

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Cristiane Silva Rocha Damasceno

**Modelagem Geológica e Geomecânica 3D e
Análises de Estabilidade 2D dos Taludes da
Mina de Morro da Mina, Conselheiro
Lafaiete, MG, Brasil**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Rio de Janeiro, fevereiro de 2008



Cristiane Silva Rocha Damasceno

**Modelagem Geológica e Geomecânica 3D e Análises de
Estabilidade 2D dos Taludes da Mina de Morro da Mina,
Conselheiro Lafaiete, MG, Brasil**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre pelo Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio.

Orientador: Sérgio Augusto Barreto da Fontoura

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2008



Cristiane Silva Rocha Damasceno

**Modelagem Geológica e Geomecânica 3D e Análises de
Estabilidade 2D dos Taludes da Mina de Morro da Mina,
Conselheiro Lafaiete, MG, Brasil**

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada
pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Sérgio Augusto Barreto da Fontoura

Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Alberto de Sampaio Ferraz Jardim Sayão

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Ana Cristina Castro Fontenla Sieira

Departamento de Estruturas e Fundações – UERJ

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 26 de fevereiro de 2008

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Cristiane Silva Rocha Damasceno

Graduou-se em Engenharia Civil – ênfase em Estruturas, na UERJ (Universidade do Estado do Rio de Janeiro) em 2005/1. Presta serviço voluntário de caráter filantrópico, atuando como responsável técnica pela execução de furos de sondagens, para dimensionamento de estrutura e construção de Salões do Reino das Testemunhas de Jeová.

Ficha Catalográfica

Damasceno, Cristiane Silva Rocha

Modelagem Geológica e Geomecânica 3D e Análises de Estabilidade 2D dos Taludes da Mina de Morro da Mina, Conselheiro Lafaiete, MG, Brasil / Cristiane Silva Rocha Damasceno; orientador: Sérgio Augusto Barreto da Fontoura. – 2008.

165 f.: il.; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Inclui bibliografia.

1. Engenharia civil – Teses. 2. Minas a céu aberto. 3. Modelagem. 4. Geoestatística. 5. Análises de estabilidade. I. Fontoura, Sérgio Augusto Barreto da. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. III. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

CDD 624

Ao meu Soberano Altíssimo Senhor Jeová, pois
“Digno és, Jeová, sim, *meu* Deus, de receber a glória, e a
honra, e o poder, porque criaste todas as coisas e porque elas
existiram e foram criadas por tua vontade” (Revelação/Apocalipse 4:11).

Agradecimentos

Ao meu amado Deus Jeová por ter permitido que eu chegasse até aqui em minha vida, por ter cuidado de mim, e ter me guiado por bons caminhos ao longo deste curso que concluo agora, e ao longo da minha vida, pois “desde o ventre de minha mãe tens sido meu Deus” (Sal 22:10).

Ainda ao meu Soberano Deus, pela ajuda recebida através dos meus queridos pais e irmãos na fé; através das inúmeras pessoas maravilhosas que conheci na Universidade da qual sou originária – UERJ, e na Universidade onde me encontro agora – PUC-Rio, sendo que nesta a lista vai desde o pessoal da “Van dos Funcionários da PUC” até o pessoal do GTEP, passando pelo pessoal e professores do Departamento de Engenharia Civil; e por meio das instituições CAPES, VALE, na pessoa de Paulo R. Franca, Schlumberger, Rocscience, e do próprio GTEP, na pessoa do meu estimado orientador Sérgio A. B. da Fontoura, que sem as quais este trabalho não poderia ter sido realizado, e principalmente, pelo privilégio de ter levado o nome Dele a pessoas que nunca ouviram falar sobre ele, pois conforme está escrito: “como ouvirão, se não houver quem pregue?” (Ro 10:14).

Resumo

Damasceno, Cristiane Silva Rocha; Fontoura, Sérgio Augusto Barreto da. (Orientador) **Modelagem Geológica e Geomecânica 3D e Análises de Estabilidade 2D dos Taludes da Mina de Morro da Mina, Conselheiro Lafaiete, MG, Brasil.** Rio de Janeiro, 2008. 165 p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O trabalho propõe uma metodologia para elaboração de modelos geológicos e geomecânicos (3D) e realização de análises de estabilidade (2D) de taludes rochosos de minas a céu aberto, com base nos dados da mina de Morro da Mina, fornecidos pela empresa VALE, a qual esta pertence. A metodologia está dividida em duas etapas: modelagem e análises de estabilidade. Para a modelagem, foi utilizado o software Petrel 2004, que oferece ferramentas geoestatísticas, possibilitando a extrapolação das informações geotécnicas pontuais c' , ϕ' , RQD, Q e RMR, obtidas por meio de testemunhos de sondagem, para o maciço inteiro. Utilizou-se a técnica de Krigagem Ordinária. O modelo gerado representou bem a distribuição destas propriedades no espaço. Na etapa de análise de estabilidade, foram utilizadas seções resultantes da modelagem geomecânica. Dois tipos de análises foram realizados: análises cinemáticas, com utilização do software Dips, da Rocscience, e análises por equilíbrio limite dos taludes globais e das bancadas, utilizando-se o software Slide 5.0, também da Rocscience. No primeiro tipo, realizado com dois conjuntos de mapeamentos diferentes, foi constatado que as bancadas devem receber bastante atenção nesta mina, e no segundo tipo, foi verificada a segurança quanto à ruptura circular das bancadas e taludes globais, porém recentemente ocorreu uma ruptura em um dos locais analisados. Os programas RocData 4.0 e RocProp, ambos da Rocscience, foram utilizados para estimar os parâmetros de resistência de Mohr-Coulomb, e os softwares AutoCAD 2004 e Microsoft Office Excel auxiliaram na preparação dos arquivos de entrada no Petrel 2004 e no Slide 5.0.

Palavras-chave

Minas a Céu Aberto; Modelagem; Geoestatística; Análises de Estabilidade.

Abstract

Damasceno, Cristiane Silva Rocha; Fontoura, Sérgio Augusto Barreto da. (Advisor) **Geological and Geomechanics Modelling 3D and Stability Analyses 2D of The Slopes of the Morro da Mina Mine, Conselheiro Lafaiete, MG, Brazil.** Rio de Janeiro, 2008. 165 p. MSc. Thesis – Department of Civil Engineering, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This work presents a methodology to develop geological and geomechanic models (3D) and to carry out stability analyses (2D) of rock slopes of open pit mine, based on data of Morro da Mina mine, provided by the mining company VALE. The methodology is divided in two stages: modelling and stability analyses. For the modelling, the software Petrel 2004, which allows the use of geostatistical tools, was used, being possible the spatial distribution of geotechnical information, obtained from borehole cores, for the whole rock mass. The technique of Ordinary Kriging was used. The modeled properties were the following: c' , ϕ' , RQD, Q e RMR. The generated model represented well the spatial distribution of these properties. The stability analyses were carried out using 2D sections and the necessary rock mass parameters were obtained from the geomechanical model. Two types of analyses were carried out: kinematic analyses, with use of the software Dips, from Rocscience, and limit equilibrium analyses of the global slopes and the benches, where the software Slide 5.0, also from Rocscience was used. The Kinematic analyses, carried out considering two sets of joint orientations, suggested that the benches have to receive enough attention in this mine, and the limit equilibrium analyses for circular failure of the benches and global slopes indicated high factors of safety. However, before this work initiating a failure already had happened in one of the sections analyzed. The programs RocData 4.0 and RocProp, both from Rocscience, were used to estimate the Mohr-Coulomb strength parameters, and the programs AutoCAD 2004 and Microsoft Office Excel helped at the development of the input files in the Petrel 2004 and Slide 5.0.

Keywords

Open Pit Mines; Modelling; Geostatistics; Stability Analyses.

Sumário

1 Introdução	20
1.1. Motivação	20
1.2. Objetivo	21
1.3. Escopo	22
2 Caracterização e Modelagem de Maciços Rochosos de Minas a Céu Aberto	24
2.1. Considerações sobre Minas a Céu Aberto	24
2.2. Condicionantes dos Taludes de Minas	25
2.2.1. A Geometria	25
2.2.2. A Geologia Local	27
2.2.3. A Água Subterrânea	29
2.2.4. O Estado de Tensão nos Taludes	30
2.3. Caracterização Geomecânica de Taludes Rochosos	32
2.4. Propriedades de Resistência	34
2.4.1. Resistência das Rochas Intactas	34
2.4.2. Resistência das Descontinuidades	35
2.4.3. Resistência de Maciços Rochosos	36
2.5. Sistemas de Classificação de Maciços Rochosos	42
2.6. Modelagem Geológica e Geomecânica de Maciços Rochosos	45
2.7. Estabilidade de Taludes	48
3 Caracterização Geotécnica da Mina de Morro da Mina	52
3.1. Mina de Morro da Mina	52
3.2. Geologia da Área	54
3.2.1. Litotipos da Cava	58
3.2.2. Feições Estruturais	60
3.2.2.1. Bandamento Composicional S_0	61
3.2.2.2. Xistosidade S_n	61
3.2.2.3. Clivagem de Crenulação S_{n+1}	62
3.2.2.4. Foliação Milonítica S_m em Zonas de Cisalhamento	63
3.2.2.5. Falhas/Fraturas	64
3.2.2.6. Eixos de <i>Boudin</i> δ_n	66

3.2.2.7. Eixos de Dobras β_n	66
3.3. Modelagem Geomecânica e Hidrogeológica da Mina	67
3.3.1. Investigações Geotécnicas da Área da Cava	67
3.3.2. Setorização Geomecânica do Maciço da Cava	70
3.3.3. Parâmetros Geomecânicos	71
3.3.3.1. Caracterização	71
3.3.3.2. Resistência	74
3.3.4. Ocorrência de Intemperismo	78
3.3.5. Investigações Hidrogeológicas da Área da Cava	79
3.3.5.1. Inventário dos Pontos D'Água	79
3.3.5.2. Análise Hidroquímica	80
3.3.5.3. Sistemas Aqüíferos	81
3.3.6. Parâmetros Hidrodinâmicos	82
3.3.7. Modelo Geomecânico Existente	84
3.3.8. Modelo Hidrogeológico Existente	84
4 Modelagem Geológica e Geomecânica 3D da Mina Utilizando o Software	
Petrel 2004	86
4.1. Metodologia	86
4.2. Considerações sobre o Software Petrel	86
4.3. Análise dos Dados Recebidos	88
4.4. Material Utilizado na Modelagem	88
4.5. Arquivos de Entrada	89
4.6. Modelo Geométrico 3D da Mina	90
4.7. <i>Upscaling</i> dos Dados	92
4.8. Modelo Geológico 3D da Mina	93
4.8.1. Análise Crítica dos Resultados	98
4.9. Análise Geoestatística e Modelagem Geomecânica 3D da Mina	99
4.9.1. Análise Estatística	99
4.9.2. Análise Estrutural	102
4.9.3. Análise Crítica dos Resultados	108
4.9.4. Krigagem e Modelo Geomecânico 3D da Mina de Morro da Mina	109
4.9.5. Análise Crítica dos Resultados	115
5 Análises de Estabilidade dos Taludes da Mina	117
5.1. Mecanismos Potenciais de Ruptura	117
5.1.1. Estudo das Descontinuidades Preocupantes	117

5.1.2. Orientação dos Taludes em Relação às Descontinuidades	123
5.2. Análises de Estabilidade Cinemáticas	124
5.2.1. Análise Crítica dos Resultados	130
5.3. Análises de Estabilidade por Equilíbrio Limite de Seções Típicas	131
5.3.1. Análise Crítica dos Resultados	141
6 Conclusões e Sugestões	144
6.1. Conclusões	144
6.2. Sugestões	147
Referências Bibliográficas	149
Anexos	157

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Esquema de uma mina com seus elementos (Abrão & Oliveira, 2004)	26
Figura 2.2 – Parâmetros que definem a geometria de uma mina a céu aberto	26
Figura 2.3 – Superfície de ruptura complexa, governada pelas descontinuidades menores e maiores, e as pontes de rocha (Hoek et al., 2000, modificada por Zea & Celestino, 2004)	29
Figura 2.4 – Resistência à Compressão Uniaxial e Classes de Alteração (Vaz, 1996)	34
Figura 2.5 – Estimativa de GSI para maciços rochosos fraturados (Marinos et al., 2005)	39
Figura 2.6 – Estimativa de GSI para maciços rochosos heterogêneos (<i>Flysch</i>) (Marinos et al., 2005)	40
Figura 3.1 – Localização da Mina Morro da Mina e todo seu complexo (VALE, 2006)	53
Figura 3.2 – Produtos da mina (VALE, 2006). Figura a: LG13 – Minério de Manganês Carbonatado Granulado (entre 6,30mm e 75,00mm); Figura b: LF01 – Minério de Manganês Carbonatado Fino (6,30mm)	53
Figura 3.3 – Cenário deposicional originador dos corpos de manganês (Geoexplore, 2005)	55
Figura 3.4 – Contato tectônico do minério de manganês sílico-carbonatado com granitóide, envolvido por um dobramento isoclinal assimétrico, em zona de cisalhamento com biotita xisto carbonoso (Geoexplore, 2005)	57
Figura 3.5 – Diagrama estrutural de pólos de S_0 dos Setores da mina (Geoexplore, 2005)	61
Figura 3.6 – Diagrama estrutural de pólos de S_n dos Setores da mina (Geoexplore, 2005)	62
Figura 3.7 – Exemplos de Clivagem de Crenulação. Figura a: clivagem de crenulação observada na zona de charneira de uma dobra maior (as dobras nos microlitons são simétricas); Figura b: clivagem de crenulação observada num flanco de uma dobra maior (as microdobras são assimétricas)	63

Figura 3.8 – Zona de Cisalhamento em biotita-feldspato-quartzo xisto, com porfiroblastos estirados e sombras de pressão em sua cauda (Geoexplore, 2005)	64
Figura 3.9 – Estilo de falhamento oblíquo em Zona de Cisalhamento, no biotita xisto grafitoso (Geoexplore, 2005)	65
Figura 3.10 – Diagramas estruturais de planos de falhas para os setores da mina (Geoexplore, 2005)	65
Figura 3.11 – Exemplo de <i>slickenside</i> . O bloco que assenta sobre a superfície observada deslocou-se da esquerda para a direita, relativamente ao bloco inferior. A seta indica o sentido do bloco de cima	65
Figura 3.12 – Exemplos de <i>Boudin</i> . À esquerda: exemplo geral de <i>boudin</i> . À direita: Formas de <i>boudinage</i> em biotita xisto grafitoso – Mina de Morro da Mina (Geoexplore, 2005)	66
Figura 3.13 – Em planta, dobramento isoclinal simétrico com eixos verticalizados (Geoexplore, 2005)	67
Figura 3.14 – Posição dos 39 furos de sondagem efetivamente usados, em relação à mina	69
Figura 3.15 – Setorizações da mina: Geoexplore (2005) – Setores I, II e III; SBC (2001) – Setores SW1, SW2, NW e NE	71
Figura 3.16 – Visualização dos taludes da cava com as direções cardeais e colaterais aproximadas (Vale, 2006)	78
Figura 3.17 – Visualização dos taludes da cava com as direções colaterais aproximadas (Vale, 2006)	79
Figura 3.18 – Visualização da posição das nascentes na cava da mina	80
Figura 4.1 – Geometria da Cava da mina de Morro da Mina	90
Figura 4.2 – Visualização das posições das bocas dos furos e suas trajetórias – vista de cima da cava	91
Figura 4.3 – Visualização espacial das trajetórias dos furos de sondagens	91
Figura 4.4 – Informações ao longo dos furos de sondagens – RQD	92
Figura 4.5 – <i>Upscaling</i> RQD	93
Figura 4.6 – Seqüência de furos de sondagem e <i>Well Tops</i>	94
Figura 4.7 – <i>Horizons</i> intermediários – vista do Sul	97
Figura 4.8 – <i>Horizons</i> intermediários – vista do Nordeste	98
Figura 4.9 – Transformação <i>1D Trend</i> para a variável Q, Zona 3, representando o ajuste mais difícil desta transformação – FC = 0,148759	100

Figura 4.10 – Transformação <i>1D Trend</i> para a variável RQD, Zona 1, representando o melhor ajuste desta transformação – FC = 0,70704	100
Figura 4.11 – Transformação <i>Normal Score</i> para a variável Q, Zona 1, representando o ajuste mais difícil desta transformação – Min = -1,592, Max = 6,69, $\sigma = 0,99986$	101
Figura 4.12 – Transformação <i>Normal Score</i> para a variável RMR, Zona 1, representando o melhor ajuste desta transformação – Min = -3,262, Max = 3,484, $\sigma = 0,99986$	102
Figura 4.13 – Semivariograma representando um mau ajuste para a <i>Major Direction</i> , variável RQD, Zona 1 – <i>Sill</i> = 0,785	103
Figura 4.14 – Semivariograma representando um bom ajuste para a <i>Major Direction</i> , variável C, Zona 1 – <i>Sill</i> = 1	104
Figura 4.15 – Semivariograma representando um mau ajuste para a <i>Minor Direction</i> , variável RQD, Zona 3 – <i>Sill</i> = 0,724	104
Figura 4.16 – Semivariograma representando um bom ajuste para a <i>Minor Direction</i> , variável RMR, Zona 1 – <i>Sill</i> = 1	105
Figura 4.17 – Semivariograma representando um mau ajuste para a <i>Vertical Direction</i> , variável RQD, Zona 3 – <i>Sill</i> = 0,785	105
Figura 4.18 – Semivariograma representando um bom ajuste para a <i>Vertical Direction</i> , variável PHI, Zona 3 – <i>Sill</i> = 1	106
Figura 4.19 – Modelo Geomecânico 3D da mina de Morro da Mina – RQD – vista de cima da cava	110
Figura 4.20 – Demais vistas e cortes da mina – RQD	110
Figura 4.21 – Modelo Geomecânico 3D da mina de Morro da Mina – Q – vista de cima da cava	111
Figura 4.22 – Demais vistas e cortes da mina – Q	111
Figura 4.23 – Modelo Geomecânico 3D da mina de Morro da Mina – RMR – vista de cima da cava	112
Figura 4.24 – Demais vistas e cortes da mina – RMR	112
Figura 4.25 – Modelo Geomecânico 3D da mina de Morro da Mina – c' (MPa) – vista de cima da cava	113
Figura 4.26 – Demais vistas e cortes da mina – c' (MPa)	113
Figura 4.27 – Modelo Geomecânico 3D da mina de Morro da Mina – ϕ' (°) – vista de cima da cava	114
Figura 4.28 – Demais vistas e cortes da mina – ϕ' (°)	114

Figura 5.1 – Comparações entre os resultados dos mapeamentos de foliações da Geoexplore (2005) e SBC (2001)	118
Figura 5.2 – Comparações entre os resultados dos mapeamentos de falhas/fraturas da Geoexplore (2005) e SBC (2001)	118
Figura 5.3 – Comparação entre os estereogramas das atitudes das descontinuidades levantadas nos mapas da SBC (2001) e Geoexplore (2005) – Setor SW1	119
Figura 5.4 – Comparação entre os estereogramas das atitudes das descontinuidades levantadas nos mapas da SBC (2001) e Geoexplore (2005) – Setor SW2	120
Figura 5.5 – Comparação entre os estereogramas das atitudes das descontinuidades levantadas nos mapas da SBC (2001) e Geoexplore (2005) – Setor NW	121
Figura 5.6 – Comparação entre os estereogramas das atitudes das descontinuidades levantadas nos mapas da SBC (2001) e Geoexplore (2005) – Setor NE	122
Figura 5.7 – Resultados das análises cinemáticas – Ruptura Planar	125
Figura 5.8 – Resultados das análises cinemáticas – Ruptura Planar e Cunha	126
Figura 5.9 – Resultados das análises cinemáticas – Ruptura em Cunha	127
Figura 5.10 – Resultados das análises cinemáticas – Ruptura por Tombamento – SW1, SW2	128
Figura 5.11 – Resultados das análises cinemáticas – Ruptura por Tombamento – NW, NE	129
Figura 5.12 – Setores da cava com seus respectivos tipos de ruptura possíveis de ocorrer	130
Figura 5.13 – Representação da localização das seções escolhidas para as análises de estabilidade	133
Figura 5.14 – Utilização dos parâmetros de resistência obtidos do Petrel 2004 no programa Slide 5.0	134
Figura 5.15 – Idealização das camadas de material no programa Slide 5.0, a partir dos resultados obtidos do programa Petrel 2004, para a propriedade ϕ'	136
Figura 5.16 – Correlação entre os valores de ϕ' ($^{\circ}$) e γ (MN/m ³) assumidos para as rochas da mina de Morro da Mina	136
Figura 5.17 – Esquema ilustrativo das etapas de definição de γ para as camadas de material no programa Slide 5.0	137
Figura 5.18 – Resultados das análises de estabilidade para a Seção SW1	138
Figura 5.19 – Resultados das análises de estabilidade para a Seção SW2	139

Figura 5.20 – Resultados das análises de estabilidade para a Seção NW 140

Figura 5.21 – Visualização dos resultados do *Upscaling* e da interpolação por Krigagem da propriedade c' 142

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Métodos de Análise de Estabilidade por Equilíbrio Limite (De Campos, 1985)	50
Tabela 3.1 – Principais elementos estruturais presentes na mina	60
Tabela 3.2 – Resumo das sondagens rotativas	69
Tabela 3.3 – Setorização adotada em 2000 pela SBC (SBC, 2001)	70
Tabela 3.4 – Correlação entre os Graus de Resistência, Consistência, e Alteração (baseado em SBC (2004))	73
Tabela 3.5 – Parâmetros de Resistência estimados por SBC (2001)	74
Tabela 3.6 – Correlações para adoção do valor de GSI	75
Tabela 3.7 – Parâmetros de Resistência para as principais litologias da Mina	76
Tabela 3.8 – Coordenadas, cotas e vazões das nascentes da cava da mina	80
Tabela 3.9 – Parâmetros físico-químicos das nascentes da cava da mina	80
Tabela 3.10 – Parâmetros obtidos da interpretação do ensaio de bombeamento (T – Transmissividade, b – espessura saturada do meio, K – Condutividade Hidráulica, S – Coeficiente de Armazenamento) (MDGEO, 2001)	83
Tabela 4.1 – Tabela resumo dos ajustes dos semivariogramas para a Zona 1	106
Tabela 4.2 – Tabela resumo dos ajustes dos semivariogramas para a Zona 2	107
Tabela 4.3 – Tabela resumo dos ajustes dos semivariogramas para a Zona 3	107
Tabela 5.1 – Resultados esperados de acordo com a gênese das estruturas presentes na cava da mina de Morro da Mina	123
Tabela 5.2 – Dados para análise de estabilidade cinemática	124
Tabela 5.3 – Resumo dos resultados das análises cinemáticas	130
Tabela 5.4 – Resumo dos casos estudados	137

Lista de Símbolos

a	Constante Dependente das Características do Maciço Rochoso
b	Largura da Bancada
c	Coesão
c'	Coesão Efetiva
D	Fator de Perturbação do Maciço Rochoso
Eh	Potencial de Oxirredução
Em	Módulo de Deformação do Maciço Rochoso
FS	Fator de Segurança
H	Altura do Talude
h_B	Altura da Bancada
h_R	Altura Máxima da Inter-Rampa
h_O	Altura Máxima Global
JCS	Resistência à Compressão da Parede da Junta
JRC	Coefficiente de Rugosidade da Junta
K	Condutividade Hidráulica
m_b	Valor Reduzido da Constante Petrográfica m_i de Hoek-Brown para o Maciço Rochoso
MR	Índice de Módulo
pH	Potencial Hidrogeniônico
r	Largura da Rampa
s	Constante Dependente das Características do Maciço Rochoso
S	Coefficiente de Armazenamento
T	Transmissividade
α_B	Inclinação da Face da Bancada
α_R	Ângulo de Inter-Rampa
α_O	Ângulo Global
γ	Peso Específico da Rocha do Maciço
σ	Desvio Padrão
σ_c	Resistência à Compressão Uniaxial do Maciço Rochoso
σ_{ci}	Resistência à Compressão Uniaxial (ou Simples) da Amostra de Rocha Intacta
σ'_{cm}	Resistência à Compressão Global do Maciço Rochoso
σ'_1	Tensão Principal Maior Efetiva
σ'_3	Tensão Principal Menor Efetiva

σ'_{3max}	Tensão Principal Menor Máxima Efetiva
σ_n	Tensão Normal Efetiva
σ_t	Resistência à Tração do Maciço Rochoso
τ	Resistência ao Cisalhamento
τ_f	Resistência ao Cisalhamento
ϕ	Ângulo de Atrito da Descontinuidade, ou da Rocha
ϕ'	Ângulo de Atrito Efetivo
ϕ_j	Ângulo de Atrito da Descontinuidade
ϕ_r	Ângulo de atrito Residual da Descontinuidade
ABGE	Associação Brasileira de Geologia de Engenharia
ABMS	Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
B	Bancada
FC	Fator de Correlação
Geo	Geoexplore Consultoria e Serviços Ltda.
GSI	Geological Strength Index para o Maciço Rochoso
GTEP	Grupo de Tecnologia em Engenharia de Petróleo
ISRM	International Society for Rock Mechanics
KB	Kelly Bushing
MD	Measured Depth
NA	Nível d'Água, ou Nascente
PGTM	Projeto Geotécnico de Taludes de Mineração
Q	Quality
RDM	Rio Doce Manganês
RMR	Rock Mass Rating
RQD	Rock Quality Designation
SBC	Sérgio Brito Consultoria Ltda.
SMM	Sociedade Mineira de Mineração Ltda.
TG	Talude Global

“Sabedoria é a coisa principal. Adquire sabedoria;
e com tudo o que adquirires, adquire compreensão”,
“porque melhor é a sabedoria do que os corais, e mesmo
todos os outros agrados não se podem igualar a ela” (Pr 4:7; 8:11).