

ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

4

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro
(Organizadores)

ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

4

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro
(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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª 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

Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

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

Profª Drª 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

Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

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

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

Profª Drª 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

Profª Drª 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

Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

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

Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

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

Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

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

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

Linguística, Letras e Artes

Prof^ª Dr^ª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof^ª Dr^ª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^ª Dr^ª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª 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^ª 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^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª 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^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª 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^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª 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^ª 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^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª 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

Editora Chefe: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremona
Correção: Flávia Roberta Barão
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia: metodologias e práticas de caráter multidisciplinar 4 / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann, Rennan Otavio Kanashiro. - Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-889-2

DOI 10.22533/at.ed.892211003

1. Engenharia. I. I. Dallamuta, João (Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III. Kanashiro, Rennan Otavio (Organizador). IV. 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

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

Caro(a) leitor(a)

Como definir a engenharia? Por uma ótica puramente etimológica, ela é derivada do latim *ingenium*, cujo significado é “inteligência” e *ingeniare*, que significa “inventar, conceber”.

A inteligência de conceber define o engenheiro. Fácil perceber que aqueles cujo ofício está associado a inteligência de conceber, dependem umbilicalmente da tecnologia e a multidisciplinaridade.

Nela reunimos várias contribuições de trabalhos em áreas variadas da engenharia e tecnologia. Ligados sobretudo a indústria petroquímica com potencial de impacto nas engenharias. Aos autores dos diversos trabalhos que compõe esta obra, expressamos o nosso agradecimento pela submissão de suas pesquisas junto a Atena Editora. Aos leitores, desejamos que esta obra possa colaborar no constante aprendizado que a profissão nos impõe.

Boa leitura!

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE FLEXÃO DE VIGAS DE CONCRETO SIMPLES

Vinícius Borges de Moura Aquino

Marco Donisete de Campos

DOI 10.22533/at.ed.8922110031

CAPÍTULO 2..... 18

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE FLEXÃO DE VIGAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO ARMADO

Afonso Henrique de Campos Rodrigues

Marco Donisete de Campos

DOI 10.22533/at.ed.8922110032

CAPÍTULO 3..... 34

THE USE OF BABASSU COCONUT FIBERS IN THE PRODUCTION OF CONCRETE

Wilson Alves Oliveira Junior

Maria Elayne Rodrigues Alves

Bruna Leal Melo de Oliveira

João Batista de Oliveira Libório Dourado

Aluska do Nascimento Simões Braga

Valdeci Bosco dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.8922110033

CAPÍTULO 4..... 40

RECICLAGEM DO POLIPROPILENO PARA OBTENÇÃO DO COMPÓSITO POLIMÉRICO REFORÇADO COM PÓ DE OSTRAS

Terezinha Jocelen Masson

Rafael dos Santos Lima

DOI 10.22533/at.ed.8922110034

CAPÍTULO 5..... 58

DESMITIFICANDO A RADIOATIVIDADE

Leandro Soares da Silva

Déborah Vitória de Souza Silva

Eduardo Mendonça Pereira Cavalcanti

Kauã Felipe Santiago

José Allan da Silva

DOI 10.22533/at.ed.8922110035

CAPÍTULO 6..... 66

PROPOSTA DE SILO GRANELEIRO TEMPORÁRIO PARA FAZENDAS DA FRONTEIRA AGRÍCOLA DO BRASIL

José Roberto Rasi

Jorge Augusto Serafim

Jonathan Figueiredo Broetto

DOI 10.22533/at.ed.8922110036

CAPÍTULO 7.....84

USO DE METANOL E ETANOL NO DIAGNÓSTICO DE FALHAS TÉRMICAS ENVOLVENDO PAPEL KRAFT ISOLANTE

Helena Maria Wilhelm
Paulo Oliveira Fernandes
Geovana Carolina dos Santos
Maria Letícia Gomes dos Santos
Thatiane Tamyris Kuczera Pereira
Laís Pastre Dill
Daniel da Conceição Aroucha Filho
Marcelo Luiz de Carvalho Ribeiro
Arley de Paula Mar
Pedro José dos Santos Junior

DOI 10.22533/at.ed.8922110037

CAPÍTULO 8.....97

SÍNTESE E AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM COMPÓSITO CERÂMICO ZIRCÔNIA E ALUMINA PARA APLICAÇÃO EM PRÓTESE CRANIOMAXILOFACIAL

José Victor Passos Santiago
Viviane Silva Gomide

DOI 10.22533/at.ed.8922110038

CAPÍTULO 9.....108

SUITABILITY OF INTERNAL TANK COATINGS FOR AROMATIC HYDROCARBONS STORAGE

Ulysses Ramos
Aldo Ramos Santos
Joaquim Pereira Quintela
Carlos Rene Klotz Rabello
Cleber Gonçalves Ferreira
Emmanuelle Sá Freitas

DOI 10.22533/at.ed.8922110039

CAPÍTULO 10.....120

DISEÑO DE UN FALDÓN ESTRUCTURAL CIRCULAR DE APOYO PARA UN SILO METÁLICO CON CAPACIDAD DE ALMACENAR 300 M³ DE CLINKER

Luis Orlando Cotaquispe Zevallos

DOI 10.22533/at.ed.89221100310

CAPÍTULO 11.....136

DETERMINAÇÃO DE DESCARGAS DE LODO DE REATORES UASB COM PÓS-TRATAMENTO AERADO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS DO EFLUENTE

Jane Mary Targino Moreira
Ruam Magalhães da Silva
Renata Carlos Freire

DOI 10.22533/at.ed.89221100311

CAPÍTULO 12.....	147
AVALIAÇÃO DE ÓLEO VEGETAL ISOLANTE OBTIDO DE UMA NOVA FONTE DE MATÉRIA-PRIMA: AS MICROALGAS	
Helena Maria Wilhelm	
Giorgi Dal Pont	
Claudio Aparecido Galdeano	
Eduardo João de Palma	
Luiz A. Ravaglia	
DOI 10.22533/at.ed.89221100312	
CAPÍTULO 13.....	158
ANÁLISE ESTRUTURAL DO COMPORTAMENTO SÍSMICO DE BARRAGENS DE REJEITO	
Antonio Nilson Zamunér Filho	
Gabriel Gomes Silva	
Wellington Andrade da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.89221100313	
CAPÍTULO 14.....	171
ANÁLISE DE TENSÃO E COMPARAÇÃO DE PROCESSO DE FABRICAÇÃO EM ROD END	
Jói da Silva Theis	
Luiz Carlos Gertz	
André Cervieri	
Antonio Flavio Aires Rodrigues	
Gustavo Pizarro Meneghello	
DOI 10.22533/at.ed.89221100314	
CAPÍTULO 15.....	179
INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE TRATAMENTO TÉRMICO NO DESEMPENHO FOTOCATALÍTICO DE FIBRAS DE TiO₂	
Luana Góes Soares da Silva	
Annelise Kopp Alves	
DOI 10.22533/at.ed.89221100315	
CAPÍTULO 16.....	189
EFEITOS DA PIRÓLISE SUAVE EM PELLETS DE <i>Pinus</i>	
Nathalia Heloisa Dullius	
Anderson Rodrigo Heydt	
Adriana Ferla de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.89221100316	
CAPÍTULO 17.....	197
ESTUDO DE SISTEMAS ISOLANTES DE REFERÊNCIA USADOS NA DETERMINAÇÃO DA CLASSE TÉRMICA DE NOVOS SISTEMAS ISOLANTES SEGUNDO A NORMA IEEE C57.100	
Helena Maria Wilhelm	
Paulo Oliveira Fernandes	

Leandro Gonçalves Feitosa
Geovana Carolina dos Santos
Laís Pastre Dill
Leonardo Galhardo
Richard Marek

DOI 10.22533/at.ed.89221100317

CAPÍTULO 18.....209

**DESENVOLVIMENTO DE MADEIRA PLÁSTICA: COMPÓSITOS HÍBRIDOS
POLIPROPILENO/PÓ DE MADEIRA/FIBRA NATURAL**

Terezinha Jocelen Masson
Leila Figueiredo de Miranda
Antonio Hotêncio Munhoz Junior

DOI 10.22533/at.ed.89221100318

CAPÍTULO 19.....220

**AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE EXTRATO DE LIGNINA OBTIDO A
PARTIR DA HIDRÓLISE ALCALINA DA CASCA DE CAFÉ**

Beatriz Leite
Daniel Vieira Mendes
Matheus de Souza Santos
Thiago Wilker Souza do Carmo
Renata Carolina Zanetti Lofrano
Boutros Sarrouh

DOI 10.22533/at.ed.89221100319

CAPÍTULO 20.....233

**ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL COM PROFESSORES E
ALUNOS, NA ZONA RURAL DO MUNICÍPIO BREU BRANCO-PA**

Beatriz Souza da Silveira
Enayle Maria de Freitas Silva
Marcelo Melo dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.89221100320

CAPÍTULO 21.....245

**O BISCOITO ARTESANAL DE VITÓRIA DA CONQUISTA E O SEU POTENCIAL PARA
REGISTRO COMO UMA INDICAÇÃO GEOGRÁFICA**

Valdir Silva da Conceição
Dayana Ferraz Silva
Angela Machado Rocha
Marcelo Santana Silva

DOI 10.22533/at.ed.89221100321

CAPÍTULO 22.....259

**EXTENSÃO INTERDISCIPLINAR NAS PRÁTICAS DE CUIDADOS – CENOPOESIA E
AQUARELA NA SAÚDE MENTAL**

Midiã Kaddja Nunes de Souza

Maria Aridenise Macena Fontenelle

DOI 10.22533/at.ed.89221100322

SOBRE OS ORGANIZADORES	273
ÍNDICE REMISSIVO.....	274

ANÁLISE ESTRUTURAL DO COMPORTAMENTO SÍSMICO DE BARRAGENS DE REJEITO

Data de aceite: 01/03/2021

Data de submissão: 08/12/2020

Antonio Nilson Zamunér Filho

Universidade Federal de Catalão – UFCAT
Catalão – GO
<http://lattes.cnpq.br/8811301615320915>

Gabriel Gomes Silva

Universidade Federal de Catalão – UFCAT
Catalão – GO
<http://lattes.cnpq.br/2266252601158828>

Wellington Andrade da Silva

Universidade Federal de Catalão – UFCAT
Catalão - GO
<http://lattes.cnpq.br/2449347153075493>

RESUMO: A mineração é um dos pilares da sustentação econômica de um país, contribuindo diretamente para seu desenvolvimento, contando que suas atividades sejam realizadas com responsabilidade social e ambiental, estando sempre presentes os preceitos do desenvolvimento sustentável. Porém, das atividades de mineração resultam a produção de elevadas quantidades de resíduos, que devem ser armazenadas de forma segura. Um destes resíduos é a fração de rejeito, provinda do processo de beneficiamento mineral e disposta em barragens de rejeito, as quais devem ser projetadas com foco em diversas diretrizes que garantam sua estabilidade. Um dos pontos de estudo deste trabalho é a análise estrutural das barragens quando solicitadas por

ações sísmicas, visto que a sismicidade pode instabilizar os diques de contenção, reduzindo o fator de segurança a ponto de haver uma ruptura dos taludes, gerando impactos catastróficos, além de encargos econômicos como multas, indenizações, entre outros, podendo até levar a inviabilização das atividades mineiras.

PALAVRAS-CHAVE: Barragens de rejeito, sismicidade, estabilidade.

STRUCTURAL ANALYSIS OF SEISMIC BEHAVIOR OF TAILINGS DAMS

ABSTRACT: Mining is one of the pillars of a country's economic support, contributing directly to its development, as long as its activities are carried out with social and environmental responsibility, with the precepts of sustainable development always present. However, mining activities result in the production of large quantities of waste, which must be stored safely. One of these residues is the fraction of tailings, originating from the mineral beneficiation process and disposed of in tailings dams, which must be designed with a focus on several guidelines that guarantee its stability. One of the points of study of this work is the structural analysis of the tailings dams when requested by seismic actions because the seismicity can instabilize the containment dikes, reducing the safety factor to the point of the rupture of the landfills, generating catastrophic impacts, in addition to charges economic, such as fines, indemnities, among others, which may even result in the impossibility of mining activity.

KEYWORDS: Tailings dams, seismicity, stability.

1 | INTRODUÇÃO

Nas atividades de mineração, a extração e o processamento de minério resultam de elevadas quantidades de resíduos, os quais são definidos como a fração estéril, provinda da exploração na mina e encaminhada para pilhas de estéril, e a fração de rejeitos, originada a partir da etapa de concentração e processamento mineral e encaminhada para armazenamento em barragens devidamente dimensionadas.

De acordo com Rezende (2013), a integridade das barragens de rejeito é de suma importância devido ao grande potencial contaminante do material contido nas mesmas.

Aliado ao enorme potencial contaminante, tem-se atualmente um aumento significativo no volume de rejeitos a serem estocados, devido a evolução de novas técnicas, tanto na lavra quanto no processamento mineral, as quais permitem um maior aproveitamento dos minérios, principalmente aqueles de baixo valor agregado. Nesse contexto, necessita-se de barragens de maiores dimensões, sendo fundamental que haja um planejamento das atividades de modo a garantir o perfeito funcionamento destas obras, assegurando a continuidade das atividades mineiras com segurança e evitando possíveis impactos ambientais (AMORIM, 2007).

Algumas falhas ocorridas em barragens de contenção de rejeitos custaram vidas e causaram danos ambientais consideráveis, resultando em grandes volumes de rejeitos descarregados no meio ambiente (DUARTE, 2008).

Na busca pela redução destes acidentes relacionados a estruturas de contenção, as barragens de rejeito devem ser projetadas com parâmetros mínimos de segurança que são normalmente aceitáveis para os cálculos de estabilidade de taludes. Os coeficientes de segurança obtidos e aceitos para os taludes, nas diversas fases do ciclo de vida do barramento, devem levar em conta a confiabilidade dos dados utilizados nas análises de estabilidade, a adequabilidade e as limitações das análises selecionadas, as magnitudes das deformações toleráveis e as consequências da ruptura em potencial.

Logo, suportar movimentos de fundação associados à sismicidade, sem a perda da capacidade de serviço do reservatório são características essenciais e obrigatórias para projetos e avaliações de barragens, e seu estudo deve ser realizado de maneira rigorosa e bem planejado. Este trabalho busca analisar a estabilidade de barragens quando sujeitas a ações sísmicas, que podem ser geradas de diversos modos, naturais e artificiais (como terremotos, induzidas por veículos, desmontes de rocha com explosivos, entre outros), e que impactará na diminuição do fator de segurança da mesma, podendo acarretar em uma instabilização e ruptura do dique, causando impactos ambientais, sociais e ainda causar perdas de vidas humanas.

2 | DISPOSIÇÃO DE REJEITOS NA MINERAÇÃO

Existem inúmeras formas de disposição de rejeitos, as principais são a disposição em superfície (a céu aberto), em cavidades subterrâneas ou de forma subaquática, sendo que esta última não é comumente utilizada, principalmente por causa dos impactos ambientais a ela relacionados. Atualmente a busca por novas alternativas de disposição destes materiais vem sendo contínua e incessante, devido a diversos fatores, como os grandes volumes de rejeitos provindos do processamento mineral, a necessidade de recuperação de água, redução de impactos ambientais e grandes custos associados ao armazenamento (FIGUEIREDO, 2007).

A forma mais utilizada para dispor rejeitos é a céu aberto, onde utiliza-se para construção do dique de partida materiais provindos de jazidas de empréstimo e também o próprio estéril e/ou rejeito gerados na mina e nas instalações de processamento. O alteamento das barragens pode assumir muitas configurações, cada uma com suas próprias características, requisitos, vantagens e riscos, sendo que estes alteamentos normalmente são realizados com o próprio rejeito, podendo ser por três métodos construtivos diferentes, o método a Montante, método a Jusante e método de Linha de Centro (AMORIM, 2007; FIGUEIREDO, 2007).

O método da montante, é o mais antigo e econômico, sendo uma evolução natural do procedimento empírico de disposição de rejeito, como pode ser observada Figura 1. Atualmente a Agência Nacional de Mineração (ANM) proibiu a utilização do método em todo o território nacional, estabelecendo prazos para descaracterização devido aos inúmeros casos de acidentes causados pela ruptura de barragens que utilizavam este método de alteamento.

Para o método a montante, tem-se que o eixo da barragem se desloca para montante conforme esta vai sendo alteada. Devido o alteamento ser realizado sobre outra camada de rejeito inicialmente depositada (praia de disposição) tem-se que, com uma operação e monitoramento inadequados, a probabilidade de ocorrência de problemas relacionados a suscetibilidade a liquefação e *piping* sejam maiores, o que atribui a este método um caráter de menor segurança com relação aos demais (SPITZ; TRUDINGER, 2009).

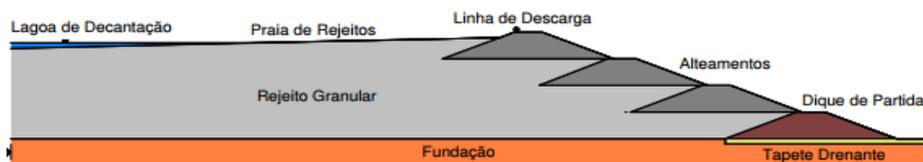


Figura 1 - Alteamento de uma barragem de rejeitos pelo método a Montante (ALBUQUERQUE FILHO, 2004)

Quanto ao método de jusante, tem-se que o eixo da barragem se desloca para jusante conforme ocorre seus alteamentos, fato este que permite que não haja alteamentos realizados sobre a praia de rejeitos, garantindo maior segurança ao barramento. Em contrapartida, tem-se que o método necessita volumes maiores de material para a sua construção, ocupando uma área final bem maior e tendo um custo atribuído mais alto com relação aos outros métodos (AMORIM, 2007).

Uma alternativa entre os métodos já citados seria o método da linha de centro, o qual é uma variação do método de jusante. Neste, tem-se que o eixo da barragem desloca-se verticalmente com relação a execução dos alteamentos. Este método apresenta custos intermediários e necessita de volumes menores, sendo uma alternativa bastante flexível quando comparado ao método a jusante, porém mais dispensioso que o método a montante (AMORIM, 2007).

3 | CARATERÍSTICAS DOS SISMOS

Segundo Lima (2008), inúmeras são as aplicações da dinâmica em projetos de estruturas no ramo das engenharias, principalmente devido as forças sísmicas estarem entre as mais destrutivas forças da natureza, e potencialmente representarem um grande risco de danos materiais e de perdas de vidas humanas. Com a tecnologia disponível, a previsão da ocorrência e grandeza de um sismo em um determinado local, só pode ser feita em termos probabilísticos. O que se busca é, a partir dos registros de sismos passados se obter informações do ponto de vista de engenharia, para que as construções tenham, no futuro, um risco de colapso dentro de um nível de probabilidade considerado como aceitável pela sociedade.

Segundo Loayza (2009), a intensidade de um sismo é um parâmetro de medida qualitativa que classifica a severidade do movimento do solo, provocado por um sismo numa determinada área, com base nos efeitos experimentados por pessoas e observados em objetos, estruturas e na natureza. É, portanto, um parâmetro subjetivo, pois depende da impressão do observador. A magnitude é uma medida quantitativa relacionada com a energia liberada pelo sismo, sendo calculada em função da máxima amplitude dos deslocamentos registrados em estações sismográficas.

De acordo com Assumpção (2000), o tamanho relativo dos sismos é denominado de magnitude. Pode-se mensurá-la usando a Escala Richter, criada em 1935, pelo sismólogo estadunidense Charles Richter. A medida da escala é logarítmica, ou seja, apresenta intervalos de diferença na amplitude das vibrações de dez vezes. Assim, um tremor de magnitude na Escala Richter de 5 tem vibrações dez vezes menores que um tremor de magnitude 6 e cem vezes menores que um cuja magnitude é 7.

Sismos com magnitude menor que 5 geralmente causam danos de pouca significância, já os de magnitude maior do que 5 são potencialmente muito destrutivos.

A profundidade do hipocentro¹ também é um fator que afeta os efeitos destrutivos de um sismo. O Quadro 1 apresenta uma análise da ocorrência de terremotos no Brasil com magnitude superior a 5 entre 1955 e 2008.

Ano	Local	Magnitude (escala Richter)
1955	Serra Tombador - MT	6,6
1955	Litoral Vitória - ES	6,3
1963	Manaus - AM	5,1
1964	NW Mato Grosso do Sul	5,4
1980	Paracajus - CE	5,2
1983	Codajás - AM	5,5
2007	Divisa entre AC e AM	6,1
2008	São Paulo - SP	5,2

Quadro 1 - Terremotos no Brasil com magnitude superior a 5 entre 1922 e 2008 (LOAYZA, 2009)

Para efeito da definição das ações sísmicas a serem consideradas em projetos de construção civil, a NBR 15421 apresenta o zoneamento sísmico brasileiro dividido em cinco zonas sísmicas, as quais são apresentadas no Quadro 2. A Figura 2 também define as mesmas cinco zonas, porém, considerando a variação de a_g , aceleração sísmica horizontal padronizada, para terrenos da Classe B (conforme definido na Norma NBR 15421).

Zona sísmica	Valores de a_g
Zona 0	$a_g = 0,025g$
Zona 1	$0,025g \leq a_g \leq 0,05g$
Zona 2	$0,05g \leq a_g \leq 0,10g$
Zona 3	$0,10g \leq a_g \leq 0,15g$
Zona 4	$a_g \leq 0,15g$

Quadro 2 - Definição das zonas sísmicas (LIMA, 2008)

Observe-se que a Figura 2 reflete a baixa sismicidade do território brasileiro, que apresenta, na maior parte de seu território, valores de a_g inferiores a 0,025g.

¹ O ponto onde o sismo se origina é chamado de *hipocentro* ou *foco*, e geralmente fica em camadas profundas da crosta terrestre. O ponto na superfície da Terra diretamente acima do hipocentro é chamado de *epicentro*.

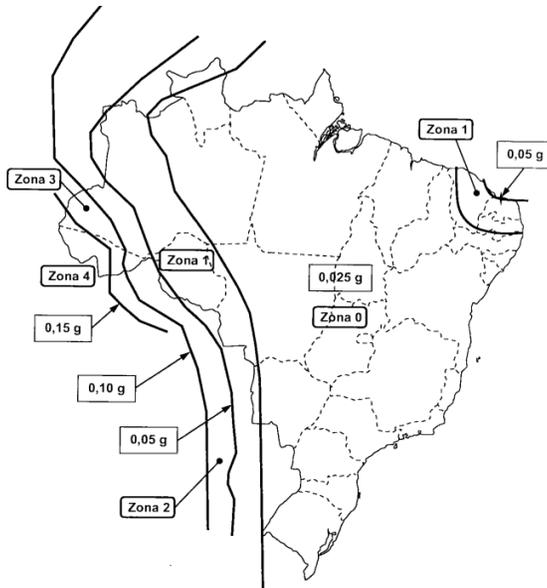


Figura 2 - Mapeamento da aceleração sísmica horizontal característica no Brasil para terrenos da Classe B ("Rocha"), (LIMA, 2008)

4 I MÉTODOS DE CÁLCULO DE ESTABILIDADE DAS BARRAGENS

Segundo Cruz (2014), de modo a prever o comportamento sísmico da barragem pode-se utilizar de vários métodos de cálculo, o mais utilizado para modelagem e análise destas estruturas são métodos dinâmicos, que podem ser realizados com método dos elementos finitos, a fim de se obter resultados mais aproximados, envolvendo porém maior custo operacional. Estes métodos permitem analisar a estabilidade de taludes que levam em conta a ocorrência de deslocamentos permanentes no talude, como o método de Newmark.

Análises que envolvem o cálculo do fator de segurança de estruturas sujeitas a sismos também pode ser feita recorrendo-se a métodos pseudo-estáticos, os quais usam soluções de equilíbrio limite, onde tem-se que as forças de um esforço sísmico são representadas basicamente por componentes verticais e horizontais (coeficientes sísmicos) e, a massa de solo potencialmente instável é multiplicada por este coeficiente (FIORI, 2016).

A análise estrutural da barragem sujeita a ação sísmica tem por objetivo investigar a resposta da estrutura e da fundação quando sujeita a carregamentos dinâmicos, analisando por exemplo, a possibilidade de geração e posterior redistribuição dos excessos de poropressão em determinadas áreas, o que poderia levar ao efeito de perda de resistência ao cisalhamento do solo sob ação do carregamento (liquefação) ou ação de fenômenos erosivos (*piping*) em fissuras criadas pelo sismo, causando danos inerentes de uma provável ruptura da barragem.

5 I METODOLOGIA

5.1 Modelagem da Barragem na condição estática, pseudo-estática e dinâmica

O presente trabalho apresenta uma comparação entre uma análise estática, pseudo-estática e dinâmica de uma barragem de rejeitos com alteamento realizado a montante, de modo a demonstrar o comportamento da barragem sujeita a sismicidades pouco acima das usuais no território brasileiro, podendo-se ter uma noção de como uma barragem de rejeitos de grande porte alteada pelo método a montante (assim como a maior parte das barragens de rejeito brasileiras) tende a se comportar quando sujeita a sismos.

O modelo, adaptado de Loayza (2009), apresenta simplificações geométricas estruturais, a fim de se adaptar as funcionalidades do software utilizado, sendo que estas foram realizadas de modo a não alterar de maneira significativa as condições da barragem (Figura 3).

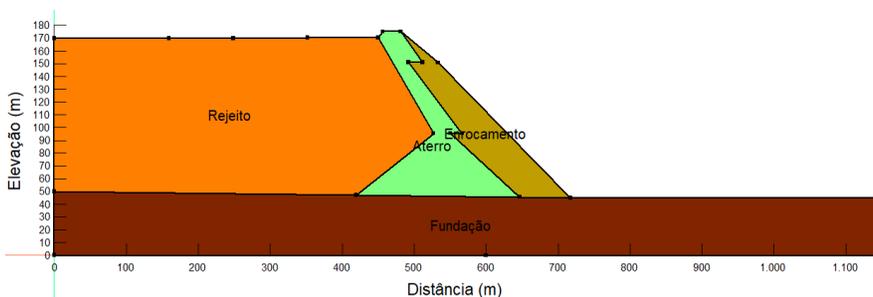


Figura 3 - Modelo geométrico da barragem de rejeitos alteada a montante

O depósito de rejeitos apresenta uma altura de 130 metros a partir da fundação. Considerou-se uma fundação composta por material aluvionar, o rejeito depositado a montante da barragem sendo composto de uma mistura de material argiloso, areia fina e silte, e para o enrocamento considerou-se um colúvio siltoso.

O comportamento da barragem foi simulado sob ação de carregamentos pseudo-estáticos e dinâmicos, segundo as zonas sísmicas 2 e 3, valores pouco usuais para a maior parte do território Brasileiro mas possíveis de ocorrer, onde adotou-se uma aceleração sísmica horizontal de 0,1g para a análise pseudo-estática e um acelerograma na análise dinâmica. Considerou-se também valores aproximados para as propriedades dos materiais da barragem, obtidos no trabalho de Loayza (2009) e também inferidos a partir das características dos mesmos, Quadro 3.

Propriedade do material	Fundação	Aterro	Enrrocamento	Rejeito
Peso específico (KN/m³)	18,75	20	20	15,56
Ângulo de atrito (°)	37	37	37	32
Coefficiente de Poisson	0,2	0,2	0,15	0,3
Condutividade hidráulica (m/s)	5,00E-05	3,83E-07	8,47E-03	3,62E-07
Índice de vazios	0,6	0,55	0,5	0,8
Porosidade	0,375	0,375	0,333	0,444
Considerações para todos os materiais				
<i>Módulo de Cisalhamento Estático (G_{max}) = função estimada pela software a partir de materiais padrões que melhor se assemelham aos utilizados no projeto e dos dados de Loayza (2009).</i>				
- Coeficiente de amortecimento = 0,1 (10%)				
- Coesão considerada nula				

Quadro 3 - Propriedades dos materiais (adaptação de Loayza, 2009)

Fez-se inicialmente uma análise estática através de um software específico para abordagens de problemas geotécnicos, considerou-se neste um modelo elasto-plástico de Mohr-Coulomb para todos os materiais, analisando os dados a partir do modelo teórico de Morgenstern-Price, considerando uma função meio-seno. Os parâmetros de fluxo de água na barragem foram determinados antes de se realizar a análise de estabilidade, sendo considerado um fluxo permanente utilizando os parâmetros geotécnicos do Quadro 3 e funções padrões do software que mais se aproximassem dos materiais modelados, definindo deste modo as funções teor de umidade volumétrica e condutividade hidráulica.

Para a análise pseudo-estática considerou-se apenas a atuação de um sismo de 0,1g no cálculo de equilíbrio-limite, onde o sismo é inserido nos cálculos como um esforço sísmico horizontal.

Para análise dinâmica, fez-se um modelo para o estado de tensões *in situ*, antes da ocorrência do evento sísmico, e, um modelo para a condição pós sismo, considerando um sismo de 0,1g atuando por 10 segundos. Os valores da magnitude foram obtidos a partir de registros históricos de acelerações horizontais (Figura 4).

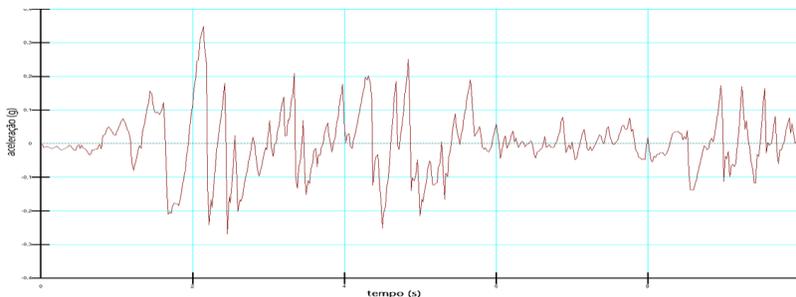


Figura 4 – Registro de aceleração horizontal de 0,1g atuando por 10 segundos.

Utilizou-se da análise linear elástica para modelamento das propriedades dos materiais.

6 | RESULTADOS

Diferente dos estudos realizados em (Silva *et al.*, 2018), nesta versão expandida foi possível realizar menos simplificações nas modelagens numéricas, pois utilizou-se uma versão mais completa do software de análise. Logo, houve a possibilidade de realizar as seguintes alterações: modelagem de mais materiais (considerando aterro e enrocamento separadamente); consideração das distribuições de poropressões determinadas numericamente pelo software, a partir dos parâmetros hidráulicos dos materiais (funções de teor de umidade volumétrica e condutividade hidráulica); melhor discretização da malha do modelo de elementos finitos a fim de tornar mais representativo o modelo e a transmissão de ondas sísmicas através do maciço e do solo, e estimativa da variação dos módulos de cisalhamento (G_{\max}) em função das tensões efetivas na análise dinâmica.

Levando em conta a metodologia supracitada, o fator de segurança foi obtido pelo método de Morgenstern-Price na condição estática, $FS_{\text{estático}} = 1,35$ (Fig. 5.a), e na condição pseudo-estática, $FS_{\text{p-est}} = 1,07$ (Fig. 5.b). Geralmente empregada-se o valor limite de 1,1 para análise de estabilidade pseudo-estática, logo, vê-se que o valor está abaixo do requerido, necessitando da realização de análises dinâmicas.

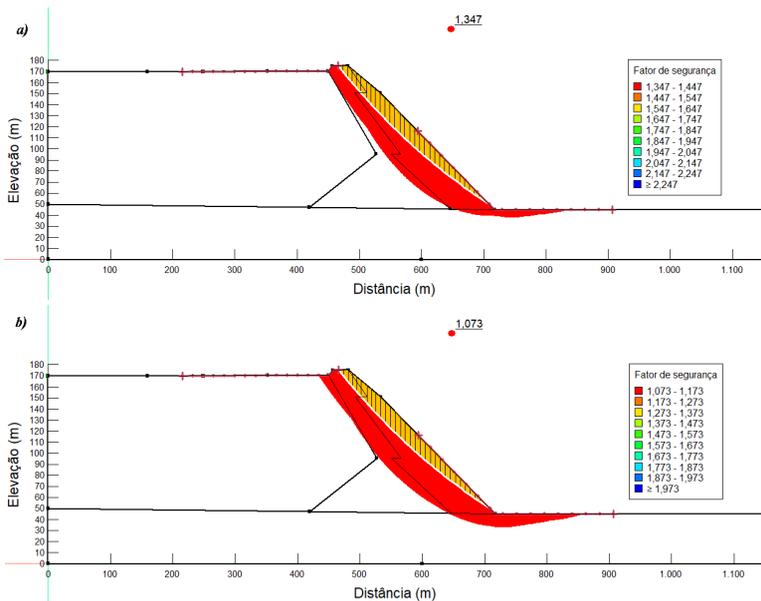


Figura 5 – Fator de segurança pelo método de Morgenstern Price: a) análise estática; b) análise pseudo-estática.

Para a análise estrutural da barragem dinâmica, buscou-se investigar: a possibilidade de geração de excessos de poropressões em determinadas áreas (liquefação); possibilidade de amplificação da aceleração horizontal em pontos estratégicos da barragem; deslocamento horizontal e vertical; estabilidade dos taludes e fator de segurança pós-sismo.

A análise dos resultados da razão de tensão cíclica (CSR) está diretamente relacionada com a possibilidade de liquefação. Em geral, quanto maior o CSR, maior a possibilidade de liquefação. Considerou-se apenas possibilidade de ocorrência de liquefação na bacia de rejeitos e na fundação, pois são materiais com alta possibilidade de saturação. De acordo com a Figura 6, percebe-se que a zona mais suscetível a aumento de poropressões devido ao abalo sísmico encontra-se a jusante da fundação, com elevados valores de CSR, o que favorece a possibilidade de ocorrência de liquefação (maiores que 1,0 em algumas zonas).

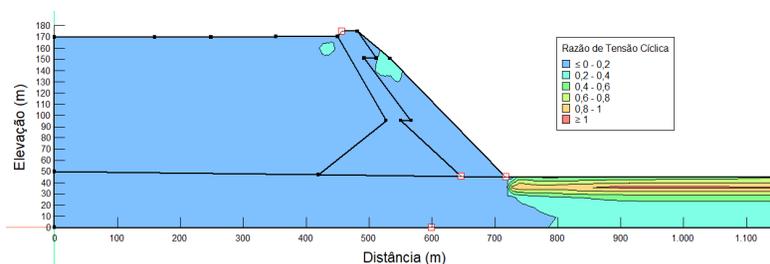


Figura 6 – Razão de tensão cíclica (CSR) apresentando as zonas com maior possibilidade de ocorrência de liquefação.

Assim como apresentado na Figura 7 fez-se mensuração de pontos de registro histórico de sismicidade na crista (1), junto ao dreno central na base da fundação (2), no pé da barragem (3) e em um ponto abaixo na fundação (4), buscando analisar amplificações nas acelerações horizontais, que poderiam causar danos na estrutura da barragem. Percebe-se pelos gráficos que as acelerações horizontais de pico possuem valores elevados na fundação a jusante da barragem, indicando amplificação nestas zonas, enquanto que, avaliando apenas os pontos de registros históricos dos 10 segundos de atuação do sismo, adicionados na simulação, tem-se a maior amplificação de aceleração horizontal observada na crista (0,2g).

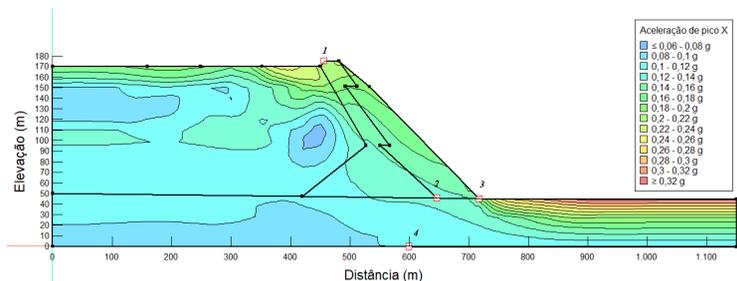


Figura 8 - Acceleeração horizontal referente ao sismo de 0,1g

A partir da análise dinâmica (pós-sísmica) obteve-se um $FS_{\text{dinâmico_p.s.}} = 1,37$, sendo que pela análise de estabilidade realizada pelo método de Newmark, foi possível obter a variação do FS com relação ao tempo, onde o menor FS encontrado no tempo de atuação do sismo foi de $FS_{\text{dinâmico_min}} = 1,21$. Os resultados podem ser observados na Figura 9.

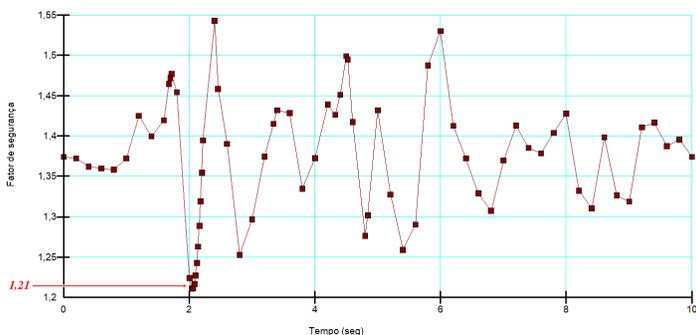


Figura 9 - Fator de segurança vs tempo (análise dinâmica)

Após os 10 segundos de sismo, toda a estrutura da barragem apresentou deslocamentos e deformações, os quais podem ser analisados no Quadro 4 junto aos outros valores de parâmetros observados.

Parâmetros	Análise dinâmica	Análise pseudo-estática	Análise estática
Razão de Tensão Cíclica (CSR)	0,020 à 1,050	-	-
Deslocamento Horizontal	0,050 m à 0,060 m	-	-
Deslocamento Vertical	-0,002 m à 0,002 m	-	-
Acceleeração Horizontal de pico	0,070 g à 0,330 g	-	-
Fator de Segurança Mínimo	1,21 (durante o sismo) 1,37 (pós sismo)	1,07	1,35

Quadro 4 - Resultados para o modelo em função de diversos parâmetros

Percebe-se, a partir dos resultados apresentados para o caso estudado neste trabalho, que o fator de segurança mesmo sendo maior que o esperado para um ruptura ($FS \geq 1$), ainda tem-se valores abaixo dos requeridos pelas normas de segurança de barragens em alguns casos, como na condição pseudo-estática, além disso, em uma simulação considerando parâmetros geotécnicos não drenados, o FS poderá apresentar valores bem menores dos que os obtidos neste trabalho, devendo assim aprofundar ainda mais os estudos com foco na obtenção de resultados significativos.

Pelos resultados obtidos neste trabalho, percebe-se que existe a possibilidade de ocorrência de liquefação na fundação a jusante, da barragem em estudo, quando se tem a atuação de um sismo de 0,1g e 10 segundos, indicando que deve-se utilizar também outras análises para avaliar a estabilidade dinâmica da barragem.

Um ponto interessante seria a realização de uma análise probabilística de estabilidade, contando que se tenha dados suficientes para tal, o que poderá auxiliar em um melhor entendimento do comportamento deste tipo de barragem de rejeitos, permitindo realizar uma análise de riscos e abordar melhores formas de se atuar na previsão de rupturas e acidentes com barragens.

7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho buscou apresentar uma perspectiva sobre a segurança de barragens de rejeito no território brasileiro, por meio de um estudo de caso, na hipótese de ocorrência de um carregamento sísmico aplicado a esta estrutura, considerando um valor para aceleração horizontal da gravidade de 0,1g. De acordo com os resultados apresentados pelo estudo de caso, comparando-se os fatores de segurança para análises estática, pseudo-estática e dinâmica (durante e pós-sismo), obteve-se $FS_{estática} = 1,35$, $FS_{p-est} = 1,07$, $FS_{dinâmico_p.s.} = 1,37$, $FS_{dinâmico_min} = 1,21$. Assim percebe-se que não há ruptura da barragem, para o estudo de caso proposto, porém não tem-se adequabilidade com as normas de segurança de barragens de rejeito ($FS_{p-est} < 1,1$). Outro ponto a se observar são as ampliações nas acelerações horizontais tanto na crista quanto na base a jusante da fundação, além da ocorrência de liquefação nesta zona a jusante na fundação. Apesar da proibição do método de alteamento a montante de barragens de rejeito em todo território brasileiro, ainda se tem um grande número de barragens com estas características presentes nos empreendimentos de mineração, sendo de fundamental importância a realização de estudos que mostrem como estas tendem a se comportar sob diferentes aspectos operacionais, contribuindo para melhores práticas requeridas internacionalmente.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 15421:2006. **Projeto de estruturas resistentes a sismos – Procedimento**. Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2006.

ALBUQUERQUE FILHO, L.H. **Análise do comportamento geotécnico de barragens de rejeitos de minério de ferro através de ensaios de piezocone**. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto/MG, 2004.

AMORIM, E. F. **Efeitos do Processo de Deposição no Comportamento de Rejeitos da Mineração de Ouro**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília/DF, 2007.

ASSUMPTÃO, M. et al. **Sismicidade e estrutura interna da Terra**. In: TEIXEIRA, W. et al. org. Decifrando a Terra. Oficina de Textos, São Paulo, 2000. 568p. il. p. 47-50.

CRUZ, P. T. et al. **Barragens de Enrocamento com Face de Concreto**. Oficina de Textos, São Paulo, 2014.

DUARTE, A. P. **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no Estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte/MG, 2008.

FIGUEIREDO, M. M. **Estudo de metodologias alternativas de disposição de rejeitos para a mineração Casa de Pedra – Congonhas/MG**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Geotécnica da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto/MG, 2007.

FIORI, A. P. **Fundamentos de Mecânica dos Solos e das Rochas**. Oficina de Textos, São Paulo, Brasil, 2016.

LIMA, S. S.; Santos, S. H. C. **Análise dinâmica das estruturas**. Editora Ciência Moderna Ltda. Rio de Janeiro/RJ, 2008, p.125 – 137.

LOAYZA, F. H. **Modelagem do comportamento pós-sismo de uma barragem de rejeito**. Dissertação do Programa de Pós-Graduação (Mestrado) em Engenharia Civil da PUC-Rio, Rio de Janeiro/RJ, 2009.

REZENDE, D. A. D. **Análise probabilística de estabilidade de taludes em barragens de rejeitos**. Dissertação de Mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, 2013.

SILVA, G. G.; SILVA, W. A.; FILHO, A. N. Z. & COUTINHO, M. H. B. **Análise estrutural de barragens de rejeito considerando a ação sísmica**. V SPPGI - Seminário de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação da Regional Catalão, da Universidade Federal de Goiás. ANAIS, E-Book Tecnologias em Pesquisa – Engenharias – Vol. 2. ISBN 978-85-462-1409-9, 2018.

SPITZ, K.; TRUDINGER, J. **Mining and the Environment: From Ore to Metal**. P.O.Box 447, 2300 AK Leiden, The Netherlands, 2009.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Alumina 97, 99, 100, 101, 102, 105, 106, 107

Ansys 3, 17, 18, 120, 132, 135, 176

Armazenagem de grãos 66, 67, 68, 69, 81, 82, 83

B

Barragens de rejeito 158, 159, 164, 169, 170

Biomateriais 97, 98, 99, 106, 107

C

Concreto 1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 26, 27, 31, 32, 33, 35, 39, 66, 69, 71, 75, 76, 80, 81, 82, 121, 170

Concreto armado 1, 2, 17, 18, 19, 33, 71, 76, 82

D

Descarte de lodo 136, 137, 139

Diseño 120, 121, 123, 124, 125, 128

E

Energia nuclear 58, 61

Ensaio de flexão de três pontos 1, 9, 16

Estabilidade 2, 99, 100, 136, 137, 147, 148, 149, 151, 153, 154, 156, 158, 159, 163, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 192

Estructuras 82, 120, 123, 128

Etanol 84, 85, 87, 89, 94, 95, 212, 222, 226, 231

Extensômetro 171

F

Falhas térmicas 84, 85, 86, 87, 93

Fibra de coco babaçu 35

Flexión 120, 130, 131

Forjamento 172, 174, 178

Frequência de descarga 136, 142

G

Gases de falha 85

M

Metanol 84, 85, 87, 89, 94, 95, 224

Método numérico 2, 18

Microalgas 147, 148, 149, 156

Microfundido 172, 175, 178

O

Óleo isolante 84, 85, 86, 87, 92, 147

P

Pandeo 120, 134, 135

Papel kraft isolante 84, 85, 87, 198

Pó de ostra 40, 42, 44, 45, 46, 47, 49

Polipropileno 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 52, 54, 55, 56, 57, 209, 211, 217, 218, 219

Popularização da ciência 58

Preservação ambiental 40, 42

Propriedades mecânicas 26, 35, 39, 97, 101, 102, 202, 203, 204, 211

Prótese craniomaxilofacial 97

R

Reforço 35, 40, 45, 48, 56, 209, 210, 212, 219

Resistencia à compressão 35

Rigidez 45, 120, 127, 128, 153, 209, 223

Rod end 171, 172, 173, 174, 175, 178

S

Silo horizontal 66, 71, 72, 75, 76

Simulação numérica 1, 18, 19, 23, 31, 32, 33, 171, 176

Sismicidade 158, 159, 162, 167, 170

Sólidos sedimentáveis 136, 138, 139, 141, 145

T

Teatro científico 58, 59

Trabalhabilidade 35

V

Viga cilíndrica 18, 19, 20, 22, 27

Z

Zircônia 97, 100, 101, 102, 105, 107

ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

4

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

4

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 