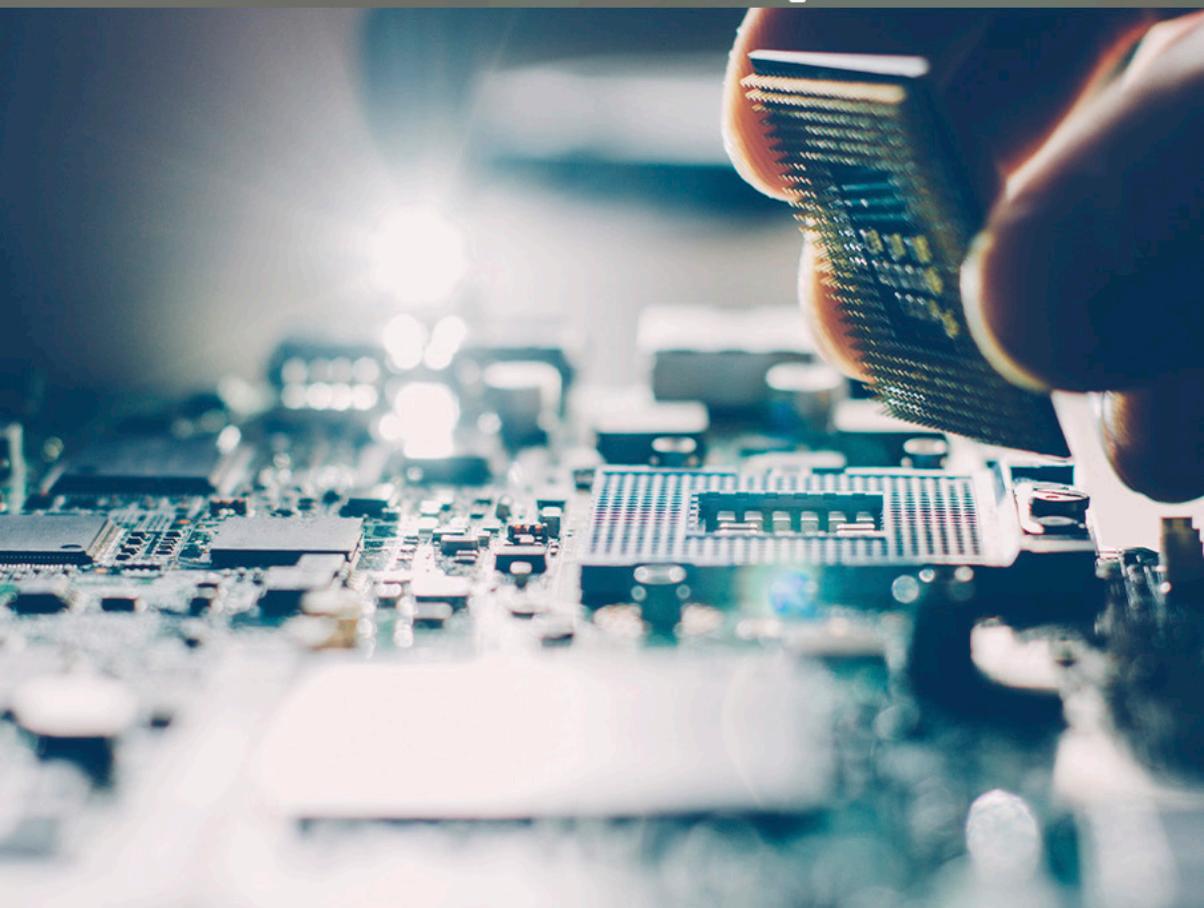


COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

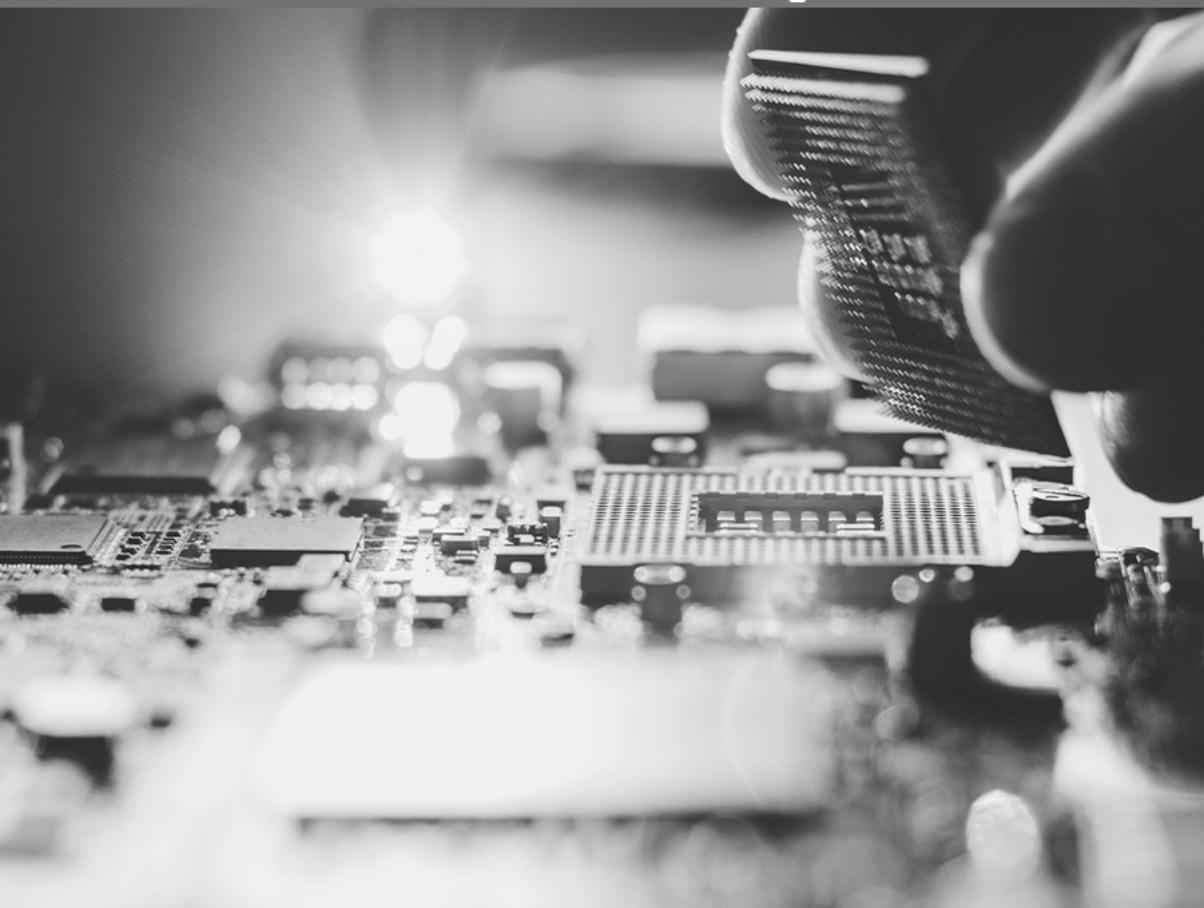


ERNANE ROSA MARTINS
(ORGANIZADOR)


Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO



ERNANE ROSA MARTINS
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes editoriais

Natalia Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da capa

iStock

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.

Open access publication by Atena Editora



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

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

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. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª 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. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Rio de Janeiro
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
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
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
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 Federacão 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 da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
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
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

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

Coleção desafios das engenharias: engenharia de computação

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Maiara Ferreira
Indexação: Gabriel Motomu Teshima
Revisão: Os autores
Organizador: Ernane Rosa Martins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia de computação / Organizador Ernane Rosa Martins. - Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-387-0

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.870211808>

1. Engenharia da computação. I. Martins, Ernane Rosa (Organizador). II. Título.

CDD 621.39

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; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access, desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

APRESENTAÇÃO

A Engenharia de Computação tem como definição ser o ramo da engenharia que se caracteriza pelo projeto, desenvolvimento e implementação de sistemas, equipamentos e dispositivos computacionais, segundo uma visão integrada de hardware e software, apoiando-se em uma sólida base matemática e conhecimentos de fenômenos físicos. O objetivo é a aplicação das tecnologias de computação na solução de problemas de Engenharia.

Deste modo, este livro, aborda diversos aspectos tecnológicos computacionais, tais como: o desenvolvimento de um jogo de RPG acessível em LIBRAS; uma reflexão quanto à necessidade de aplicação de supressores de surto como proteção de transformadores devido a eventos transitórios em manobras de disjuntores; um algoritmo para geração de contorno 2D envolvendo regiões irregulares; avaliação da influência das tensões residuais e imperfeições geométricas iniciais em colunas de aço submetidas à flexão em torno do eixo de menor inércia; os esforços em estruturas laminares, de características de geometria e carregamentos diversos através da implementação computacional de um elemento finito sólido hexaédrico de 8 nós programado com uma linguagem computacional de alto nível; uma análise computacional realizada através do programa SAP2000; a estabilidade e as vibrações de anéis e tubulações apoiados em uma fundação elástica de Pasternak; um controlador neural para dois elos de um robô manipulador de três graus de liberdade (3 GDL); uma ferramenta de autoria para livros relacionados a área da educação; um aplicativo com propósito de aumentar a taxa de reciclagem e minimizar os danos ambientais devido ao descarte incorreto de resíduos na natureza; a conscientização de crianças e adolescentes sobre as ocorrências de bullying; uma aplicação web interativa, de fácil utilização e interface amigável, por meio do pacote Shiny, destinada aos tópicos de intervalo de confiança e dimensionamento de amostra para o parâmetro proporção; segmentar e detectar, por meio de redes neurais convolutivas, as pás dos raspadores de escória em painéis de ferro gusa do Reator Kambara de uma siderúrgica; integrar a Biblioteca Digital de Artigos (IFPublica) e a Plataforma de Digital de Inscrição e Administração de Projetos (PDIAP), por meio de adaptações nos dois projetos, para impedir erros humanos e automatizar o processo de cadastro de artigos do PDIAP na base de dados do IFPublica.

Assim, espero que a presente obra venha a se tornar um guia aos estudantes e profissionais da área de Engenharia de Computação, auxiliando-os em diversos assuntos relevantes da área, fornecendo a estes novos conhecimentos para poderem atender as necessidades informacionais, computacionais e de automação das organizações de uma forma geral. Por fim, agradeço aos autores por suas contribuições na construção desta importante obra e desejo muito sucesso a todos os nossos leitores.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

A ELASTO-PLASTIC CONSTITUTIVE MODEL BASED ON CHABOCHE KINEMATIC HARDENING OF ALUMINUM ALLOY 7050-T7451

Renzo Fernandes Bastos

Daniel Masarin

Ernesto Massaroppi Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118081>

CAPÍTULO 2..... 11

ACANNO: UM JOGO DE RPG COM UMA PROPOSTA DE ACESSIBILIDADE USANDO LIBRAS

Gabriel Barroso da Silva Lima

Marcos Roberto dos Santos

Almir de Oliveira Costa Junior

Jucimar Maia da Silva Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118082>

CAPÍTULO 3..... 23

A IMPORTÂNCIA ATUAL DE ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS PARA DEFINIÇÃO DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO DE TRANSFORMADORES CONTRA SOBRETENSÕES E AS APLICAÇÕES RECENTES COM A INSTALAÇÃO DE SUPRESSORES DE SURTO

Nelson Clodoaldo de Jesus

João Roberto Cogo

Luiz Marlus Duarte

Luis Fernando Ribeiro Ferreira

Éverson Júnior de Mendonça

Leandro Martins Fernandes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118083>

CAPÍTULO 4..... 38

ALGORITMO PARA GERAÇÃO DE CONTORNO DE MALHAS RETANGULARES PARA CÁLCULO DE DIFERENÇAS FINITAS

Pedro Zaffalon da Silva

Neyva Maria Lopes Romeiro

Rafael Furlanetto Casamaximo

Iury Pereira de Souza

Paulo Laerte Natti

Eliandro Rodrigues Cirilo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118084>

CAPÍTULO 5..... 53

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DE PILARES DE AÇO SOB A INFLUÊNCIA DE TENSÕES RESIDUAIS E IMPERFEIÇÕES GEOMÉTRICAS INICIAIS

Jefferson Alves Ferreira

Giovani Vitório Costa
Harley Francisco Viana
Renata Gomes Lanna da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118085>

CAPÍTULO 6..... 70

ANÁLISE DE ESTRUTURAS LAMINARES UTILIZANDO UM ELEMENTO SÓLIDO DE BAIXA ORDEM ENRIQUECIDO COM MODOS INCOMPATÍVEIS

Erijohnson da Silva Ferreira
William Taylor Matias Silva
Sebastião Simão da Silva
Adenilda Timóteo Salviano
José Lucas Pessoa de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118086>

CAPÍTULO 7..... 84

ANÁLISE ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO SEDE DA PROCURADORIA GERAL DA REPÚBLICA: O ESTUDO DE CASO DO BLOCO “A”

Stefano Galimi
Márcio Augusto Roma Buzar
Marco Aurélio Bessa
Leonardo da Silveira Pirillo Inojosa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118087>

CAPÍTULO 8..... 103

ANÁLISE ESTRUTURAL DO EDIFÍCIO SEDE DA PROCURADORIA GERAL DA REPÚBLICA: O ESTUDO DE CASO DO BLOCO “B”

Stefano Galimi
Márcio Augusto Roma Buzar
Marco Aurélio Bessa
Marcos Henrique Ritter de Gregorio

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118088>

CAPÍTULO 9..... 119

APPLICATION OF A MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION PARETO APPROACH TO DESIGN THE SDRE CONTROLLER FOR A RIGID-FLEXIBLE SATELLITE

Luiz Carlos Gadelha de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8702118089>

CAPÍTULO 10..... 131

APPLICATION OF DEEP LEARNING FOR ANALYSIS OF CRACKS IN PELLET FALLING TESTS

Marconi Junio Henriques Magnani
Jorge José Fernandes Filho
Thyago Rosa Souza
Marco Antonio de Souza Leite Cuadros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180810>

CAPÍTULO 11	143
FLAMBAGEM E VIBRAÇÃO DE ANÉIS E TUBULAÇÕES ESBELTAS EM UMA FUNDAÇÃO ELÁSTICA	
Mariana Barros dos Santos Dias Paulo Batista Gonçalves	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180811	
CAPÍTULO 12	155
CALIDAD ÁGIL: PATRONES DE DISEÑO EN UN CONTEXTO DE DESARROLLO DIRIGIDO POR PRUEBAS	
Anna Grimán Padua Manuel Capel Tuñón Eladio Garví	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180812	
CAPÍTULO 13	168
CONTROLE NEURAL DE DOIS ELOS DE UM ROBÔ DE TRÊS GRAUS DE LIBERDADE	
José Antonio Riul Paulo Henrique de Miranda Montenegro	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180813	
CAPÍTULO 14	181
SUBOPTIMAL CONTROL ON NONLINEAR SATELLITE SIMULATIONS USING SDRE AND H-INFINITY	
Alessandro Gerlinger Romero Luiz Carlos Gadelha de Souza	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180814	
CAPÍTULO 15	193
CREATE REALITY IN BOOKS (CRINB) - PROPOSTA DE FERRAMENTA DE AUTORIA DE LIVROS COM REALIZADADE AUMENTADA	
Lucas Velho Gomes Felipe Zunino Gabriel Abreu Freire Sidney Ferreira Coutinho Rogério Grijo Biazotto Eduardo Henrique Gomes Nelson Nascimento Júnior	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180815	
CAPÍTULO 16	198
DESENVOLVIMENTO DE ATIVIDADES DE ORIENTAÇÃO E CAPACITAÇÃO EM SISTEMAS DE COMPUTAÇÃO - RECYCLING IS BETTER	
Líbero Passador Neto Dimitre Moreira Ort	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180816	

CAPÍTULO 17	206
DESENVOLVIMENTO DE UM JOGO DIGITAL (2D) PARA CONSCIENTIZAÇÃO DE CRIANÇAS CONTRA O BULLYING	
Rafael Guedes da Silva Anderson Fabian Melo Nakanome	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180817	
CAPÍTULO 18	215
DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO WEB PARA PROPORÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE AMOSTRA POR MEIO DO PACOTE SHINY	
Pablo Fellipe de Souza Almeida Cristina Henriques Nogueira	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180818	
CAPÍTULO 19	226
DESIGN PATTERNS FOR SOFTWARE EVOLUTION REQUIREMENTS	
Anna Grimán Padua Manuel Capel Tuñón Eladio Garví	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180819	
CAPÍTULO 20	240
DETECTION AND SEGMENTATION OF PIG IRON SLAG SCRAPERS USING MASK RCNN FOR WEAR CONTROL	
Carlos Eduardo Oliveira Milanez Marco Antonio de Souza Leite Cuadros Gustavo Maia de Almeida	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180820	
CAPÍTULO 21	252
DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS SOBRE ESTACAS METÁLICAS	
Fernanda Calado Mendonça Bernardo Horowitz	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180821	
CAPÍTULO 22	268
ESTIMATION OF STELLAR PARAMETERS FOR J-PLUS SURVEY WITH MACHINE LEARNING	
Carlos Andres Galarza Arevalo Simone Daflon Vinicius Moris Placco Carlos Allende-Prieto	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180822	
CAPÍTULO 23	279
ESTUDO ANALÍTICO E NUMÉRICO VIA MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS DA	

RIGIDEZ DOS PILARES DE PONTES EM CONCRETO ARMADO

Sávio Torres Melo
Rebeka Manuela Lobo Sousa
Pablo Juan Lopes e Silva Santos
Francisca Itaynara de Souza Araújo
Thiago Rodrigues Piauilino Ribeiro
Amanda Evelyn Barbosa de Aquino
Diogo Raniere Ramos e Silva
Tiago Monteiro de Carvalho
Carlos Henrique Leal Viana
João Paulo dos Santos Silva
Madson Nogueira da Silva
Ilanna Castelo Branco Mesquita

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180823>

CAPÍTULO 24..... 290

ESTUDO ANALÍTICO E NUMÉRICO VIA MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS DOS EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM EM PILARES DE PONTES EM CONCRETO ARMADO

Sávio Torres Melo
Rebeka Manuela Lobo Sousa
Pablo Juan Lopes e Silva Santos
Francisca Itaynara de Souza Araújo
Thiago Rodrigues Piauilino Ribeiro
Amanda Evelyn Barbosa de Aquino
Diogo Raniere Ramos e Silva
Tiago Monteiro de Carvalho
Carlos Henrique Leal Viana
João Paulo dos Santos Silva
Madson Nogueira da Silva
Ilanna Castelo Branco Mesquita

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180824>

CAPÍTULO 25..... 311

ESTUDO DO MOVIMENTO DOS CORPOS MOEDORES NO PROCESSO DE MOAGEM UTILIZANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS

Wladimir José Gomes Florêncio
Neilor Cesar dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180825>

CAPÍTULO 26..... 329

FLUID FLOW SUMMARIZATION USING DYNAMIC MULTI-VECTOR FEATURE SPACES

Renato José Policani Borseti
Leandro Tavares da Silva
Gilson Antonio Giralaldi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180826>

CAPÍTULO 27	351
GESTÃO DE PROCESSOS: ALINHAMENTO ESTRATÉGICO ENTRE TI E NEGÓCIO COM BPMN	
Aryel Evelin Vieira Garcia Rodrigo Elias Francisco	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180827	
CAPÍTULO 28	359
IFINTEGRA - INTEGRADOR DA PLATAFORMA DE REGISTRO DE PROJETOS COM A BIBLIOTECA DIGITAL DE ARTIGOS DE UM CAMPUS DO IFSUL	
Mateus Roberto Algayer Geovane Griesang	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.87021180828	
SOBRE O ORGANIZADOR	366
ÍNDICE REMISSIVO	367

ESTUDO DO MOVIMENTO DOS CORPOS MOEDORES NO PROCESSO DE MOAGEM UTILIZANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS

Data de aceite: 02/08/2021

Data de submissão: 04/05/2021

Wladimir José Gomes Florêncio

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Paulistana
Paulistana – PI
<http://lattes.cnpq.br/1275313548063734>

Neilor Cesar dos Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus João Pessoa.
João Pessoa – PB
<http://lattes.cnpq.br/4049499502347220>

RESUMO: Neste trabalho mostrou-se as simulações do movimento dos corpos moedores juntamente com minério no interior de um moinho de bolas em escala de laboratório, utilizando-se o Método dos Elementos Discretos (MED) com o coeficiente de atrito $\mu=0,51$ e com moinho operando com 57%, 60%, 65%, 70%, 75% e 80% da sua velocidade crítica. O comportamento da dinâmica do processo de moagem foi observado a partir de experimentos realizados no laboratório, onde se obteve uma distribuição granulométrica para as malhas de +30#, +50# e +80#, onde os seus deslocamentos foram analisados para os tempos de 30s, 180s, 300s, 360s, 480s e 600s e comparando-os com os obtidos pela simulação computacional em 2D, realizada no software de simulação DEMpack®. Verificou-se a presença dos regimes cascata e catarata nas simulações, tal fato foi possível

devida à variação da velocidade crítica do moinho mesmo com um grau de enchimento (J) de aproximadamente 50%. Devido à existência dos dois regimes de operação cascata e catarata na moagem, houve uma diferença na distribuição granulométrica em parte das moagens realizadas experimentalmente.

PALAVRAS-CHAVE: Moinho de bolas, Moagem, Método dos Elementos Discretos.

STUDY OF MOORING BODY MOVEMENT IN THE MILLING PROCESS USING THE DISCRETE ELEMENTS METHOD

ABSTRACT: In this work, movement simulations of grinding bodies together with ore were shown, inside a ball mill, on a laboratory scale, using the Discrete Elements Method (MED), with the friction coefficient $\mu = 0,51$ and with mill operating at 57%, 60%, 65%, 70%, 75% and 80% of its critical speed. The dynamics behavior of milling process was observed from experiments carried out in laboratory, where a granulometric distribution was obtained for the meshes of + 30 #, + 50 # and + 80 #, where their displacements were analyzed for the times of 30s, 180s, 300s, 360s, 480s and 600s and comparing them with those obtained by 2D computer simulation, performed in the DEMpack® simulation software. The presence of cascade and cataract regimes was verified in simulations, this fact was possible due to the critical speed variation of mill even with a degree of filling (J) of approximately 50%. Due to the existence of two regimes cascade and cataract operation in the milling, there was a difference in the granulometric distribution in part of the millings carried out experimentally.

KEYWORDS: Ball mill, Grinding, Discrete Element Method.

1 | INTRODUÇÃO

Na indústria de mineração, para a obtenção de uma granulometria desejada, considerada ideal para uma determinada substância mineral, muitas vezes se faz necessário uma sequência de processos físicos, como: britagem, moagem, classificação e concentração e algumas vezes processos químicos como a flotação. Dada a complexidade destas operações, envolvendo materiais particulados, muitas vezes se faz necessário que em algumas destas etapas, possam ser realizadas simulações para auxiliar no estudo da eficiência do processo.

Atualmente, os pesquisadores têm buscado estudar modelos para simulação e controle dos circuitos de moagem, com o objetivo de retratar a dinâmica destes processos e otimiza-los. Para tanto, baseiam-se no modelo de balanço populacional das partículas, onde o processo de moagem é visto como resultado de subprocessos independentes e simultâneos, que produzem a distribuição de tamanhos dentro do moinho e o produto da moagem propriamente dito (Carvalho, 2009). Mais recentemente estudos a partir do Método dos Elementos Discretos (MED) envolvem a simulação do movimento da carga do moinho Shirsath *et al* (2015) e Mishra (2003a e 2003b).

O conceito original do Método dos Elementos Discretos (MED) foi estabelecido por Cundall e Strack (1979, v.29, p.49 - 75) apud Mishra (2003, p.74) que aplicaram ao estudo de sólidos particulados sob condições de carregamento dinâmico. Em operações onde se utilizam moinhos cadentes¹, para realização da moagem, desde os primeiros trabalhos realizados por Mishra e Rajamani (1992) e Mishra e Rajamani (1994 a e 1994 b) o Método dos Elementos Discretos (MED) vem sendo utilizado.

O MED refere-se a um método numérico que permite a determinação de rotações e deslocamentos finitos de corpos discretos que interagem entre si ou entre os limites do domínio local por meio de leis de contato, onde a perda do contato e a formação de novos contatos entre os corpos são calculados num ciclo progressivo. A lei de contato muitas vezes permite a penetração virtual entre as partículas. A quantidade e a taxa de penetração levam a determinação da força de contato incremental. Cada ciclo de cálculo leva o sistema do tempo (t), para o tempo ($t + \Delta t$) envolvendo a aplicação de leis de interação incrementais força-deslocamento em cada contato, resultando em novas forças e novos momentos entre partículas que são resolvidos para se obter o equilíbrio dessas novas forças e novos momentos para cada partícula.

A integração numérica da segunda lei do movimento de Newton produz as velocidades lineares e rotação de cada partícula. Uma segunda integração produz os

¹ Os moinhos cadentes constituem-se de cilindros rotativos, onde a fragmentação do material é realizada pela ação de corpos moedores (geralmente barras ou bolas), submetidos a movimentos giratórios, (Chaves et al, 2003).

deslocamentos das partículas elementares, e usando as novas posições das partículas e das velocidades, tanto na translação quanto na rotação, o ciclo de cálculo é repetido no passo seguinte do tempo, esse passo de tempo (Δt) utilizado é uma fracção do intervalo de tempo crítico. Revisões do estado da arte da simulação do comportamento de moinhos de bolas foram feitas por Mishra (2003a e 2003b).

A simulação pelo MED constitui-se numa ferramenta importantíssima tendo em vista a possibilidade do estudo da dinâmica do comportamento da carga em moinhos de bolas, isto é possível, como já foi dito, com base nas equações do movimento e da teoria de contato entre partículas.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Moinho de bolas

Os moinhos de bolas se enquadram no grupo dos moinhos cilíndricos de carga cadente. Isso significa que a moagem é desenvolvida em um vaso cilíndrico rotativo, revestido internamente com placas de aço ou borracha, contendo uma carga de corpos moedores, livre para se movimentar em seu interior.

Os moinhos de bolas são essencialmente unidades de moagem fina, capazes de fornecer produtos desde 80% passante na malha de 35 mesh até extremamente finos, passantes em malhas de poucos microns (Metso, 2010).

A moagem é a área da fragmentação que requer maiores investimentos, ocorre maior gasto de energia e é considerada uma operação importante para o bom desempenho de uma instalação de tratamento de minérios. A submoagem do minério resulta num produto de granulometria grossa, com liberação parcial do mineral útil, inviabilizando o processo de concentração. Neste caso, a recuperação parcial do mineral útil e a baixa razão de enriquecimento respondem pela inviabilidade do processo. A sobremoagem, também, não é desejada, pois esta reduz o tamanho das partículas, desnecessariamente, o que acarretará maior consumo de energia e perdas no processo de concentração. Luz *et al.* (2010).

2.2 Método dos Elementos Discretos – MED

O Método dos Elementos Discretos (MED) do inglês Discrete Element Method (DEM) refere-se a um método numérico cuja abordagem recai sobre os métodos discretos, os quais podem representar o meio, como um conjunto de partículas independentes, interagindo com o seu vizinho mais próximo por meio de leis de contatos locais, onde a perda de contatos e formação de novos contatos entre as partículas ocorrem progressivamente.

No MED é possível compreender basicamente dois estágios, o cálculo das forças de contato e posteriormente o cálculo do movimento das partículas por meio da segunda Lei de Newton. No primeiro, as forças de interação entre partículas são calculadas permitindo-se

uma interpenetração entre os elementos, tornando esta formulação para cálculo da relação força-deslocamento conhecida como método dos contatos suaves, Donzé et al, (2008). Como apontado por Cundall e Hart (1992), apesar desta abordagem parecer um pouco forçada, ela de fato representa o que ocorre na superfície do plano de deformação entre duas partículas. No segundo estágio, a segunda Lei de Newton é utilizada para determinar as acelerações e as velocidades de cada partícula, e a partir daí, a nova posição destas partículas. Este processo é repetido até que seja atingido o equilíbrio do sistema, e é também conhecido como Dinâmica Molecular (Neves, 2009).

No MED os modelos são baseados em diferentes tipos de leis constitutivas para os contatos. O modelo mais simples é assumir leis de contatos lineares para a força normal e cisalhante, além de rigidez e ângulo de atrito constantes no deslizamento. Existem outros modelos força-deslocamento para a componente normal, como leis elásticas não lineares, e rigidez normal e cisalhante dependente da força. Ainda existem modelos que consideram a resistência ao rolamento das partículas (Neves, 2009).

Como dito anteriormente, o MED foi introduzido, Cundall e Strack (1979), ele foi adaptado inicialmente por Mishra e Rajamani (1992) e Mishra e Rajamani (1994 a e 1994 b) e, posteriormente, por muitos outros, para acompanhar o movimento da carga em moinho de grandes diâmetros. Quase todos os pesquisadores que utilizaram o MED para resolver problemas de engenharia mineral têm analisado o movimento da carga em moinhos tubulares. Atualmente, existem várias pesquisas direcionadas para a compreensão da dinâmica de carga em moinhos tubulares, Shirsath *et al* (2015), Cleary (2001), Inoue e Okaya (1996), Misra e Rajamani et al, (1999, 2000b) e Van Nierop et al, (2001).

2.3 Leis do Movimento

Neste trabalho, as forças e torques, devido à gravidade, a colisão e o atrito de rolamento são considerados e a equações do movimento de Newton para uma partícula (i) em contato com a partícula (j), assume a seguinte forma:

$$m_i \frac{d\mathbf{v}_i}{dt} = \sum (\mathbf{F}_{ij}^n + \mathbf{F}_{ij}^t + m_i \mathbf{g}) \quad (1)$$

$$I_i \frac{d\boldsymbol{\omega}_i}{dt} = \sum (\mathbf{R}_i \times \mathbf{F}_{ij}^t) - \boldsymbol{\tau}_{ij}^r \quad (2)$$

Onde m_i , I_i , \mathbf{v}_i , e $\boldsymbol{\omega}_i$ são respectivamente a massa, momento de inercia e velocidade translacional e rotacional da partícula (i). \mathbf{F}_{ij}^n e \mathbf{F}_{ij}^t são as forças normais e tangenciais devido ao contato entre a partícula (i) e (j) no passo de tempo atual, conforme relatado na Fig. 1. \mathbf{R}_i é o vetor entre o centro da partícula (i) e o ponto de contato onde a força \mathbf{F}_{ij}^t é aplicada.

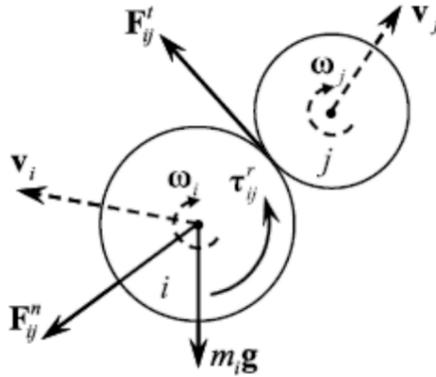


Figura 1. Contato entre a partícula i e a partícula k , adaptado de Marigo (2010).

O termo $\tau_{ij}^r = -\mu_r \mathbf{R}_i \left| \mathbf{F}_{ij}^n \right| \hat{\omega}_i$, na Equação 2 é adicionado devido ao torque causado pelo atrito de rolamento. O parâmetro μ_r é definido como o coeficiente de atrito de rolamento e $\hat{\omega}_i$ é o vetor unitário da velocidade angular da partícula (i).

Após o cálculo da força de contato e a sua contribuição para cada partícula, o movimento das partículas pode ser determinado. O movimento translacional pode ser escrito em termos de posição, velocidade e aceleração, e o movimento rotacional em termos de sua velocidade angular e aceleração angular.

As equações do movimento dadas nas Equações (1) e (2) são integradas usando diferenças finitas centrais que envolvem um valor (Δt) para o passo de tempo. Os valores das velocidades translacionais e velocidades angulares são calculadas para intervalos de tempo ($t \pm n \frac{\Delta t}{2}$). No entanto, os valores dos deslocamentos, acelerações translacionais e angulares, força e torque, são calculados em intervalos primários ($t \pm n \Delta t$).

As acelerações são calculadas como:

$$\frac{d\mathbf{v}_i}{dt} = \frac{1}{\Delta t} \left[\mathbf{v}_i^{(t+\frac{\Delta t}{2})} - \mathbf{v}_i^{(t-\frac{\Delta t}{2})} \right] \quad (3)$$

$$\frac{d\boldsymbol{\omega}_i}{dt} = \frac{1}{\Delta t} \left[\boldsymbol{\omega}_i^{(t+\frac{\Delta t}{2})} - \boldsymbol{\omega}_i^{(t-\frac{\Delta t}{2})} \right] \quad (4)$$

As Equações (3) e (4) podem ser substituídas em 1 e 2 determinando as velocidades para o tempo ($t \pm n \frac{\Delta t}{2}$). Tem-se como resultado:

$$\mathbf{v}_i^{(t+\Delta t/2)} = \mathbf{v}_i^{(t-\Delta t/2)} + \left(\sum \frac{1}{m_i} (\mathbf{F}_{ij}^n + \mathbf{F}_{ij}^t) + \mathbf{g} \right) \Delta t \quad (5)$$

$$\boldsymbol{\omega}_i^{(t+\Delta t/2)} = \boldsymbol{\omega}_i^{(t-\Delta t/2)} + \left(\mathbf{R}_i \times \mathbf{F}_{ij}^t - \boldsymbol{\tau}_{ij}^r \right) \Delta t \quad (6)$$

As velocidades mostradas nas equações acima são usadas para atualizar a posição do centro da partícula. A posição da partícula pode-se determinar como segue:

$$\mathbf{r}_i^{(t+\Delta t)} = \mathbf{r}_i^{(t)} + \mathbf{v}_i^{(t-\Delta t/2)} \Delta t \quad (7)$$

O passo de tempo para a integração numérica deve ser definido menor do que um determinado valor crítico para que o cálculo seja estável. Com base na frequência natural de um sistema massa-mola característico de oscilação, o período de oscilação pode ser calculado como:

$$\Delta t = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}} \quad (8)$$

Onde, m é a massa da partícula e K é a rigidez do sistema massa-mola. Em sistemas reais, o passo de tempo é calculado utilizando a menor massa e a maior rigidez.

Uma vez definida a Equação para o instante em que as partículas entram em contato, alguns modelos podem ser apresentados como forma de encontrar a força que surge no momento da colisão.

2.4 Modelos de Contato

O modelo de contato inicialmente usado por Cundall e Strack é baseado no modelo de Kelvin-Voigt representado na Fig. 2. Uma mola, um amortecedor e um deslizador representam o modelo de contato na direção normal e tangencial. Este modelo assume a definição dos seguintes parâmetros nas direções normais e tangenciais: Rigidez – k ; Coeficiente de amortecimento – η e Coeficiente de atrito – μ .

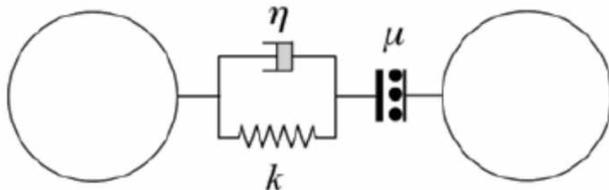


Figura 2. Modelo de contato Kelvin – Voigt, adaptado de Marigo (2010).

Cundall e Strack definem na Equação 9 o modelo de contato na direção normal e na Equação (10) para força de contato na direção tangencial.

$$\mathbf{F}_{ij}^n = (-k_n \delta_{ij}^n - \eta_n \mathbf{v}_{ij}^n) \quad (9)$$

$$\mathbf{F}_{ij}^t = (-k_t \delta_{ij}^t - \eta_t \mathbf{v}_{ij}^s) \quad (10)$$

Os parâmetros de rigidez nas direções normais e tangenciais (k_n e k_t), parâmetros de amortecimento (η_n e η_t), e o coeficiente de atrito μ devem ser definidos no modelo de simulação. δ_{ij}^n e δ_{ij}^t são os deslocamento normal e tangencial devido as forças normais e tangenciais, \mathbf{v}_{ij}^s representa a velocidade de deslizamento no pontos de contato definida conforme a Eq.(11):

$$\mathbf{v}_{ij}^s = \mathbf{v}_{ij} - (\mathbf{v}_{ij} \cdot \mathbf{n}_{ij})\mathbf{n} + (R_i \omega_i + R_j \omega_j) \times \mathbf{n}_{ij} \quad (11)$$

Mishra (2003) estudou um modelo não-linear cuja adaptação é relativa ao modelo de contato de Cundall e Strack, Fig.3.

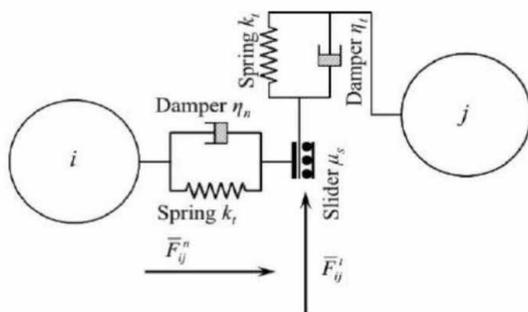


Figura 3. Modelo de contato de Hertz Mindlin, adaptado de Mishra (2003).

Neste modelo, o primeiro termo da Equação (9) é substituído por um termo não linear que considera a Teoria Hertz para contato normal. Para o contato tangencial Mishra propôs uma adaptação da Eq. (9) para incluir um termo de dissipação viscosa na Eq. (11). Por conseguinte o modelo de contato modificado resulta na seguinte forma:

$$\mathbf{F}_{ij}^n = \left(-k_n \delta_{ij}^{n3/2} - \eta_n (\mathbf{v}_{ij} \cdot \mathbf{n}_{ij}) \mathbf{n}_{ij} \right) \quad (12)$$

$$\mathbf{F}_{ij}^t = (-k_t \delta_{ij}^t - \eta_t \mathbf{v}_{ij}^t) \quad (13)$$

Onde \mathbf{v}_{ij}^s velocidade de deslizamento foi substituída por \mathbf{v}_{ij}^t velocidade tangencial relativa. Forças tangenciais suficientemente alta fará com que as partículas escorreguem uma em relação a outra ou outras superfícies com as quais elas estão em contato. Considere menos coesivas as partículas sujeitas a uma força normal constante: a medida

do escorregamento devida a tangencial é determinada por:

$$|\mathbf{F}_{ij}^t| < \mu |\mathbf{F}_{ij}^n| \quad (14)$$

Estas equações representam um corte para a magnitude da máxima força tangencial para um dado coeficiente de atrito estático μ e é conhecida como Lei de Coulomb do atrito. Se a Eq. (14) é satisfeita o efeito de \mathbf{F}_{ij}^t é provocar um pequeno movimento relativo, denominado “microdeslizamento” e a Eq. (13) é utilizada como força tangencial. Se a Eq. (14) não é satisfeita o deslizamento abrange toda a área de contato e isso pode ser referido como “grosso deslizamento”. Neste caso, a força tangencial é dada pela primeira lei de atrito da seguinte forma, onde $\hat{\mathbf{t}}_{ij}$ é o vetor unitário tangencial:

$$\mathbf{F}_{ij}^t = -\mu |\mathbf{F}_{ij}^n| \hat{\mathbf{t}}_{ij} \quad (15)$$

Este modelo é uma extensão do modelo de força de contato linear mola amortecedor de Cundall e Strack. As forças de contato normais e tangenciais não-lineares são representadas pelas Eqs.(16) e (17) e que resultam de uma combinação do modelo não linear de Hertz na direção normal e do modelo de Mindlin linear elástico na direção tangencial com um termo dissipativo na direção tangencial. Para ambas as direções normais e tangenciais um segundo termo de dissipação é aplicado para explicar a energia perdida durante as colisões através de deformação inelástica e atrito.

No modelo de contato de Hertz Mindlin a colisão entre as duas esferas i e j , a força normal \mathbf{F}_{ij}^n atuando em cada esfera é dado por:

$$\mathbf{F}_{ij}^n = -\frac{4}{3} E^* \sqrt{R^*} \delta_{ij}^{n\frac{3}{2}} - 2 \sqrt{\frac{5}{6}} \Psi \sqrt{S_n m^*} \mathbf{v}_{ij}^n \quad (16)$$

Onde E^* é o Módulo de Young das duas partículas que colidem, R^* é o raio equivalente δ_{ij}^n representa o deslocamento de partícula normal devido à força normal, m^* é a massa equivalente, a rigidez do contato normal $S_n = 2E^* \sqrt{R^*} \delta_n$ e \mathbf{v}_{ij}^n a componente normal da velocidade relativa. O coeficiente de amortecimento ψ é uma função do coeficiente de restituição, e , assume um valor entre 0 e 1 (totalmente viscoso para totalmente elástico)

A força tangencial \mathbf{F}_{ij}^t depende do deslocamento tangencial δ_{ij}^t , a velocidade relativa tangencial \mathbf{v}_{ij}^t e a rigidez de contato tangencial $S_t = 8G^* \sqrt{R^*} \delta_n$. A força tangencial pode ser ainda limitada pela condição de deslizamento definida pela lei do atrito de Coulomb.

$$\mathbf{F}_{ij}^t = -S_t \delta_{ij}^t - 2 \sqrt{\frac{5}{6}} \Psi \sqrt{S_n m^*} \mathbf{v}_{ij}^t \quad (17)$$

O coeficiente de amortecimento é uma função do coeficiente de restituição e é definida como:

$$\psi = -\frac{\ln e}{\sqrt{(\ln e)^2 + \pi^2}} \quad (18)$$

onde e é o coeficiente de restituição.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Moinho de Bolas

O moinho utilizado do tipo jarra, inserido num suporte de aço e posto sobre o equipamento para a movimentação, bem como, o minério calcário e os corpos moedores utilizados no experimento, podem ser vistos na Fig. 4:

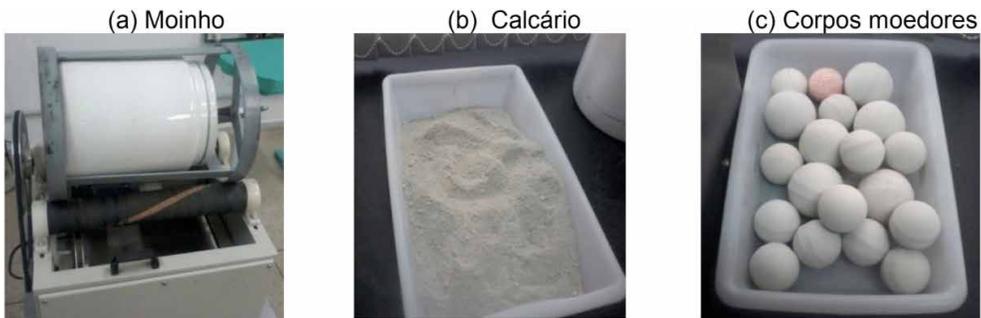


Figura 4. Moinho no suporte, calcário e corpos moedores, autoria própria.

Foram utilizados também um inversor de frequência para controlar a velocidade do motor do moinho, um tacômetro digital para medir a rotação do moinho para que o mesmo operasse com todos os níveis da sua velocidade crítica, Fig. 5.

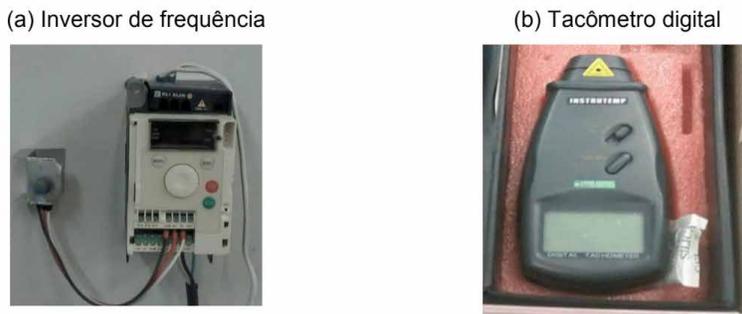


Figura 5. Equipamentos utilizados no experimento, autoria própria.

As massas do minério e dos corpos moedores foram pesadas em uma balança

digital da BEL modelo 5000 com capacidade de até 5 kg. Após a moagem o minério foi passado em um conjunto de peneiras da bronziinox modelo 223975 com aberturas de +30#, +50# e +80#, que estavam acopladas a um vibrador de peneiras da Bertel modelo 110/220 v no qual foi observada a sua distribuição granulométrica, Fig. 6.



Figura 6 - Equipamentos utilizados para medir a distribuição granulométrica, autoria própria.

3.2 Simulação Computacional

O software utilizado para simulação pelo MED foi o DEMpack[®]. O pré-processamento foi realizado no software GID[®] versão 12.0.3 (<http://www.gidhome.com>). Para que fosse possível realizar a simulação do moinho de bolas, foi necessário carregar o programa com as seguintes informações: (geometria do moinho, dados do problema, camadas, tipos de elementos, curva de carregamento, propriedades das malhas, materiais, cinemática, contatos, carregamento, amortecimento e geração de malhas).

Na fase de pré-processamento a geometria do moinho (jarra) foi modelada com as dimensões originais com raios interno e externo, $R_{int}=11,75\text{cm}$ e $R_{ext}=13,50\text{cm}$, respectivamente. Definiu-se também o volume de referência, composto pelos corpos moedores, conforme a Fig. 7.

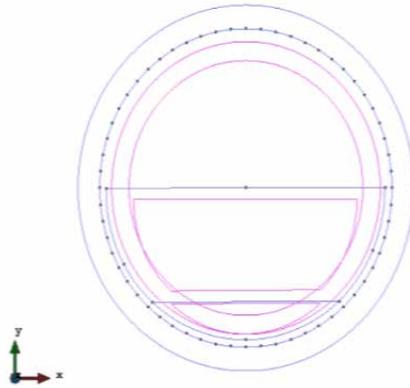


Figura 7 - Geometria do moinho, corpos moedores e minério, autoria própria.

Os modelos de materiais foram definidos individualmente para cada parte do modelo definido no MED e no Método dos Elementos Finitos (MEF). Para o MED utilizou-se **Modelo Não Linear de Hertz-Mindlin**. Já para o modelo do MEF utilizou-se o **Modelo Elástico Plástico**, mesmo sabendo que o moinho (jarra) utilizado neste trabalho não possui essa característica, pois o seu material é composto por cerâmica de alumina. Porém como esse é o único modelo disponível para o material, no software utilizado.

Na Figura 8, observa-se as malhas geradas pelo software para análise do comportamento dos corpos moedores no interior da jarra do moinho. Para simular o movimento da jarra do moinho a mesma foi discretizada pelo Método dos Elementos Finitos, sendo gerado uma malha de elementos triangulares lineares com três graus de liberdade. Os corpos moedores foram discretizados pelo Método dos Elementos Discretos para a simulação do movimento dos corpos moedores e utilizado o modelo de contato de Hertz-Mindlin para simular o comportamento de interação entre os corpos moedores e entre as paredes da jarra do moinho (malha de elementos finitos) e os corpos moedores.

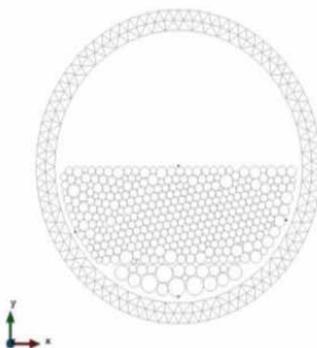


Figura 8 - Malha gerada, autoria própria.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Moagem

A moagem ocorreu com o moinho no suporte, uma vez que foi necessário fechar sua tampa e a mesma só lacrava com o sistema de aprisionamento dado pelo suporte. Para estudar-se a eficiência do sistema de moagem, foi estabelecido como parâmetro de comparação a passagem do material na malha +30#. A Tabela 1 mostra a distribuição granulométrica do calcário moído, após o peneiramento.

DADOS DA AMOSTRA			MASSA INDIVIDUAL(g)				(%) RETIDO SIMPLES			
AMOSTRA	% N _c	MASSA (g)	+30#	+50#	+80#	+80#	+30#	+50#	+80#	+80#
1	57	3357	1296	846	970	239	38,61	25,20	28,89	7,12
2	60	3356	1928	763	488	171	57,45	22,74	14,54	5,10
3	65	3357	1496	820	824	211	44,56	24,43	24,55	6,29
4	70	3357	2027	794	384	149	60,38	23,65	11,44	4,44
5	75	3356	1803	810	557	183	53,72	24,14	16,60	5,45
6	80	3354	1097	860	1167	228	32,71	25,64	34,79	6,80
Peneiramento sem moagem		3360	1865	409	758	325	55,51	12,17	22,56	9,67

Tabela 1 - Distribuição granulométrica do calcário após a moagem.

Fonte - Autoria Própria.

Observa-se que a moagem apresentou uma distribuição granulométrica satisfatória, dentro da malha de interesse que foi a de (+30#), isso é demonstrado pela menor quantidade de massa retida nessa malha, e conseqüentemente menor percentual de minério retido na peneira.

4.2 Simulação do Movimento dos corpos moedores no moinho

Aqui o algoritmo de simulação deve ser capaz de determinar posição, deslocamento (trajetória), velocidades e forças que se estabelece entre os corpos. Porém os corpos poderão interagir entre si e entre corpos e barreiras físicas, como as paredes do moinho. Dessa forma, é preciso saber quando ocorrem as colisões ou contatos entre os corpos na simulação. A simulação dos corpos moedores juntamente com o minério tem o objetivo de estudar o movimento dos corpos no processo de moagem.

Para a simulação dos corpos moedores com o minério estipulou-se um tempo total de 600s, equivalente ao tempo da moagem realizada no laboratório que foi de 10 (dez) minutos. Desta forma, estudou-se a dinâmica dos corpos moedores, sua velocidade e deslocamento. Foram estudados o comportamento das forças envolvidas no processo, as forças normais e tangenciais. Todos esses parâmetros foram estudados a partir da variação percentual da velocidade crítica que já foram anteriormente apresentadas neste trabalho.

Na Figura 10 mostra-se os corpos moedores no tempo $t=0s$.

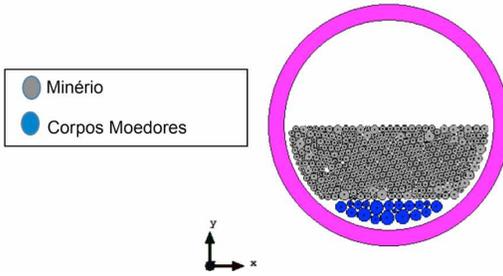
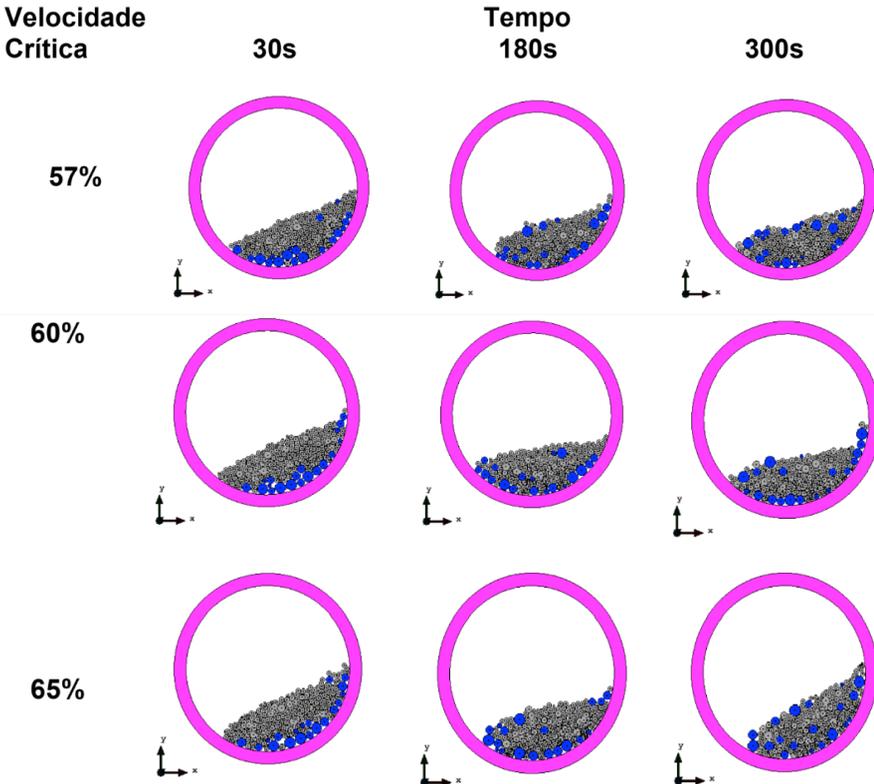


Figura 10 - Simulação da posição dos corpos moedores e minério para $t=0s$, autoria própria.

São apresentadas aqui as visualizações em duas dimensões (2D) do deslocamento dos corpos moedores em função do percentual da sua velocidade crítica (N_c), para os tempos de: 30s, 180s, 300, 360s, 480s e 600s, tempos estes que são mostrados em duas partes conforme as Figs. 11 e 12.



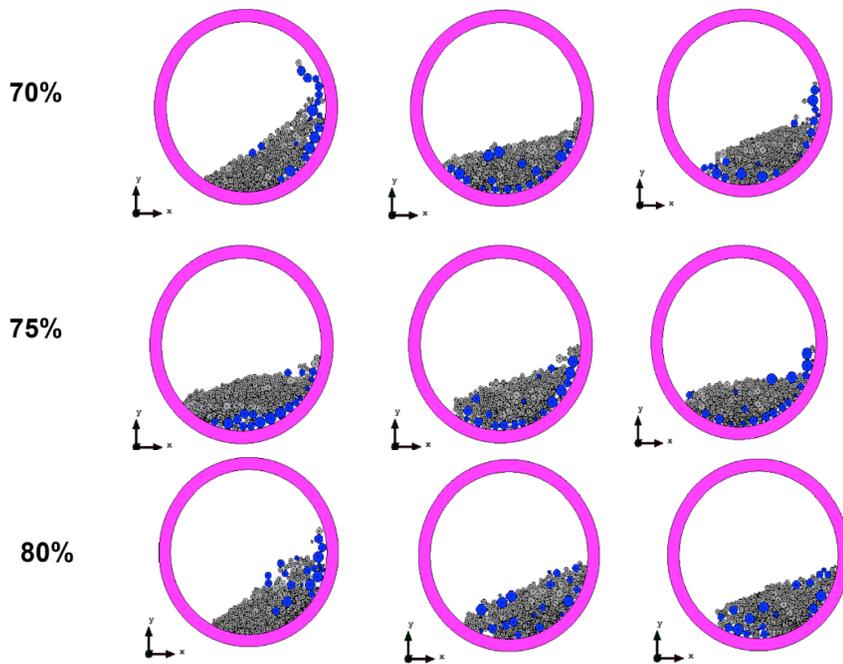


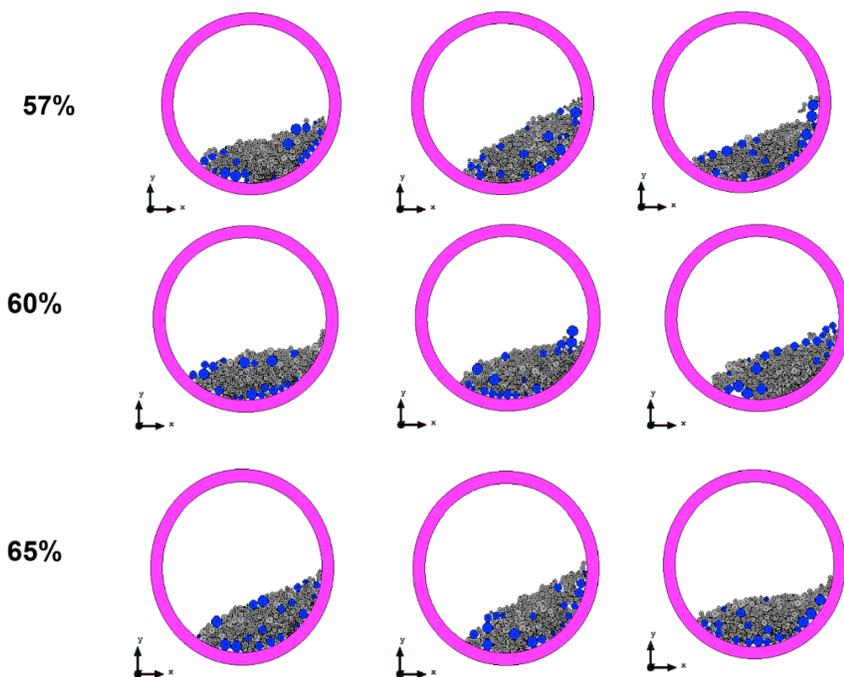
Figura 11 – Posição dos corpos moedores e minério, $\mu=0,51$, autoria própria.

**Velocidade
Crítica**

360s

**Tempo
480s**

600s



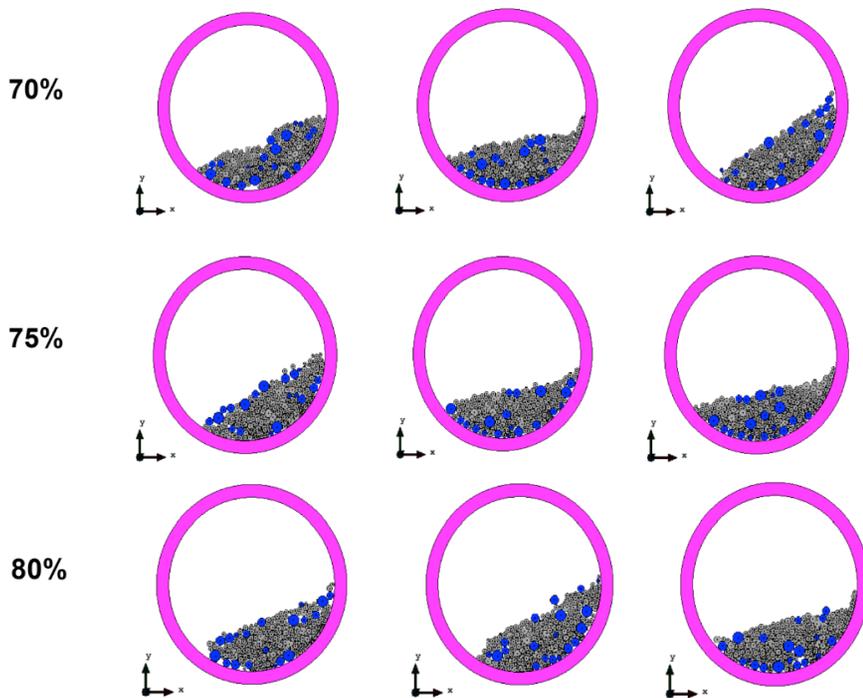


Figura 12 – Posição dos corpos moedores e minério, $\mu=0,51$, autoria própria.

Na moagem em catarata a velocidade do moinho carrega os corpos moedores até uma posição elevada e essas caem sobre os outros corpos moedores e sobre a polpa causando fragmentação por impacto. Deve-se usar corpos moedores maiores para aumentar ainda mais a energia do meio moedor, e baixo fator de enchimento (menos bolas). Este regime é adequado para a fragmentação de material mais grosso e para evitar a produção de finos (Luz *et al*, 2010).

Na moagem em cascata, a baixa velocidade do moinho e o alto fator de enchimento fazem com que os corpos moedores, ao alcançarem uma certa altura, rolem sobre as outras, não havendo quase impacto e a moagem se dá por abrasão e atrito. Deve-se usar corpos moedores de diâmetros menores. Este regime é adequado para a obtenção de um produto final com granulometria fina (Luz et al, 2010).

Observou-se que a moagem realizada apresentou esses dois tipos de movimento em sua operação para o coeficiente de atrito de Coulomb de $\mu=0,51$; este foi utilizado tendo-se em vista que durante a calibração realizada anteriormente (para dezoito corpos moedores) este valor se aproximou mais do movimento apresentado pelos experimentos, quando se utiliza um alto fator de enchimento.

O regime catarata pode ser verificado na moagem por simulação, considerando que foi estudada variação da sua velocidade, tendo a velocidade crítica como referência. É

possível destacar também, a presença de poucos corpos moedores de diâmetros maiores. Tomando-se como referência a velocidade crítica, pode ser considerada alta velocidade os valores a partir de 70% e isso é demonstrado na Fig. 76, para os percentuais de velocidades críticas de 70%, 75% e 80%, onde os corpos moedores, em alguns momentos, alcançam uma determinada altura acima do minério e desta forma supõe-se que é realizado a fragmentação (moagem ou cominuição) por impacto.

Já o regime cascata pode ser verificado na moagem devido a existência de mais fatores do que os mostrados no regime catarata como: baixas velocidades de rotação aqui representadas pelos percentuais de 57%, 60% e 65% da velocidade crítica. O alto grau de enchimento (J), que foi de 50% do volume do moinho e uma considerável quantidade de corpos moedores de pequenos diâmetros. Observa-se nas Fig. 76 e 77, que para todos os tempos e até mesmo para quase todas as velocidades críticas, devido ao alto grau de enchimento e principalmente a ausência dos levantadores (aletas) que o movimento de moagem ocorreu por abrasividade, onde os corpos moedores apenas deslizavam sobre o minério.

Devido à existência dos dois regimes de operação: cascata e catarata na moagem, isso explicaria a diferença da distribuição granulométrica em parte das moagens realizadas experimentalmente. O ideal seria ter apenas um dos regimes em operação para assim poder definir a granulometria ideal, lembrando que o minério pode ter vindo de frentes diferentes o que ocasionaria também essa diferença em sua distribuição granulométrica.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a simulação do processo de moagem em que foi construído uma malha com corpos moedores e minério, os resultados computacionais mostraram-se qualitativamente próximo do experimento realizado e principalmente considerando que o moinho utilizado na moagem não possuía revestimento e levantadores, daí acredita-se que seja o fator motivador de quase todos comportamentos observados o movimento ocorrer favorecendo o movimento por abrasão, característica do regime de cascata.

Na maioria das simulações houve a predominância do regime cascata, isso devido ao alto grau de enchimento (J) e em menor proporção observou-se o regime catarata que ocorre devido a variação da velocidade crítica que pode ser considerada alta a partir dos 70%.

AGRADECIMENTOS

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia d Paraíba – IFPB, Campus Campina Grande;

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG;

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – IFPI, Campus

Paulistana e;

Centro Internacional de Métodos Numéricos em Engenharia – CIMNE.

REFERÊNCIAS

Carvalho, R. M., 2009, **Desenvolvimento de Modelo Matemático Generalizado da Cominuição**, Dissertação de Mestrado em Engenharia Metalúrgica e Materiais - COOPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Cleary, P.W., 2001. **Modelling comminution devices using DEM**. Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech. 25, 83– 105.

Cundall, P. A., Strack, O.D.L. **A Discrete Numerical Model for Granular Assemblies**. Géotechnique, v. 29, p. 47-65, 1979.

Cundall, P.A. & Hart, D.H. (1992). **Numerical Modelling of Discontinua**. *Engineering Computations*, 9:101-113.

DEMPack/CIMNE (International Center for Numerical Methods in Engineering). **Tutorial 1: Mill 2D**, Spain, 2011. Disponível em <http://www.cimne.com/dem/problemtype>, acesso em: 20 de out. 2014.

Donzé, F.V., Richefeu, V. & Magnier, S. (2008). **Advances in Discrete Element Method Applied to Soil, Rock and Concrete Mechanics**. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 13.

Inoue, T., OKAYA, K., 1996. **Grinding mechanisms of centrifugal mills a batch ball mill simulator**. Int. J. Miner. Process. 44 (45), 425– 435.

Luz, A. B., França, S. C. A., E Sampaio, J. A. 2010. **Tratamento de Minérios**. Rio de Janeiro: CETEM, 2010.

Marigo, D. L. Cairns, M. Davies, M. Cook, A. Ingram, E. H. Stitt Developing Mechanistic Understanding of Granular Behaviour in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method. Part A: Measurement and Reconstruction of Turbulent Mixer Motion using Positron Emission Particle Tracking, CMES: Computer Modeling in Engineering & Sciences, Vol. 59, No. 3 (2010), pp. 217-238.

Metso. 2010. *Basics in Minerals Processing*. 2010. —. **2005. Manual de Britagem**. 2005.

Mishra, B.K., 2003. **A review of computer simulation of tumbling mills by the discrete element method: Part I - contact mechanics**. Int. J. Miner. Process. 71 (2003) 73– 93.

Mishra, B.K., 2003. **A review of computer simulation of tumbling mills by the discrete element method: Part II – Practical applications**. Int. J. Miner. Process. 71 (2003) 95– 112.

Mishra, B.K., Rajamani, R.K., 1994. **Simulation of charge motion in ball mills: Part 1. Experimental verifications**. Int. J. Miner. Process. 40, 171–186.

Mishra, B.K., Rajamani, R.K., 1994. **Simulation of charge motion in ball mills: Part 2. Numerical simulations**. Int. J. Miner. Process. 40, 187–197.

Mishra, B.K., Rajamani, R.K., 1992. **The discrete element method for the simulation of ball mills.** Appl. Math. Model 16, 598– 604.

Neves, C.E.V., 2009. **Comportamento de Materiais Granulares Usando o Método dos Elementos Discretos.** Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil.

Rajamani, R.K., Mishra, B.K., Venugopal, R., DATTA, A., 2000b. **Discrete element analysis of tumbling mills.** Powder Technol. 109 (1– 3), 105– 112.

Shirsath, S. S., Padding, J. T., Kuipers, J. A. M. and Clercx, H. J. H., 2015. **Simulation study of the effect of wall roughness on the dynamics of granular flows in rotating semicylindrical chutes.** AIChE J., 61: 2117–2135. doi:10.1002/aic.14828

Van Nierop, M.A., Glover, G., Hinde, A.L., Moys, M.H., 2001. **A discrete element method investigation of the charge motion and power draw of an experimental two-dimensional mill.** Int. J. Miner. Process. 59, 131– 148.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Algoritmo 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50, 70, 82, 120, 168, 169, 182, 257, 262, 265, 322, 330

Análise avançada 53, 54, 55, 68

Análise computacional 84, 103

Análise estrutural 55, 71, 82, 84, 85, 92, 93, 94, 95, 97, 103, 109, 110, 111

Aprendizado 13, 174, 193, 194, 197, 208, 215, 224, 268

B

Bullying 206, 207, 208, 210, 211, 212, 213, 214

C

Carga crítica 143, 144, 147, 148, 149, 152, 153

Computational fluid dynamics 329, 330, 350

Constitutive model 1, 2, 5, 6, 10

Contorno 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 71, 299

Controlador neural 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 179

Controle 19, 119, 120, 131, 168, 169, 171, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 240, 295, 312, 352, 353, 356, 358

D

Deep learning 131, 132, 134, 135, 136, 137, 138, 141, 142

Descarte adequado 198

Desenvolvimento 11, 12, 14, 15, 17, 20, 21, 35, 36, 40, 44, 82, 83, 193, 194, 195, 197, 198, 199, 200, 205, 206, 208, 209, 210, 211, 215, 216, 217, 221, 225, 226, 227, 254, 260, 265, 281, 294, 327, 352, 354, 357, 359, 361, 362, 363, 364

Design patterns 155, 156, 166, 167, 226, 227, 228, 230, 231, 234, 238

Diferenças finitas 38, 39, 40, 45, 50, 51, 52, 315

Digital 167, 197, 206, 207, 210, 213, 239, 243, 319, 320, 358, 359, 360, 362, 363, 365

Drop test 131, 132, 133, 134, 135, 141

E

Educação 12, 13, 14, 21, 53, 68, 70, 191, 193, 195, 197, 208, 212, 215, 225, 279, 290, 311, 326, 359, 366

Educacional 14, 82, 206, 208, 209

Elemento hexaédrico 70, 72, 75, 77

Elementos finitos 53, 55, 69, 70, 71, 72, 83, 279, 280, 281, 285, 286, 290, 291, 294, 297,

299, 303, 306, 309, 321

Equações diferenciais 39, 40, 44, 51, 71, 294

Estabilidade estrutural 143

Estatística 21, 215, 216, 217, 218, 224, 225

Estrutura 17, 38, 54, 71, 72, 75, 77, 78, 81, 82, 84, 85, 87, 89, 90, 91, 97, 98, 99, 101, 102, 103, 104, 106, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 152, 218, 221, 253, 266, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 286, 288, 291, 292, 293, 297, 298, 302, 309, 362, 363

F

Ferramenta 15, 18, 22, 39, 193, 194, 195, 196, 200, 204, 210, 211, 216, 224, 294, 313, 354, 356, 360, 361, 363

Frequências naturais 143, 144, 146, 147, 149, 150, 151, 152, 153

Fundação elástica 143

G

Geometria irregular 38

Gestão de processos 351, 352, 354, 355, 358

I

Imperfeições geométricas iniciais 53, 54, 55, 62, 64, 67, 69

Inclusão 29, 33, 35, 36, 67, 68, 197, 359, 360

Industrial process 131

Informação 12, 21, 193, 205, 216, 351, 354, 355, 356, 357, 358, 360, 366

Inovação 86, 104, 105, 193, 366

Interfaces 215, 216, 225, 231, 232, 233, 234, 235, 361

J

Jogo 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 206, 207, 209, 210, 211, 212, 213

L

Layout 221, 222, 359, 360, 362

Libras 11, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 21, 22

M

Malha 38, 39, 40, 44, 45, 46, 49, 50, 72, 79, 108, 182, 285, 299, 303, 304, 313, 321, 322, 326

Modelagem 31, 33, 35, 36, 38, 39, 70, 72, 149, 194, 251, 255, 268, 280, 285, 294, 295, 299, 305, 351, 352, 353, 354, 356, 357, 358

Modos incompatíveis 70, 72, 75, 76, 77, 79, 80, 82, 83

O

Oscar Niemeyer 84, 85, 86, 87, 89, 101, 102, 103, 104, 105, 118

P

Pasternak 143, 144, 145, 149, 151, 153, 154

Processos 82, 171, 240, 312, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 361

Programação 72, 211, 215, 224, 361

Programas 55, 205, 206, 210, 214, 294, 359

Projeto socioambiental 198

R

Realidade aumentada 193, 194, 195, 196, 197

Rede neural 168, 169, 171, 175

Resistência 53, 54, 55, 56, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 89, 96, 131, 145, 255, 256, 258, 261, 262, 263, 280, 294, 314

Robô 168, 169, 170, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179

Robótica 168

RPG 11, 12, 15, 16, 18

RStudio 215, 216, 217, 218, 220, 224, 225

S

Shiny 215, 216, 217, 218, 220, 221, 224, 225

Simulações 23, 24, 30, 31, 33, 35, 38, 44, 50, 168, 169, 175, 181, 311, 312, 326, 329

Sobretensões de manobras 23, 24, 25, 29, 30

Software 1, 6, 12, 18, 40, 53, 55, 66, 70, 71, 72, 77, 79, 80, 82, 103, 155, 156, 157, 158, 159, 166, 167, 196, 210, 215, 216, 217, 218, 220, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 235, 237, 238, 239, 256, 257, 263, 265, 266, 267, 281, 285, 297, 299, 300, 311, 320, 321, 330, 356, 357, 359, 360, 363, 364

Stable hysteresis cycle 1, 3, 9

Summarization 329, 330, 331, 332, 343, 349, 350

Supressores de surto 23, 25, 28, 29, 30, 33, 34, 35, 36

Sustentabilidade 198, 199

T

Tecnologia 11, 12, 21, 54, 70, 168, 193, 194, 196, 197, 206, 208, 215, 279, 290, 311, 326, 351, 355, 358, 359, 362, 366

Tensão 1, 24, 25, 26, 27, 28, 33, 34, 59, 62, 63, 66, 67, 75, 170, 255, 256, 258, 260, 261,

266, 295

Tensões residuais 53, 54, 55, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69

Transformadores 23, 24, 25, 28, 30, 34, 35, 36

Transitórios eletromagnéticos 23, 24, 31

W

Web 54, 194, 195, 196, 200, 215, 216, 217, 218, 221, 222, 225, 355, 359, 360, 361, 362, 363, 365

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br