



As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente 2

Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

Atena
Editora
Ano 2019

Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

As Engenharias frente a Sociedade, a
Economia e o Meio Ambiente 2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Natália Sandrini
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
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. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
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. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E57	<p>As engenharias frente a sociedade, a economia e o meio ambiente 2 [recurso eletrônico] / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (As Engenharias Frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente; v. 2)</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-430-6 DOI 10.22533/at.ed.306192506</p> <p>1. Engenharia – Aspectos sociais. 2. Engenharia – Aspectos econômicos. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Série.</p> <p style="text-align: right;">CDD 658.5</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

As obras As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente Volume 1, 2, 3 e 4 abordam os mais diversos assuntos sobre métodos e ferramentas nas diversas áreas das engenharias a fim de melhorar a relação do homem com o meio ambiente e seus recursos.

O Volume 1 está disposto em 31 capítulos, com assuntos voltados a engenharia do meio ambiente, apresentando processos de recuperação e reaproveitamento de resíduos e uma melhor aplicação dos recursos disponíveis no ambiente, além do panorama sobre novos métodos de obtenção limpa da energia.

Já o Volume 2, está organizado em 32 capítulos e apresenta uma vertente ligada ao estudo dos solos e águas, com estudos de sua melhor utilização, visando uma menor degradação do ambiente; com aplicações voltadas a construção civil de baixo impacto.

O Volume 3 apresenta estudos de materiais para aplicação eficiente e econômica em projetos, bem como o desenvolvimento de projetos mecânico e eletroeletrônicos voltados a otimização industrial e a redução de impacto ambiental, sendo organizados na forma de 28 capítulos.

No último Volume, são apresentados capítulos com temas referentes a engenharia de alimentos, e a melhoria em processos e produtos.

Desta forma um compendio de temas e abordagens que facilitam as relações entre ensino-aprendizado são apresentados, a fim de se levantar dados e propostas para novas discussões em relação ao ensino nas engenharias, de maneira atual e com a aplicação das tecnologias hoje disponíveis.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ESTUDOS DA ÁGUA E SEDIMENTOS NA BACIA DO RIO UBERABINHA EM UBERLÂNDIA - MG	
Maria da Graça Vasconcelos	
Luiz Alfredo Pavanin	
Erich Vectore Pavanin	
DOI 10.22533/at.ed.3061925061	
CAPÍTULO 2	13
BATIMETRIA E MEDIÇÃO DE VAZÃO NA BACIA DO RIO JI-PARANÁ - RO	
Renato Billia de Miranda	
Camila Bermond Ruezzeno	
Bruno Bernardo dos Santos	
Frederico Fabio Mauad	
DOI 10.22533/at.ed.3061925062	
CAPÍTULO 3	26
MONITORAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA ENSAIO DE PROVA DE CARGA EM SOLO BASÁLTICO	
Daniel Russi	
Sandra Garcia Gabas	
Giancarlo Lastoria	
DOI 10.22533/at.ed.3061925063	
CAPÍTULO 4	37
UTILIZAÇÃO DO MÉTODO PAPEL FILTRO E CENTRÍFUGA PARA DETERMINAÇÃO DE CURVAS DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO E CORRELAÇÕES COM PARÂMETROS GEOTÉCNICOS	
Ana Carolina Dias Baêso	
Eduardo Souza Cândido	
Roberto Francisco de Azevedo	
Gustavo Armando dos Santos	
Tulyo Diniz Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.3061925064	
CAPÍTULO 5	51
DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DE UM SOLO TROPICAL DA BAIXADA FLUMINENSE NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	
Fernando Benedicto Mainier	
Claudio Fernando Mahler	
Viktor Labuto Ramos	
DOI 10.22533/at.ed.3061925065	
CAPÍTULO 6	61
ELABORAÇÃO DE UMA CARTA DE UNIDADES DE TERRENO DO MUNICÍPIO DE CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM – ES	
Bruna Xavier Faitanin	
Éder Carlos Moreira	
Altair Carrasco de Souza	
Vitor Roberto Schettino	
DOI 10.22533/at.ed.3061925066	

CAPÍTULO 7	69
ESTABILIZAÇÃO DE UM SOLO SILTE ARENOSO DA FORMAÇÃO GUABIROTUBA COM CAL PARA USO EM PAVIMENTAÇÃO	
Wagner Teixeira Eclesielter Batista Moreira João Luiz Rissardi Vanessa Corrêa de Andrade Ronaldo Luis dos Santos Izzo	
DOI 10.22533/at.ed.3061925067	
CAPÍTULO 8	80
INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE CAL HIDRATADA NA RESISTÊNCIA DE SOLOS SEDIMENTARES	
Jair de Jesús Arrieta Baldovino Eclesielter Batista Moreira Ronaldo Luis Dos Santos Izzo Juliana Lundgren Rose Erico Rafael Da Silva Wagner Teixeira Felipe Perretto Roberto Pan	
DOI 10.22533/at.ed.3061925068	
CAPÍTULO 9	95
PERFILAGEM DO SUBSOLO NO MUNICÍPIO DE APUCARANA-PR COM BASE EM DADOS DE SONDAgens DE SIMPLES RECONHECIMENTO COM SPT	
Mariana Alher Fernandes Augusto Montor de Freitas Luiz	
DOI 10.22533/at.ed.3061925069	
CAPÍTULO 10	104
UTILIZAÇÃO DO PERMEÂMETRO DE TUBO NA DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE DE CAMADAS SUPERFICIAIS DE SOLOS	
Marcos Túlio Fernandes Glaucimar Lima Dutra	
DOI 10.22533/at.ed.30619250610	
CAPÍTULO 11	116
DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO EM SOLO REFORÇADO COM GEOSSINTÉTICOS	
Alessandra Lidia Mazon Maytê Pietrobelli de Souza Bianca Penteado de Almeida Tonus André Fanaya	
DOI 10.22533/at.ed.30619250611	

CAPÍTULO 12 133

AVALIAÇÃO DA ERODIBILIDADE DO SOLO DE CARACTERÍSTICA NÃO LATERÍTICA SOB O ENFOQUE GEOTÉCNICO NAS MARGENS DA TO-222 NO MUNICÍPIO DE ARAGUAÍNA - TO

Glacielle Fernandes Medeiros
Renata de Moraes Farias
Palloma Borges Soares
Ana Sofia Oliveira Japiassu
Andressa Fiuza de Souza
Igor Guimarães Matias

DOI 10.22533/at.ed.30619250612

CAPÍTULO 13 144

ADAPTAÇÃO DE METODOLOGIA DE HIERARQUIZAÇÃO DE NÍVEIS DE ATENÇÃO UTILIZADA EM MINERAÇÃO PARA TRABALHOS DE MAPEAMENTO DE RISCOS GEOTÉCNICOS EM ÁREA URBANA

Marcelo Corrêa da Silva
Daiara Luiza Guimarães

DOI 10.22533/at.ed.30619250613

CAPÍTULO 14 157

PRODUÇÃO DE CONCENTRADO ÚMIDO FOSFATADO: UMA EXPERIÊNCIA DE ESTÁGIO NA MINERAÇÃO

Matheus Henrique Borges Coutinho
Ricardo Antonio de Rezende
Cibele Tunussi
Marcos Vinicius Agapito Mendes

DOI 10.22533/at.ed.30619250614

CAPÍTULO 15 163

ESTUDO DOS DESPERDÍCIOS DE MATERIAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL E SUGESTÕES PARA A MINIMIZAÇÃO E REUTILIZAÇÃO DOS MESMOS, VISANDO A OTIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DAS OBRAS E MENORES IMPACTOS AMBIENTAIS

Beatriz Zeurgo Fernandes
Rafael Bergjohann
Luiz Carlos de Campos

DOI 10.22533/at.ed.30619250615

CAPÍTULO 16 176

USO DA CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO SUBSTITUTO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND

Kenyson Diony Souza Silva
Raduan Krause Lopes
Fabiano Medeiros Da Costa

DOI 10.22533/at.ed.30619250616

CAPÍTULO 17 192

ESTUDOS PRELIMINARES DA APLICAÇÃO DE RESÍDUO DE MINÉRIO DE COBRE SULFETADO NA ELABORAÇÃO DE ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO E REVESTIMENTO

Julia Alves Rodrigues
Dilson Nazareno Pereira Cardoso
Abel Jorge Rodrigues Ferreira
Edinaldo José de Sousa Cunha
Bruno Marques Viegas
Edilson Marques Magalhães
José Antônio da Silva Souza

DOI 10.22533/at.ed.30619250617

CAPÍTULO 18 200

AValiação DO COMPORTAMENTO DE COMPOSIÇÕES A BASE DE CIMENTO DE ALUMINATO DE CÁLCIO FRENTE AOS MICRORGANISMOS STAPHYLOCOCCUS AUREUS E ESCHERICHIA COLI

Renata Martins Parrreira
Talita Luana de Andrade
Newton Soares da Silva
Cristina Pacheco Soares
Victor Carlos Pandolfelli
Ivone Regina de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.30619250618

CAPÍTULO 19 209

UMA TÉCNICA, BASEADA EM PROJETO DE EXPERIMENTOS, PARA OTIMIZAÇÃO DA DOSAGEM DE ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA

André Rodrigues Monticeli
Paulo César Mappa
Aellington Freire de Araújo
Emerson Ricky Pinheiro
Karoline Santos da Silva

DOI 10.22533/at.ed.30619250619

CAPÍTULO 20 221

REDUÇÃO DO CONSUMO DE AÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDAS AO ESFORÇO CORTANTE ATRAVÉS DA ESCOLHA DO ÂNGULO DAS BIELAS

Lucas Teotônio de Souza
Paula de Oliveira Ribeiro

DOI 10.22533/at.ed.30619250620

CAPÍTULO 21 232

ANÁLISE DE CRONOGRAMA FÍSICO x CRONOGRAMA REALIZADO NA OBRA DO FÓRUM DE RIO NEGRO/PR PARA FINS DE DIMINUIÇÃO DOS ATRASOS

Nathalia Loureiro de Almeida Correa

DOI 10.22533/at.ed.30619250621

CAPÍTULO 22 250

ANÁLISE DA IMPORTÂNCIA DO CORRETO DIMENSIONAMENTO DOS VERTEDORES EM BARRAGENS E SUAS INFLUÊNCIAS ECOLÓGICAS E SOCIOECONÔMICAS. ESTUDO DE CASO: USINA HIDRELÉTRICA DE XINGÓ

Jéssica Beatriz Dantas
Djair Félix da Silva

DOI 10.22533/at.ed.30619250622

CAPÍTULO 23	262
ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTO PERMEÁVEL EM UMA ÁREA DA CIDADE DE JOINVILLE/SC	
Adilon Marques dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.30619250623	
CAPÍTULO 24	281
ANÁLISE NUMÉRICA DA SENSIBILIDADE DO ALGORITMO IMPLEX APLICADO EM UM CENÁRIO HIPOTÉTICO DE ESTABILIDADE DE TALUDE VIA TÉCNICA DE DESCONTINUIDADES FORTES	
Nayara Torres Belfort	
Ana Itamara Paz de Araujo	
Kátia Torres Botelho Galindo	
Igor Fernandes Gomes	
Leonardo José do Nascimento Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.30619250624	
CAPÍTULO 25	294
DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS POR MEIO DE CÁLCULO MANUAL E COM O AUXÍLIO DE UM SOFTWARE COMPUTACIONAL	
Iva Emanuely Pereira Lima	
Vitor Bruno Santos Pereira	
Vinicius Costa Correia	
DOI 10.22533/at.ed.30619250625	
CAPÍTULO 26	306
DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO DE PILARES MISTOS PREENCHIDOS DE AÇO E CONCRETO	
Jéssica Salomão Lourenção	
Élcio Cassimiro Alves	
DOI 10.22533/at.ed.30619250626	
CAPÍTULO 27	325
ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS: MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	
João Augusto Dunck Dalosto	
Luiz Fernando Hencke	
Jhonatan Conceição dos Santos	
Hevrlí da Silva Carneiro Pilatti	
DOI 10.22533/at.ed.30619250627	
CAPÍTULO 28	336
APLICAÇÃO DO CPR EM SOLOS MOLES NA REGIÃO DO CAMPO DOS PERDIZES: DUPLICAÇÃO DA BR 135, ENTRE O KM 39,36 E O KM 39,90	
Rodrigo Nascimento Barros	
Larysse Lohana Leal Nunes	
Saymo Wendel de Jesus Peixoto Viana	
DOI 10.22533/at.ed.30619250628	
CAPÍTULO 29	348
ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR INTERNO DE UMA TERAPIA INTENSIVA	
Sylvia Katherine de Medeiros Moura	
Antonio Calmon de Araújo Marinho	
Wagner Amadeus Galvão de Souza	
Angelo Roncalli Oliveira Guerra	
DOI 10.22533/at.ed.30619250629	

CAPÍTULO 30	357
'ARTENGENHARIA': UMA PONTE TRANSDISCIPLINAR PARA O DESENVOLVIMENTO DO POTENCIAL HUMANO E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA A GESTÃO DO CONHECIMENTO	
Ana Alice Trubbianelli	
DOI 10.22533/at.ed.30619250630	
CAPÍTULO 31	371
PROCEDIMENTO DE ANÁLISE EXPERIMENTAL E NÚMÉRICO DE UMA PONTE EXECUTADA COM PALITOS DE PICOLÉ	
Matheus Henrique Morato de Moraes	
João Eduardo Sousa de Freitas	
Diogo Henrique Morato de Moraes	
Juarez Francisco Freire Junior	
Wellington Andrade da Silva	
Geraldo Magela Gonçalves Filho	
DOI 10.22533/at.ed.30619250631	
CAPÍTULO 32	383
EXERGIA HÍDRICA EM SISTEMAS REDUTORES DE PRESSÃO	
Conrado Mendes Moraes	
Ângela B. D. Moura	
Eduardo D. P. Schuch	
Eduardo de M. Martins	
DOI 10.22533/at.ed.30619250632	
SOBRE O ORGANIZADOR	393

ANÁLISE NUMÉRICA DA SENSIBILIDADE DO ALGORITMO IMPLEX APLICADO EM UM CENÁRIO HIPOTÉTICO DE ESTABILIDADE DE TALUDE VIA TÉCNICA DE DESCONTINUIDADES FORTES

Nayara Torres Belfort

Universidade Federal de Pernambuco
Recife - Pernambuco

Ana Itamara Paz de Araujo

Universidade Federal de Pernambuco
Recife - Pernambuco

Kátia Torres Botelho Galindo

Universidade Federal de Pernambuco
Recife - Pernambuco

Igor Fernandes Gomes

Universidade Federal de Pernambuco
Recife - Pernambuco

Leonardo José do Nascimento Guimarães

Universidade Federal de Pernambuco
Recife - Pernambuco

RESUMO: Com o objetivo de prever o comportamento elastoplástico dos geomateriais são idealizadas modelagens computacionais através de métodos aproximados como o método dos elementos finitos aliado a técnicas como a de descontinuidades fortes incorporadas no contínuo. Essa técnica é utilizada com o objetivo de inserir no domínio do problema uma descontinuidade que permite capturar o efeito de deslocamentos concentrados em 10% do tamanho do elemento, necessitando de malhas relativamente pouco refinadas. Diante disso, nesse trabalho foi realizada a simulação de

um cenário de estabilidade de talude através do programa em elementos finitos CODE-BRIGHT para verificar a sensibilidade do algoritmo de integração de tensões IMPLEX aliando à técnica de descontinuidades fortes para descrever esforços de cisalhamento em superfícies planas numa superfície potencial de ruptura de um talude vertical de 10 metros de altura. O modelo constitutivo elastoplástico adotado foi o de Drucker-Prager, no qual se verificou a conformidade entre a solução numérica e analítica de altura crítica de Terzaghi. Foi avaliado o comportamento constitutivo do material com o parâmetro da tolerância variando com valores da ordem de 10^{-5} até 10^{-1} , no qual se verificou uma resposta semelhante para todos os valores de tolerâncias avaliados. Também foi observado que para esse problema hipotético de estabilidade de talude, o comportamento do estado de tensões se mostrou muito semelhante para os diversos valores de tolerância adotados, permitindo concluir que esse algoritmo IMPLEX é estável e eficaz na previsão do comportamento de geomateriais em problemas desse porte.

PALAVRAS CHAVES: *IMPLEX; Elementos finitos; Estabilidade de Talude; Descontinuidades Fortes; Drucker-Prager.*

ABSTRACT: In order to predict the elastoplastic behavior of geomaterials, constitutive models

and numerical formulations in computational modeling have been applied through approximate methods as the finite element method and techniques as embedded strong discontinuities. This technique is used input in the problem domain a discontinuity that allows to capture the effect of concentrated displacements in 10% of the element size, requiring relatively less refined meshes. In this work a simulation of a slope stability scenario was performed through the CODE-BRIGHT finite element program to verify the sensitivity of the IMPLEX stress integration algorithm combined with the technique of strong discontinuities. A Drucker-Prager constitutive model adopted to analyse plane shear surface of a potential rupture area of a vertical slope of 10 meters in height, in which it was verified the conformity between the numerical solution and the analytical solution of critical height of Terzaghi. It was evaluated the constitutive behavior of the material with the tolerance parameter varying with values ranging from 10^{-5} to 10^{-1} , in which a similar response was verified for all tolerance values evaluated. It was also observed that for the hypothetical slope stability problem the behavior of the stress state was very similar for the various tolerance values adopted, allowing to conclude that this IMPLEX algorithm is stable and effective in predicting the behavior of geomaterials in this-sized problems.

KEYWORDS: *IMPLEX; Finite Elements; Slope Stability; Strong Discontinuities; Drucker-Prager.*

1 | INTRODUÇÃO

O problema de estabilidade de taludes de origem natural ou antrópica está muito presente no dia a dia da engenharia geotécnica com uma literatura bem estabelecida (Park & Michalowski, 2017). A avaliação desse problema é de extrema importância para prever se há necessidade de realizar medidas de estabilização, evitando a ruptura e o conseqüente deslizamento. (Fernandes, 2006)

No estudo da instabilidade de taludes a água é um fator que possui grande influência na redução do fator de segurança. Segundo Araújo et al. (2017), em períodos de chuva é que ocorre a maior quantidade dos deslizamentos, associados à infiltração de água pluvial no solo, ao aumento da poropressão e à redução da resistência do talude.

Avaliando um cenário de estabilidade de talude, Juliantina et. al. (2018) concluíram que a causa principal dos escorregamentos foi que havia a presença de rocha decomposta não compacta que apresentava intemperismo, além da presença de bentonita, argila que prontamente absorve água, corroborando a hipótese de que a água tem influência nos deslizamentos, e através de análises numéricas, esses autores verificaram que o fator de segurança foi 1.1, configurando uma leve instabilidade.

Para desenvolver este mecanismo a presença da água no interior do solo causa um aumento da poropressão que reduz as tensões efetivas, fazendo necessário ser conhecido os parâmetros de resistência do solo que são fundamentais para a obtenção

de informações que viabilizem a prevenção da ruptura (Costa, 2015).

Diante desses cenários, soluções são idealizadas de maneira que se estabilize o talude. Li et. al. (2017) avaliaram uma barragem na qual foi realizado o reforço do talude com solo arenoso envolto por um geotêxtil (“soilbags”) e essa ação aumentou o fator de segurança de 1.11 para 1.44, sendo eficiente na estabilização do talude. Vale salientar que cada solução depende do tipo da estrutura e das suas condições de contorno.

Assim, visando a durabilidade de obras geotécnicas é essencial realizar uma sequência de decisões que devem ir desde a utilização adequada da mecânica dos solos até os tipos de ferramentas utilizadas.

O Método de Elementos Finitos, por exemplo, pode auxiliar o entendimento do comportamento dos geomateriais em diversas situações, permitindo alcançar maior precisão nos resultados de problemas de estabilidade das construções (Torres, 2018).

Neste sentido, o emprego de ferramentas computacionais (Gomes, 2006; Beserra, 2010; Oliveira, 2011; Magalhães, 2018) tem sido essencial para o estudo de problemas de engenharia, uma vez que permite reproduzir o problema e aplicar as condições de contorno desejadas para os diversos cenários. (Ferreira et. al., 2009).

Neste trabalho, com o objetivo de reproduzir um cenário de estabilidade de talude e prever a possibilidade de ruptura do mesmo, foi avaliado o comportamento elastoplástico de geomateriais através do programa em elementos finitos CODE-BRIGHT e do algoritmo de integração de tensões IMPLEX associado à técnica de descontinuidades fortes incorporadas no contínuo. Nesse artigo foi avaliada a sensibilidade desse algoritmo frente a diferentes configurações de malha e a diferentes fatores de tolerância da redução do passo de tempo.

2 | MÉTODO NUMÉRICO

Nesse artigo, para a análise do comportamento geomecânico do solo, foi utilizado o critério de ruptura elastoplástico de Drucker-Prager baseado em Souza Neto et al. (2008), cuja plastificação se inicia quando o invariante das tensões desviadoras (J) e a tensão média (p) atingem uma combinação de valores críticos, tocando a superfície de fluência, Eq. 1. (Beserra, 2010).

$$f(\sigma, h) = J + \eta p - \xi c' \quad (1)$$

Sendo η e ξ função da coesão (c) e do ângulo de atrito do material.

Foi aplicado nesse artigo, aliado ao o modelo constitutivo elastoplástico de Drucker-Prager, a técnica de descontinuidades fortes incorporadas implementados na ferramenta numérica em elementos finitos CODE_BRIGHT, (COupled DEformation BRine Gas and Heat Transport) por Beserra (2010) e Beserra (2015).

Também foi adotado para a integração das tensões e deformações o algoritmo IMPLEX, validado por Magalhães et. al. (2018), que faz uma estimativa do multiplicador plástico de acordo com a projeção das deformações totais do tempo anterior. Como essa estimativa depende do incremento de tempo adotado entre as etapas, existe um controle do incremento de tempo, que visa impedir que o modelo viole a superfície de fluência reduzindo o incremento de tempo como um fator de redução chamado por Magalhães et. al. (2018) de fator de tolerância (F_{tol}), permitindo o retorno do estado de tensões para o critério de ruptura. Mais detalhes sobre a formulação estão descritos em Magalhães et. al. (2018).

Aliado a esse algoritmo, foi inserida a técnica de descontinuidades fortes embebida. Essa descontinuidade é inserida em deformações localizadas em bandas estreitas, denominadas fracas, e sabendo que os deslocamentos se concentram em zonas de processamento da fratura, quando ocorre a ruptura por completo do material, isso implica numa descontinuidade no campo de deslocamentos denominada de descontinuidade forte. A inserção dessa técnica permite representar uma descontinuidade no interior do elemento com 10 % da sua espessura, evitando a necessidade de malhas muito refinadas ou até mesmo de utilizar elementos de interface discretos. (Beserra, 2015)

3 | SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Nesse artigo foi realizada a simulação numérica de um problema hipotético de estabilidade de talude. Nesse problema geotécnico o peso do próprio solo causa a instabilidade do material, que no modelo numérico foi representado através de um artifício da inserção de um fator multiplicador da gravidade que aumenta a gravidade e conseqüentemente o peso do solo até a ruptura.

As análises foram feitas baseadas no critério de altura crítica de Terzaghi (Caputo, 1987), Figura 1, que afirma que taludes verticais se tornam instáveis no momento em que a condição de altura crítica não for mais atendida

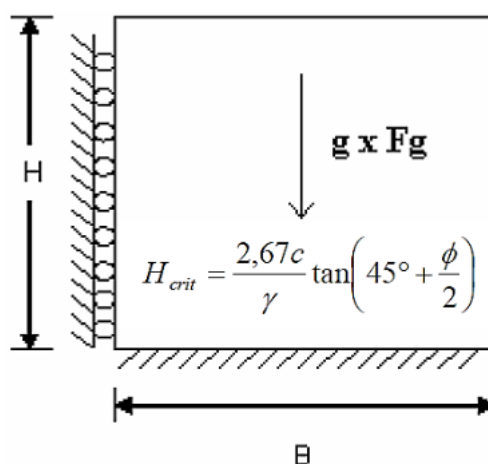


Figura 1 – Condições de contorno para Estabilidade de Talude. Fonte: (Gomes, 2006).

Dessa maneira, para verificar a solução analítica de Terzaghi para esse cenário foram adotadas as características do solo descritas na Tabela 1, dentre eles: módulo de elasticidade (E), coesão (c), ângulo de atrito (ϕ), dilatância (Φ), coeficiente de Poisson (ν) e peso específico (γ).

Foi adotado para esse cenário um talude vertical com a geometria composta por largura de 20 metros e altura de 10 metros. A geometria e as condições de contorno estão ilustradas na Figura 2.

E (MPa)	c (MPa)	$\phi = \phi$ (°)	ν	γ (kN/m ³)
100	5	30	0,30	26,1

Tabela 1 – Parâmetros Físicos do Solo

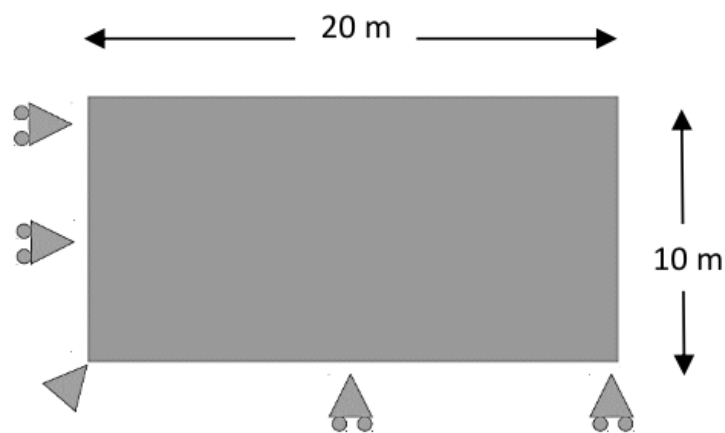


Figura 2 - Condições de contorno e Geometria do Problema

Assim, através da solução analítica de Terzaghi foi possível verificar o fator de gravidade $F_g = 90$, Figura 3, necessário para se atingir a altura crítica de 10 metros da geometria.

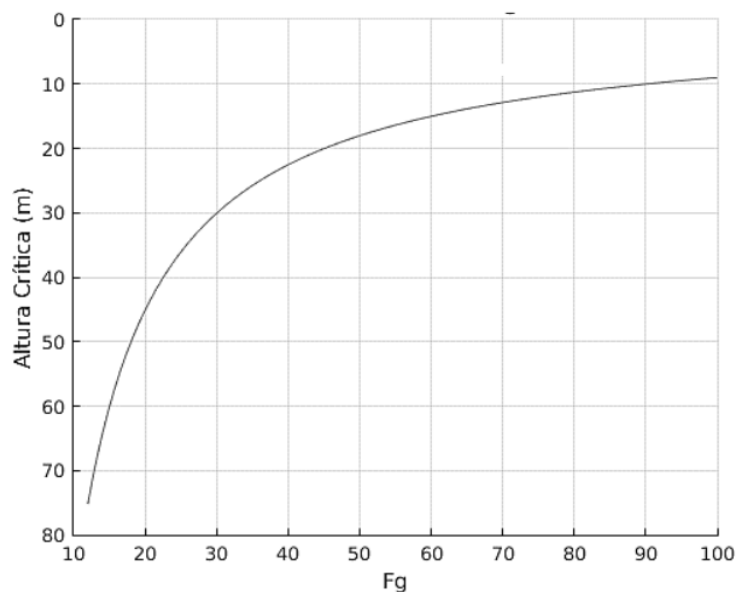


Figura 3 – Solução Analítica da Altura Crítica de Terzaghi

3.1 Avaliação da Estabilidade de Talude

A simulação desse cenário foi realizada em elementos finitos 2D. A malha de elementos finitos foi discretizada, seguindo a geometria da Figura 2, com elementos triangulares, com 1 ponto de Gauss em cada elemento, possuindo no total 1400 nós e 2655 elementos, Figura 4.

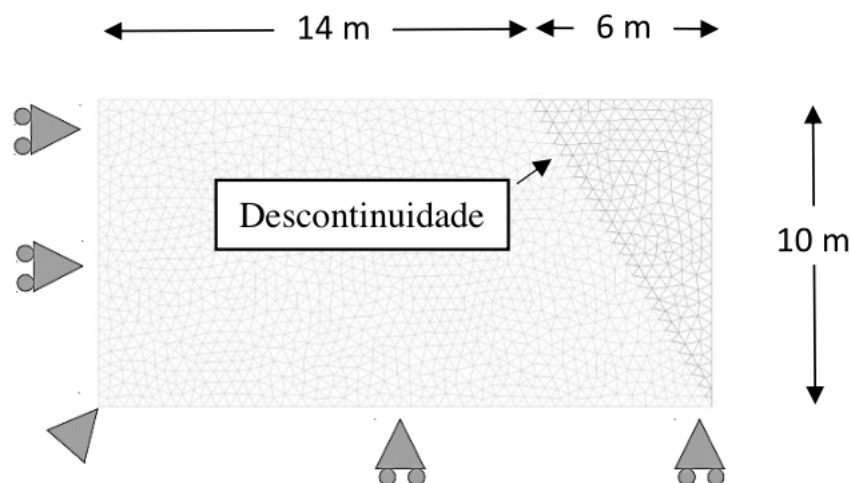


Figura 4 - Condições de contorno e Geometria do Problema

Nessa geometria, foi inserida uma descontinuidade incorporada em uma linha de elementos alinhados com inclinação de 60 graus, para isso, foram discriminadas três regiões no corpo do talude com as mesmas propriedades físicas da Tabela 1. As condições de contorno do problema estão ilustradas na Figura 4. Nessa modelagem, seguindo a sugestão de Magalhães et. al. (2018), foi utilizado um incremento de tempo inicial de 1E-03 s e uma tolerância de 2E-03.

Na Figura 5 observa-se o campo dos deslocamentos horizontais do talude, que se mostrou uniformemente variado e crescente a medida que se aproxima da margem direita do talude, que se encontra na ruptura. Semelhante à distribuição dos deslocamentos, a distribuição de tensões horizontais se torna mais expressiva ao se aproximar da margem direita do talude, Figura 6.

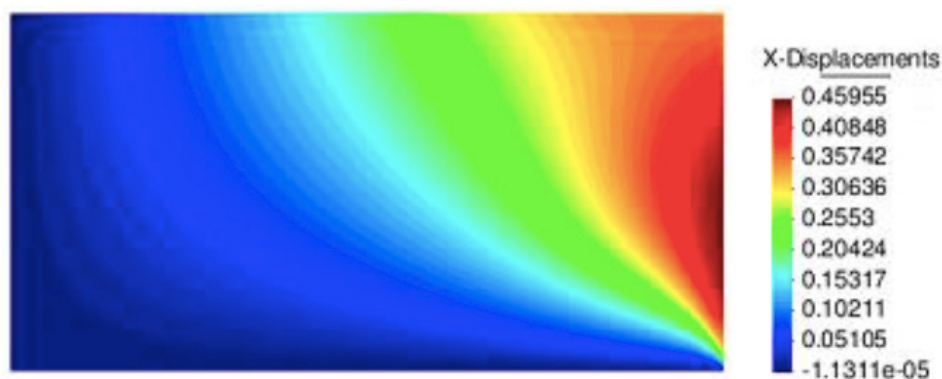


Figura 5 – Campo dos Deslocamentos Horizontais (MPa)

Na margem esquerda da Figura 6 pode ser observado um deslocamento da ordem de 10^{-5} m, que numericamente é considerado devido ao valor da rigidez da condição de contorno, que foi considerada como uma rigidez quase total, mas ainda presente. Essa hipótese é sustentada por problemas reais, nos quais existe um material com uma rigidez presente, mas não absoluta como o solo, porém, na prática esse valor é considerado nulo para as análises, não tendo interferência no comportamento das tensões, já que a superfície de ruptura se encontra a uma distância considerável da extremidade esquerda.

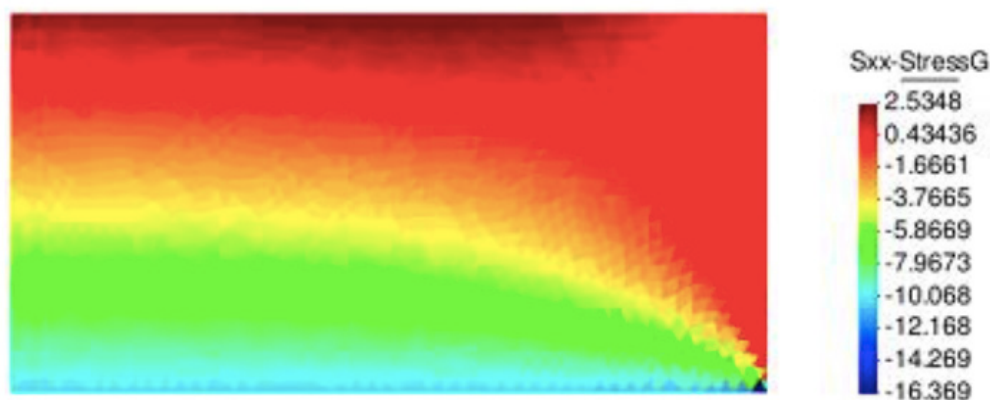


Figura 6 – Campo das Tensões Horizontais (MPa)

Na Figura 7 observa-se um aumento da tensão desviadora nas mediações da fratura e principalmente no pé do talude, onde a ruptura tem início e por isso as tensões se tornam mais expressivas. De maneira semelhante a abertura de fratura, Figura 8, mostra uma concentração na região da descontinuidade, que indica o processo de ruptura do material. Em seguida, foi avaliada, no item seguinte, a sensibilidade do algoritmo IMPLEX com diferentes valores de tolerâncias para esse cenário hipotético.

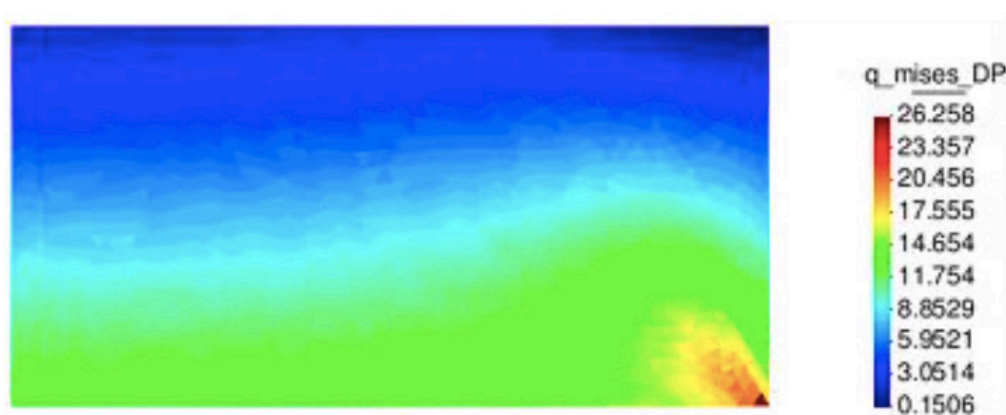


Figura 7 – Campo das Tensões Desviadoras (MPa)

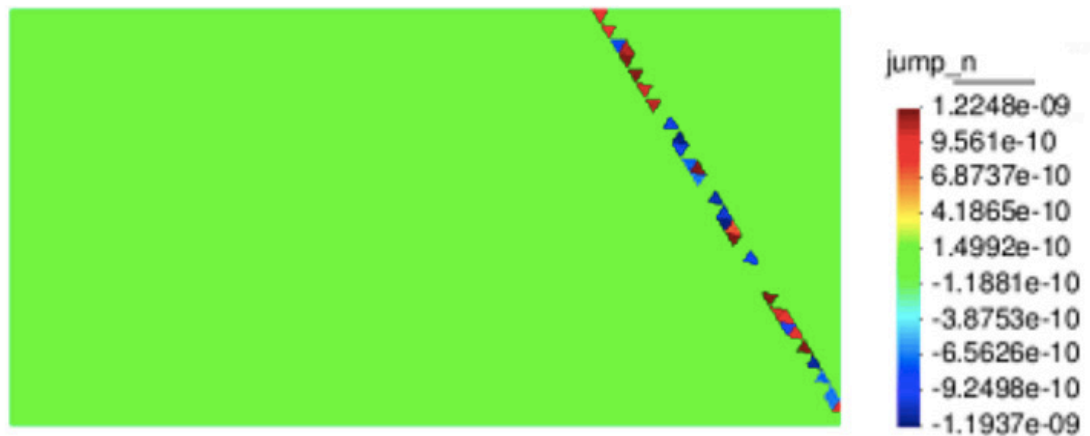


Figura 8 – Abertura de Fratura em Metros

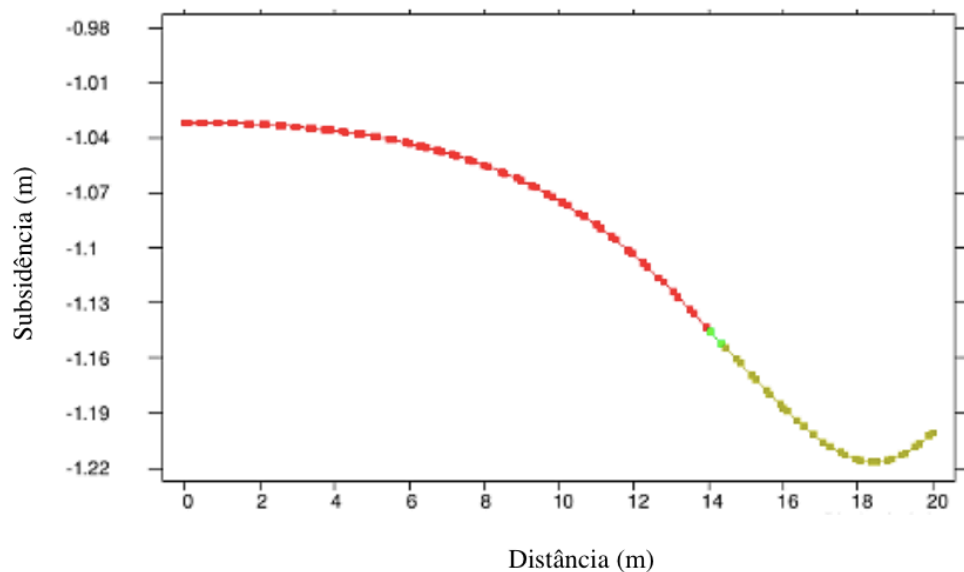


Figura 9 – Subsidência na Superfície do Talude

3.2 Sensibilidade Do Algoritmo IMPLEX

Nesse item foram realizadas várias modelagens mantendo os parâmetros e condições de contorno e variando apenas a tolerância adotada para o algoritmo entre os valores de $2E-01$, $2E-02$, $1E-02$, $2E-03$, $2E-04$ e $2E-05$. Para essa análise foram gerados gráficos comparativos para avaliar o critério analítico de altura crítica de Terzaghi e o fator de gravidade relacionado a essa altura crítica.

Primeiramente a avaliação do comportamento do algoritmo na evolução das tensões que se superpõe no gráfico da trajetória de tensões e permanecem na envoltória de Drucker-Prager, Figura 10.

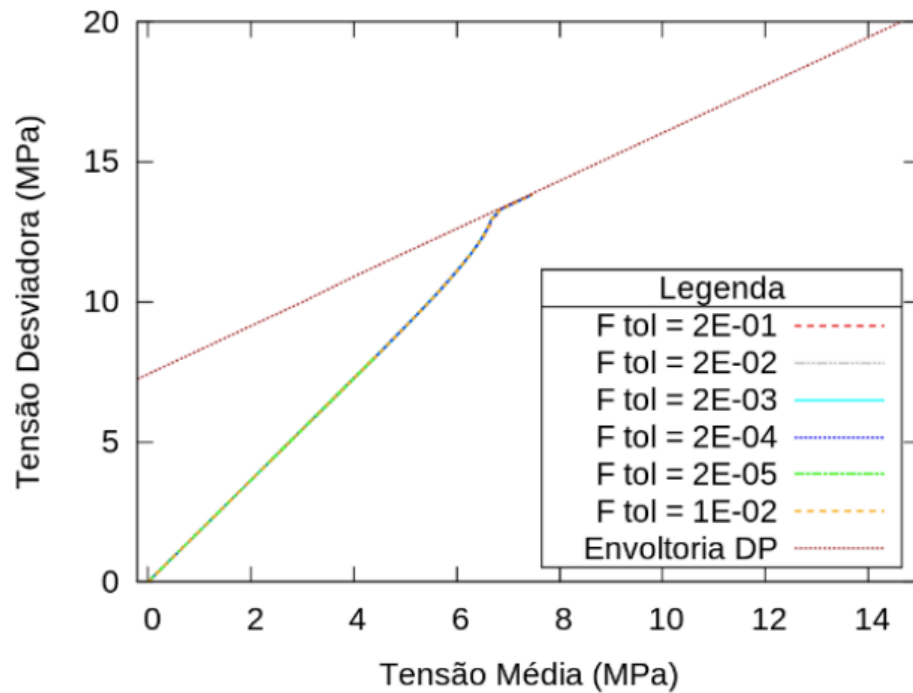


Figura 10 – Envoltória de Drucker-Prager

Avaliando o comportamento do talude quanto a altura crítica vista anteriormente que foi 10 metros, a evolução da tensão desviadora, Figura 11, e a evolução do deslocamento horizontal, Figura 12, evoluem até a ruptura, quando atingem a altura crítica, descrita no gráfico de 10 m.

Já com relação ao fator de gravidade, pode ser observado na Figura 13 que a tensão desviadora evolui até atingir a altura crítica com valor de 14 Mpa, confirmando o resultado da Figura 11, e o fator de gravidade relacionado a essa altura crítica, visto anteriormente, foi de 90.

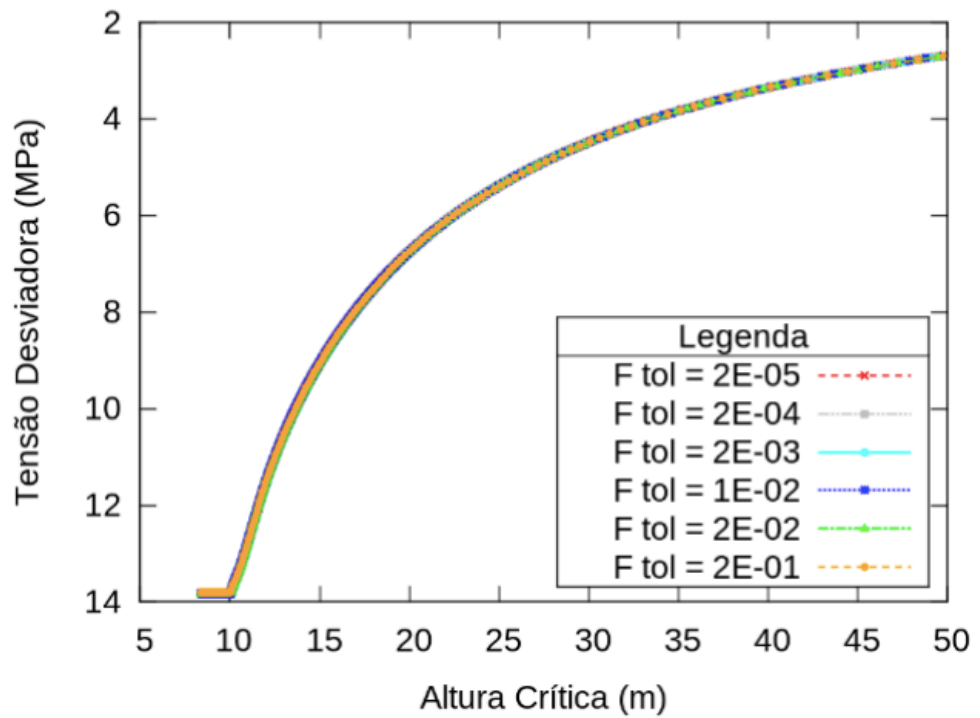


Figura 11 – Evolução da Tensão Desviadora com a Altura Crítica

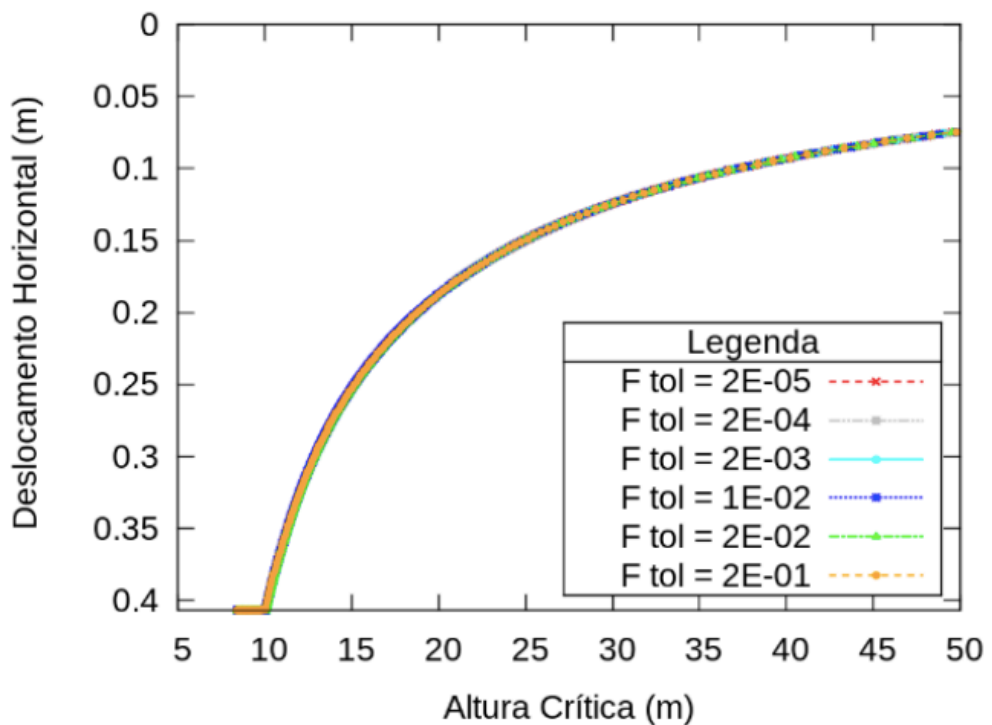


Figura 12 - Evolução dos Deslocamentos Horizontais com a Altura Crítica

De maneira semelhante, na Figura 14, a evolução da porosidade ocorre até a ruptura com o fator de gravidade de 90, onde interrompe, indicando a ruptura e corroborando com o resultado da tensão desviadora.

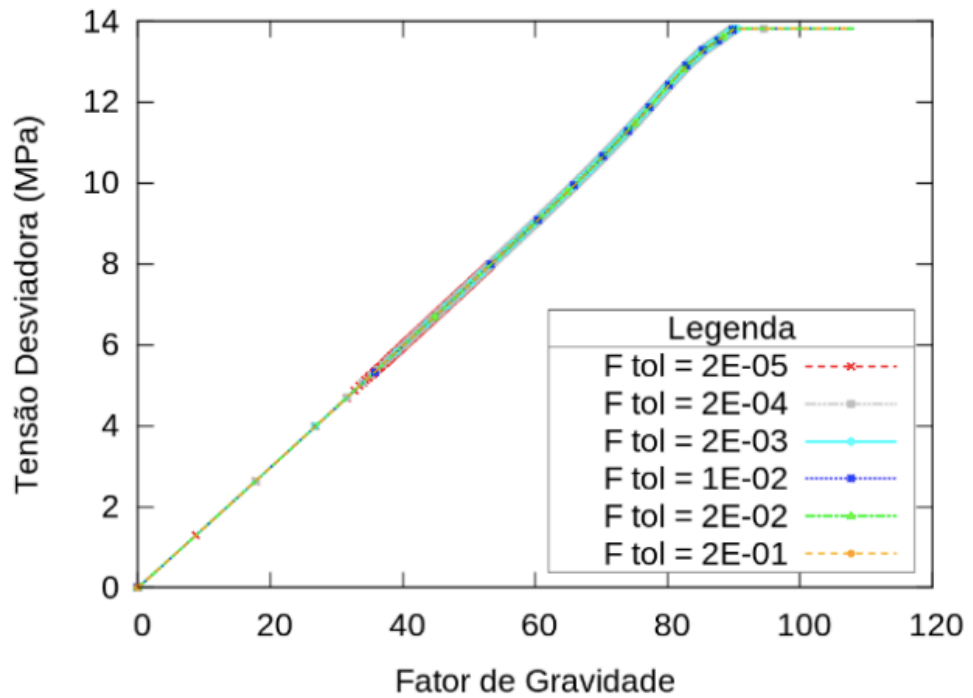


Figura 13 – Porosidade versus Fator de Gravidade

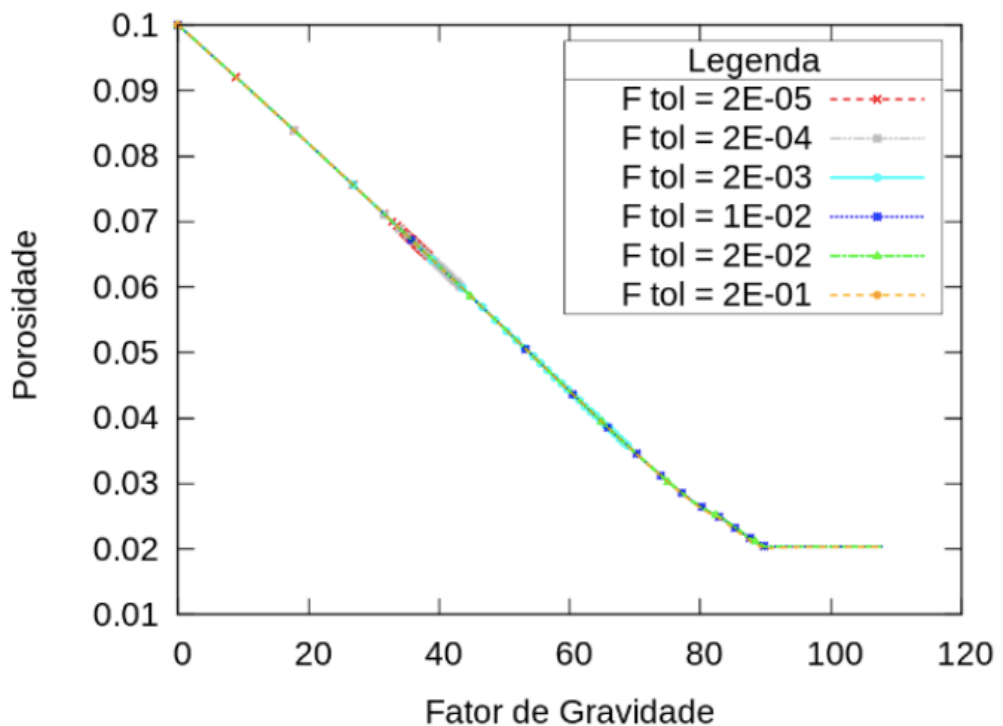


Figura 14 - Tensão Desviadora versus Fator de Gravidade (Fg)

4 | CONCLUSÕES

Nesse artigo foi realizada a comparação da resposta do algoritmo IMPLEX com a solução analítica da altura crítica de Terzaghi, no qual foi observada a compatibilidade do resultado com a solução de 10 m de altura crítica para um fator de aumento da gravidade de 90, indicando um aumento na gravidade de 90 vezes a gravidade da Terra.

Os resultados permitiram concluir que o comportamento das tensões e deslocamentos previstos pelo algoritmo foi compatível com o esperado, tendo representado a ruptura do talude diante da altura crítica de 10 metros e com a superfície de ruptura concentrada nos elementos que tiveram incorporada no contínuo a técnica de descontinuidades fortes.

Foi possível, também, comparar os resultados com os do artigo de Magalhães et. al. (2018), no qual foi avaliado um problema de pequeno porte, com um estado de tensão inicial inferior ao da modelagem do presente artigo. Nessa comparação foi verificado que o algoritmo é estável com qualquer dos valores de tolerância avaliados ao adotar o incremento de tempo de 1E-03 s sugerido por Magalhães et. al. (2018) como mais estável e eficiente, o que foi confirmado no presente trabalho.

Pode-se considerar, com esse resultado, que o algoritmo diante de problemas que possuem um estado de tensões maior do que o analisado por Magalhães et. al. (2018) e da utilização da técnica de descontinuidades fortes incorporada, que não foi utilizada por Magalhães et. al. (2018), o algoritmo apresentou um comportamento mais estável.

Pôde-se, então, concluir que o algoritmo IMPLEX é estável e coerente na avaliação do campo das tensões e dos deslocamentos com uma resposta satisfatória ao ser acoplado à técnica de descontinuidades forte incorporadas, sendo capaz de prever o comportamento de cenários de ruptura por cisalhamento em superfícies planas.

AGRADECIMENTOS

À Energi Simulation e à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelos recursos fornecidos durante a pesquisa.

REFERÊNCIAS

Araújo, C. B. C.; Mendes, A. J. F.; Gomes, J. K. P.; Monteiro, L. M.; Campos, M. T.; Magalhães, M. M.; Vale, V. M.; Dantas Neto, S. A. & Rodrigues, D. T. (2017) **Análise Comparativa da Estabilidade de Taludes nas Condições Saturada e Não Saturada**. XII Conferencia Brasileira sobre Estabilidade de Encostas. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil ABMS.

Beserra, L. de S. (2010) **Implementação de Algoritmos de Integração Implícita para Modelos Constitutivos Elastoplásticos na Simulação Geomecânica**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco.

Beserra, L. de S. (2015) **Análise Hidromecânica do Fraturamento Hidráulico via Elementos Finitos com Descontinuidades Fortes Incorporadas**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, 158 p.

Caputo, H. P. (1987). **Mecânica dos Solos e suas Aplicações**. Volume 3, Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., Rio de Janeiro.

Costa, A. C. R. (2015) **Avaliação da estabilidade de taludes em rochas de resistência elevada – um contributo**. Dissertação de Mestrado submetido para Mestrado em Engenharia Geológica –

Fernandes, M. M. (2006) Mecânica dos solos, Vol. 2. FEUP Edições, Porto.

Ferreira, Y. A. Lira, W. W. M. Ramos, V. C. L. Vieira, L. C. L. M. (2009) **Uma Proposta para a Análise de Estabilidade de Taludes Utilizando o Método dos Elementos Discretos**. COBRAE, ABMS.

Gomes, I. F. (2006) **Implementação de métodos explícitos de integração com controle de erro para modelos elastoplásticos e viscoelastoplásticos**. Dissertação de mestrado: Mestrado em Engenharia Civil, UFPE, Recife.

Juliantina, I.; Sutejo, Y.; Dewi, R.; Adhitya, B. B. & Rustam, R. K. (2018) **Identification of Slope Stability Analysis**. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, Vol. 8, n 3, pages: 671-677.

Li, H.; Song, Y; Gao, J.; Li1, L.; Zhou, Y. & Qi1, H. (2017) **Construction of a Dry Ash Dam with Soilbags and Slope Stability Analysis**. Conf. Series: Materials Science and Engineering, 275, pages 10.

Magalhães, N. T. B. A.; Guimarães, L. J. do N.; Gomes, I. F; Beserra, L. & Teixeira, J. C. (2018). **Validação e Análise de Sensibilidade de Algoritmo De Integração IMPLEX via Técnica de Elementos Finitos com o Modelo Elastoplástico de Drucker-Prager**. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica - Cobramseg, Salvador, Bahia, Brasil.

Oliveira, N. P., Almeida, Sylvia R.M. (2011) **Análise da estabilidade de taludes usando técnicas de busca automática**. 63ª Reunião anual da SBPC - ISSN 2176-1221.

Park, D. Michalowski, R. L. (2017) **Three-dimensional stability analysis of slopes in hard soil/soft rock with tensile strength cut-off**. Engineering Geology, vol. 229, n 7, Pp 73-84.

Souza Neto, E. D.; Peric, D.; Owens, D. (2008) **Computational Methods for Plasticity: Theory and Applications**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

Torres, R. T. C.; Barros, M. R. S.; Chissolucombe, I. (2018) **Estabilidade de Taludes**. Anais do Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG (CEPE)

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-430-6



9 788572 474306