e o fator de segurança médio  $\overline{FS} = 1,416$ . Considerando  $V[FS] = 0,026$ , calculado na Tabela 3, obtêm-se o desvio padrão do fator de segurança  $\sigma[FS] = 0,142$ . Com base na Equação 3, calcula-se o índice de confiabilidade  $\beta = 2,56$ , que corresponde a probabilidade de falha de  $6 \times 10^{-3}$ .

Parâmetro	$X_i$	$\delta X_i$	$\delta FS_i$	$V[X_i]$	$(\delta FS_i / \delta X_i)^2 \cdot V[X_i]$	Contribuição (%)	
Maciço	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	17,60	1,76	-0,019	0,28	0,000032	0,12
	$\phi$ (o)	27,40	2,74	0,133	7,51	0,017689	67,05
	c (kPa)	6,40	0,64	0,023	6,55	0,008464	32,08
Solo Residual	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	18,50	1,85	0,002	0,31	0,000000	0,00
	$\phi$ (o)	30,00	3,00	0,014	9,00	0,000196	0,74
	c (kPa)	0,00	0,00	-0,089	0,00	0,000000	0,00
Solo de Fundação	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	18,50	1,85	0,000	0,31	0,000000	0,00
	$\phi$ (o)	30,00	3,00	0,000	9,00	0,000000	0,00
	c (kPa)	0,00	0,00	0,000	0,00	0,000000	0,00
$V[FS] =$					0,026	100	

Tabela 3. Metodologia FOSM

### 4.2 Método de Monte Carlo

Foram realizadas simulações com 1000, 10000, 100000, 1000000 e 10000000 valores para os 5 parâmetros de incertezas que fazem parte do cálculo do fator de segurança. A geração aleatória pode ser realizada através do software SLIDE, empregando os dados de acordo com a Tabela 4.

Parâmetros		Média	Desvio Padrão	Relativo Mínimo	Relativo Máximo
Maciço	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	17,60	0,53	1,06	1,06
	$\phi$ (o)	27,40	2,74	5,48	5,48
	c (kPa)	6,40	2,56	5,12	5,12
Solo Residual	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	18,50	0,56	1,11	1,11
	$\phi$ (o)	30,00	3,00	6,00	6,00
	c (kPa)	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 4. Parâmetros de entrada - Monte Carlo

Os valores mínimos ( $R_{\min}$ ) e máximo relativos ( $R_{\max}$ ) representam a distância destes valores até o valor da média da distribuição. Para a análise utilizando a distribuição normal, adotou-se um nível de confiança de 95,0%, ou seja, um intervalo de dois desvios padrão para as análises utilizando o método de Monte Carlo. De posse desses dados, calcula-se diretamente a média e o desvio padrão do FS possibilitando, assim, a determinação do índice de confiabilidade ( $\beta$ ), como visto na Tabela 5.

Número de Simulações	E [F]	$\sigma$ [F]	FSmin	FSmax	$\beta$
1000	1,43	0,141	1,064	1,848	3,08
10000	1,43	0,141	1,021	1,867	3,05
100000	1,43	0,141	0,984	1,902	3,05
1000000	1,43	0,141	0,989	1,898	3,04

Tabela 5. Resultados das simulações Monte Carlo

Ao observar a evolução dos valores das estatísticas (média, desvio padrão, probabilidade de falha etc.) e da forma da distribuição de probabilidade com a evolução com o número de simulações. Percebe-se a não ocorrência de variações destes valores com o aumento do número de simulações, aceitando-se o resultado da simulação de Monte Carlo. Verificando-se um índice de confiabilidade ( $\beta$ ) de 3,05 e uma probabilidade de falha de  $1,5 \times 10^{-3}$ .

Avaliando o resultado da metodologia determinística isoladamente, verifica-se um fator de segurança de 1,416, que de acordo com a USACE (2003), indica que o talude de montante da barragem analisada é considerado estável para a fase de final de construção. Ao passo que nas análises probabilísticas, o talude estudado apresenta uma probabilidade

de falha superior as recomendações por Baecher (1982), Wolff (1986) e Nielsen et al (1994). Esta inconsistência está relacionada à desconsideração das incertezas dos parâmetros geotécnicos nas análises convencionais de estabilidade de taludes.

## 5 I CONCLUSÕES

Observa-se que as imprecisões nos dados de projeto dos parâmetros geotécnicos do solo podem influenciar na incerteza do fator de segurança e que os erros sistemáticos e a dispersão das amostras são as principais causas de indefinições. A análise probabilística associada a análise determinística, pode auxiliar na análise dos requisitos de segurança dos taludes de barragens, de maneira a tornar mais perceptíveis os riscos envolvidos, os quais podem afetar de modo significativo a estabilidade de taludes em barragens de terra.

Das análises probabilísticas realizadas, conclui-se que não existe uma diferença significativa entre as probabilidades de falha obtidas pelos métodos de FOSM e o método de Monte Carlo. Indicando que o método de FOSM é aceitável para a prática, devido à sua simplicidade de cálculo e à obtenção de informações adicionais (porcentagens de cada parâmetro na variância do fator de segurança). Segundo a metodologia de FOSM, os parâmetros que apresentaram maior influência na estabilidade do talude de montante analisado foram a coesão e o ângulo de atrito do solo do maciço. A partir das análises determinísticas e probabilísticas, percebe-se que o fator de segurança estimado por métodos determinísticos pode apresentar uma análise de estabilidade equivocada. Assim, o fator de segurança proporciona um falso senso de segurança, quando analisado isoladamente. Portanto, ele não é um indicador suficiente para concluir pela segurança do talude.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, F. R. **Risco Geotécnico: Uma Abordagem Estocástica para Análise de Estabilidade de Taludes da Barragem Olho D'Água no estado do Ceará**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Ceará, 2013, 130p.

ASSIS, A.P., ESPÓSITO, T.J., GARDONI, M.G. & SILVA, P.D.E.A. (2001). **Métodos Estatísticos Aplicados a Geotecnia**. Publicação G.AP-002/01, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 177 p.

BAECHER G. B. (1982). **Statistical Methods in Site Characterization. Updating Subsurface Samplings of Soils and Rocks and their In-situ Testing**, Santa Barbara, Engineering Foundation, pp. 463-492.

BRITO, C. B. – **Programação Dinâmica Aplicada à Análise de Estabilidade de Taludes Não Saturados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, 2003, 47p.

CRUZ, Paulo Teixeira da. **100 Barragens Brasileiras: Casos Históricos, Materiais de Construção**. São Paulo: Oficina de Textos, 1996.

FARIAS, M.M. & ASSIS, A.P. (1998). **Uma Comparação entre Métodos Probabilísticos Aplicados à Estabilidade de Taludes**. XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – XI COBRAMSEG. ABMS, Brasília, DF, 2: 1305 – 1313.

FENTON, Gordon A.; GRIFFITHS, D. V. **Risk Assessment in Geotechnical Engineering**. John Wiley & Sons, New Jersey, 2008.

GUEDES, M. C. S. (1997) **Considerações sobre Análise Probabilística da Estabilidade de Taludes**. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio, 146 p.

HARR, M.E. (1987). **Reliability-Based Design in Civil Engineering**. Mc Graw – Hill, New York, NY.

MORLÁ-CATALÁN, J.; CORNELL, C.A. (1976) **Earth Slope Reliability by a Level-Crossing Method**. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 102 (GT6): 591-604.

NIELSEN, N., HARTFORD, D., & MACDONALD, T. (1994). **Selection of Tolerable Risk Criteria in Dam Safety Decision Making**. Proc. Canadian. Dam Safety Conf. Bitech Publishers, Vancouver, B. C.

PRIEST, S.D.; BROWN, E.T. (1983) **Probabilistic Stability Analysis of Variable Rock Slopes**. Institution of Mining and Metallurgy, Section A, London.

SANDRONI, S.S. e SAYÃO, A.S.F.J. (1992) **Avaliação Estatística do Coeficiente de Segurança de Taludes**. 1ª Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, COBRAE, vol. 2, 523-536.

SAYÃO, Alberto. Palestra Técnica: **Considerações Geotécnicas sobre a Segurança de Barragens**. **Revista Geotecnia & Fundações**, 2010. Disponível em: <http://www.revistafundacoes.com.br/pdf/revista%2002/Palestra%20t%C3%A9cnica> . Acesso em 10 jun, 2017.

SRH – Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará. **Projeto Executivo da Barragem Catu - Tomo III - Relatório Geral - Vol 1- Memorial Descritivo**. Kl. Tomo III, 1988.

SOARES, E. P. – **Análise de Estabilidade de um Talude da Mina de Águas Claras – MBR: Uma Visão Probabilística**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, 1996, 66p.

U.S ARMY CORPS OF ENGINEER. **Slope Stability Manual. Engineering and design**. 31 Oct. 2003. Disponível em: [http://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM\\_1110-2-1902.pdf](http://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-2-1902.pdf). Acesso em 15 jun, 2017.

WOLFF, T. F. 1996. **Probabilistic Slope Stability in Theory and Practice**. Uncertainty in the geologic environment: From theory to practice, Geotechnical Special Publication No. 58, C. D. Shackelford et al., eds., ASCE, New York, 419– 433.



## ÍNDICE REMISSIVO

### A

ABS 7, 12, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53

Agitação 1, 2, 4, 6, 7, 8, 12, 14, 15, 20, 69, 203, 204, 207

Ângulo de inclinação 105, 106, 107, 111, 114

Anidrido maleico 33, 34, 35, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46

Aspersão térmica 54, 58, 59, 61, 62, 64, 65, 66

### B

Banda larga 87, 94, 95

Blenda PS/PCL 68

### C

Cicatrização 75, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84

Concreto 96, 97, 98, 100, 103, 104, 136, 226, 229, 230, 232, 233, 234, 235, 237, 238, 239

Construção civil 96, 97, 103

### D

Desgaste abrasivo 54, 58, 59, 60, 63, 65, 66

### E

Ensino 1, 6, 8, 10, 21, 255

### F

Feridas 75, 77, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85

Ferrocarbonila 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95

Filme fino 68

Fotodegradação UV 68

### I

Impressão 3D 1, 15

Índice de acidez 17, 18, 19, 20, 21

Índice de peróxido 17, 19, 20, 21

### M

Materiais absorvedores de radiação eletromagnética 87, 88, 95

Matlab 105, 106, 107

Mecanismo de reação 33, 35, 39

Medicina regenerativa 75, 76, 77, 78, 79, 80, 83, 84

Mistura 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 12, 15, 34, 37, 39, 41, 43, 44, 45, 46, 51, 69, 97, 99, 203, 204

Modificação química 33, 38, 39, 40, 41, 46

## **N**

Nanobiomateriais 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84

## **O**

Óleo de soja 17, 19, 21

Operação unitária 2, 23

## **P**

Painéis solares fixos 105

Polipropileno 96, 97, 99, 104

## **R**

Reciclagem 96, 97, 186, 189, 192, 194

Refletividade 87, 90, 91, 92, 93, 94, 95

Reutilização 17, 18, 19, 96, 186, 189, 191, 194

Revestimentos cerâmicos 54, 55, 56, 60, 67

## **S**

Sedimentação 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32

Separação de partículas 22, 23

Sistemas fotovoltaicos 105, 106

Suspensão 4, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 30, 32, 203, 204

## **T**

Teste de proveta 22, 23, 24

# As Engenharias agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento

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

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

@atenaeditora 

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

Atena  
Editora

Ano 2021

# As Engenharias agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento

[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