UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Proposta de correlação entre os índices SMR e Q-slope

ANDRÉ VINICIUS MAION

Dissertação apresentada ao Programa
de Geociências Geoquímica e
Geotectônica para obtenção do título de
Mestre em Ciências

Área de concentração: Geotectônica

Orientador: Prof. Dr. Marcos Egydio da
Silva

SÃO PAULO
2019

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Proposta de correlação entre os índices SMR e Q-slope

ANDRÉ VINICIUS MAION

Orientador: Prof. Dr. Marcos Egydio da Silva

Dissertação de Mestrado

Nº 832

COMISSÃO JULGADORA

Dr. Marcos Egydio da Silva

Dr. Wilson Shoji Iyomasa

Dr. Fernando Antônio Medeiros Marinho

SÃO PAULO
2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Serviço de Biblioteca e Documentação do IGc/USP

Ficha catalográfica gerada automaticamente com dados fornecidos pelo(a) autor(a)
via programa desenvolvido pela Seção Técnica de Informática do ICMC/USP

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de catalogação da publicação:
Sonia Regina Yole Guerra - CRB-8/4208 | Anderson de Santana - CRB-8/6658

Maion, André Vinicius

Proposta de correlação entre os índices SMR e Q-slope / André Vinicius Maion; orientador Marcos Egydio da Silva. -- São Paulo, 2019.
111 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica) -- Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2019.

1. Classificação de maciço rochoso. 2. Slope Mass Rating. 3. Q-slope. 4. Correlação. 5. Scanline. I. Egydio da Silva, Marcos, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Prof. Dr. Marcos Egydio da Silva, por aceitar me orientar neste projeto, e à Bruna Catarino Xavier, pelo auxílio nos trabalhos de campo.

Especial agradecimento ao Eng Luis Espinhal, Eng Clory Pacheco dos Santos e toda a equipe da mineradora Geocal, que forneceram suporte primordial para a realização deste projeto.

Gostaria de agradecer também à agência de fomento CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo patrocínio deste projeto na forma de bolsa de mestrado

A todos os amigos, companheiros de profissão, que contribuíram, de alguma forma, na realização deste projeto.

A toda minha família por todo o carinho e risadas que tornam a vida mais leve.

E à minha companheira de vida Gabriela, pelo apoio incondicional.

RESUMO

Maion, A.V., 2019, Proposta de correlação entre os índices SMR e Q-slope [Dissertação de Mestrado], São Paulo, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 111 p.

O Slope Mass Rating (SMR) e o Q-slope são métodos empíricos de projetos que foram desenvolvidos com o objetivo de auxiliar na avaliação e dimensionamento de soluções de estabilidade de taludes escavados em maciços rochosos. A obtenção de uma correlação entre tais metodologias permitiria uma ampla análise multiparamétrica de determinado talude rochoso. O objetivo deste trabalho foi aplicar e verificar a existência de correlação, tanto quantitativa quanto conceitual, entre estes dois métodos. Para tanto, os dados utilizados foram obtidos por meio de *scanlines* e análises cinemáticas em taludes localizados na mina do Vau Novo, localizada no município de Santana do Parnaíba, Região Metropolitana de São Paulo. Conceitualmente, os métodos apresentam divergências na abordagem da classificação de estabilidade do maciço rochoso, o que reflete diferenças entre os resultados obtidos pelos métodos. Entretanto, quantitativamente, os índices apresentam correlação. Considerando as diferenças entre os conceitos dos métodos estudados, este trabalho propõe uma análise de regressão entre os valores de SMR e a razão entre β (Q-slope) e o ângulo real do talude amostrado.

Palavras chave: Classificação de maciço rochoso; Slope Mass Rating; Q-slope; correlação; scanline; Santana de Parnaíba

ABSTRACT

Maion, A.V., 2019, Prupose of correlation between SMR and Q-slope indexes [Master's Thesis], São Paulo, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 111 p.

Slope Mass Rating (SMR) and Q-slope are empirical methods of projects that have been implemented in slope stability evaluation and assessment aids in rock masses. A correlation between those methods would allow a broad multiparametric analysis of rock slope study. The objective of this work was to apply and verify the existence of a correlation, quantitatively and conceptually, between these two methods. For that, the data were collected through scanlines and kinematic analyzes performed on slopes in the Vau Novo pit, located in the municipality of Santana do Parnaíba, in the Metropolitan Region of São Paulo. Conceptually, the methods present divergences in the approach to the stability classification of the rock mass, which reflects the differences between the results obtained by the methods. In spite of this, quantitatively, the indexes are correlated. Considering the differences between the methods concepts, the present study propose a regression analysis between the values of SMR and the ratio between β (Q-slope) and the real angle of the sampled slope.

Keywords: Rock mass classification; Slope Mass Rating; Q-slope; correlation; scanline; Santana de Parnaiba

SUMÁRIO

1	Introdução.....	1
1.1	Relação entre as Metodologias RMR e Q	4
1.2	Objetivos	5
1.3	Área de Estudo	6
1.3.1	Geologia regional	6
2	Material e Métodos	9
2.1	Scanline	9
2.1.1	Espaçamento	14
2.1.2	Rock Quality Designation (RQD)	15
2.2	Determinação das Famílias, dos Tipos de Ruptura e das Respectivas Famílias Condicionantes	16
2.3	SMR	18
2.4	Q-slope	22
2.4.1	O-factor	22
2.4.2	Previsão de comportamento	25
2.5	Correlação Matemática Entre os Índices de Qualidade do Maciço	28
3	Resultados e discussões	28
3.1	Coleta Obtenção e Dados	28
3.2	Análise Cinemática	31
3.3	Classificação	36
3.3.1	Comparação entre as métodos de classificações SMR e Q-slope	36
3.4	SMR	40
3.5	Q-slope	45
3.6	Análise dos Resultados	47
3.7	Correlação entre os métodos SMR e Q-slope	49
4	Conclusões e considerações	54
5	Referências	56

Anexo I – Notas e pesos dos parâmetros de RMRb	60
Anexo II – Notas e pesos dos parâmetros do Q-slope	61
Anexo III– Dados obtidos em campo através de linhas de amostragem	64
Anexo IV – Cálculos do índice SMR para todas as famílias de descontinuidades	90
Anexo V- Laudos da análise cinemática	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ângulo de atrito entre as descontinuidades (relatório interno Geocal).....	17
Tabela 2 – Tabela para a determinação de parâmetros do SMR (Romana, 1985).....	20
Tabela 3 – Fatores de ajuste para métodos de escavação (Romana, 1985).....	20
Tabela 4 – Descrição das classes de SMR (Romana, 1985)	21
Tabela 5 – Tipos de medidas de estabilização com base no índice SMR (Romana, 1993)..	21
Tabela 6 – Valores do O-factor segundo a classificação das descontinuidades (Barton e Bar, 2015)	23
Tabela 7 – Fator de ajuste do RMRb baseado na classificação das descontinuidades de Bieniaski (1976).	23
Tabela 8 – Intervalo de valores do produto dos parâmetros F1, F2 e F3 para a escolha do fator-O para rupturas do tipo planar (escolha do fator-O somente para a família A), cunha (escolha do fator-O para duas famílias) ou tombamento.....	25
Tabela 9 – Comparação entre os dados da <i>scanline</i> 5B até 30,82m e 5B de 32,51 a 50m...	29
Tabela 10 – Parâmetros calculados a partir dos dados obtidos em campo através de linhas de amostragem.....	30
Tabela 11 – Valores das famílias de descontinuidades calculados pelo algoritmo de conjuntos Fuzzy. Os dados estão expressos em notação <i>clar</i> (rumo do mergulho/mergulho)	30
Tabela 12 – Resultado do espaçamento médio e média dos espaçamentos calculado para cada família de descontinuidades. Na tabela a orientação das descontinuidades está em notação <i>clar</i> (rumo do mergulho/mergulho)	31
Tabela 13 – Porcentagem de descontinuidades que podem condicionar cada tipo de ruptura. As células destacadas indicam a maior porcentagem encontrada para cada talude.	32
Tabela 14 – Síntese dos resultados da análise cinemática.	33
Tabela 15 - Síntese da comparação entre os métodos para cálculo do SMR e Q-slope	39
Tabela 16 – Síntese dos dados de resistência à compressão uniaxial das litologias estudadas (relatório interno Geocal).	40
Tabela 17 – Cálculo do RMRb	41
Tabela 18 – Síntese do cálculo dos índices SMR. Os valores marcados em laranja são os valores escolhidos para representar cada talude.	42
Tabela 19 – Cálculo dos parâmetros e do valor do SMR para o talude 1A. o valor destacado em azul é o menor valor calculado já o e amarelo é o valor de SMR adotado como válido para o talude em questão	43

Tabela 20 - Cálculo dos parâmetros e do valor do SMR para o talude 5B_1. o valor destacado em azul é o menor valor calculado já o e amarelo é o valor de SMR adotado como válido para o talude em questão.....	44
Tabela 21 – Classificação do índice SMR em classes	45
Tabela 22 – Pesos atribuídos aos parâmetros e resultados do índice Q-slope e do ângulo β	46
Tabela 23 – Síntese dos resultados qualitativos dos métodos de classificação.	48
Tabela 24 – Resultados do índice SMR e a razão entre β e o mergulho real do talude, aferido em campo.	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –diagrama resumindo os conceitos envolvidos com os sistemas de classificação de maciços rochosos.	2
Figura 2 – Principais estudos de correlação entre os métodos RMR e Q.....	4
Figura 3 – Gráfico de dispersão de resultados de SMR e Q-slope e a linha de melhor ajuste obtida por análise de regressão. (Jorda-Bordehore et al. 2018).....	5
Figura 4 – Localização do município de Santana de Parnaíba no contexto da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). A localização aproximada da cava é marcada com o ponto azul. Imagem de satélite da cava.....	6
Figura 5 – Contexto geológico local da mina do Vau Novo (Henrique-Pinto et al., 2018).....	7
Figura 6 – Diagrama ilustrando os parâmetros amostrados ao longo da linha de <i>scanline</i> (modificado de Hudson, 1989)	10
Figura 7 – Mapa geológico da mina do Vau Novo, as linhas de <i>scanline</i> se encontram destacadas em amarelo (modificado de Pires, 2016).....	13
Figura 8 – Representação esquemática da metodologia empregada para caracterização dos taludes rochosos. Todos os termos aqui usados serão oportunamente explicados ao longo da dissertação.	14
Figura 9 – Representação esquemática que um <i>scanline</i> (modificado de Brown e Brady, 2004), onde XI é a distância entre descontinuidades medida na Linha de Amostragem; XI_0 é a distância perpendicular entre o traço de duas descontinuidades pertencentes à mesma família; α é o ângulo entre a linha imaginária perpendicular ao traço da descontinuidade com a linha de amostragem.; S é o comprimento total da linha de varredura considerada; D é a distancia entre a origem da linha de amostragem e o traço da descontinuidade; L é o semi-comprimento do traço da descontinuidade.....	15
Figura 10 – Ilustração dos parâmetros utilizados para a obtenção dos parâmetros F_1 , F_2 e F_3 . modificado de (Singh e Goel, 1999).....	20
Figura 11 – Diagrama para determinação do tipo de ruptura crítica e do valor da multiplicação de F_1 , F_2 e F_3	25
Figura 12 – Gráfico que correlaciona o resultado do índice Q-slope, o ângulo de inclinação do talude e o seu comportamento observado.	27
Figura 13 – Gráfico de estabilidade de talude baseado no Q-slope (Bar e Barton, 2015)	27
Figura 14 – Análise cinemática das famílias de descontinuidades dos taludes 1A,2A,3A,1B	34
Figura 15 – Análise cinemática das famílias de descontinuidades dos taludes 2B, 3B, 4B e 5B_1	35
Figura 16 – Análise cinemática das famílias de descontinuidades dos taludes 5B_2 e 2C ..	36

Figura 17 – Foto do talude 1A e seu entorno. É possível observar descontinuidades paralelas ao talude.....	43
Figura 18 – Gráfico de previsão de estabilidade de talude utilizando Q-slope e o ângulo de mergulho do talude amostrado.....	47
Figura 19 – Correlação logarítmica entre SMR e Q-slope.....	49
Figura 20 – Relação entre Q-slope e SMR (Jorda-Bordehore et al., 2018)	50
Figura 21 – Correlação polinomial entre o índice SMR e a razão entre β e o ângulo do talude amostrado.....	52
Figura 22 – Ilustração esquemática da sobreposição de conceitos adotados pelos métodos SMR e Q-slope (modificado de Romana, 1985).....	53

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de projetos de engenharia em maciços rochosos é uma tarefa complexa, pois é necessário estimar o comportamento do maciço, frente à intervenção a ser executada. Para isso são realizadas diferentes etapas de caracterização, tanto qualitativa quanto quantitativa, das propriedades e parâmetros de determinado maciço rochoso. Tais dados são processados com diferentes ferramentas. Os sistemas de classificação de maciços rochosos representam um tipo de ferramenta de processamento de dados de caracterização geológica (GeoEng2000 Workshop, 2001).

Os sistemas de classificação de maciços rochosos são métodos empíricos, ou seja, foram desenvolvidos de acordo com a percepção e experiência de seus respectivos autores de forma que, a partir da observação e quantificação de determinados parâmetros do maciço rochoso, classificam-se de acordo com seu comportamento perante determinada intervenção de engenharia. Tais métodos visam avaliar a qualidade geotécnica do maciço rochoso de acordo com o comportamento inferido desse maciço diante determinada intervenção de engenharia, sobretudo, para elaborar projetos de estabilização. Para isso, as classificações geomecânicas ranqueiam os maciços rochosos em função do denominado “índice de qualidade do maciço”. Para a obtenção deste índice, as metodologias de classificação de maciços, em geral, utilizam a seguinte sistemática:

- combinam os efeitos dos diferentes parâmetros geológicos pré-determinados pela metodologia e;
- atribuem notas e pesos para cada parâmetro caracterizado, de acordo com a importância relativa para o comportamento do maciço atribuído pelo método. A soma dessas notas fornece o “índice de qualidade do maciço”.

Para cada faixa de valores do “índice de qualidade do maciço”, está atrelada uma previsão de como será o comportamento do maciço. A Figura 1 sintetiza os conceitos envolvidos nos sistemas de classificação de maciços.

A aplicação desse tipo de ferramenta se mostra muito útil nas fases de projeto e de pré-construção de uma escavação subterrânea, principalmente quando não há muitos dados disponíveis sobre determinado maciço rochoso, ou onde se espera

que os parâmetros do maciço em profundidade serão substancialmente diferentes dos aferidos em superfície, partir de rochas aflorantes. (Goel and Singh, 2011).

Figura 1 –diagrama resumindo os conceitos envolvidos com os sistemas de classificação de maciços rochosos.

A primeira referência ao uso de um sistema de classificação de maciço rochoso para fins de engenharia de túneis é a teoria de carga de rocha (Terzaghi, 1943). Wickham et al. (1974) publicaram um sistema de classificação que atribui notas e pesos aos diversos parâmetros que, no julgamento dos autores, influenciam a estabilidade de um maciço rochoso.

Desde então, muitos sistemas empíricos foram desenvolvidos para estimar o comportamento de maciços rochosos, entre eles: o Rock Mass Rating (RMR) (Bieniawski, 1973), Rock Tunneling Quality Index (Q) (Barton et al., 1974), Geological Strength Index (GSI) (Hoek and Brown, 1997) e o Rock Mass Index (RMI) (Palmström, 1995).

Também há métodos desenvolvidos especificamente para avaliação de taludes, por exemplo: Slope Mass Rating (SMR) (Romana, 1985), Rock Slope Deterioration Assessment (RDA) (Hack, 2002), Falling Rock Hazard Index (FRHI) (Singh, 2004), Mining Rock Mass Rating (MRMR) (Laubscher, 1990) e Continuous Slope Mass Rating (Tomás et al., 2007). Entre estes, o método mais conhecido é o SMR elaborado por Romana (1985). Esse sistema foi baseado no RMR (Bieniawski, 1973) e foi recomendado por Bieniawski em 1989. Recentemente Bar e Barton (2017) publicaram o Q-slope, um método empírico de classificação de taludes rochosos, que foi desenvolvido baseado no sistema Q (Barton et al. 1974).

A efetividade de tais métodos, para um maciço específico, depende da sua semelhança com as premissas e condições dos casos em que os sistemas foram baseados (Stille e Palmström, 2003). Bieniawski (1989) aconselha o uso de pelo menos dois sistemas de classificação, pois estes se utilizam de diferentes métodos e parâmetros de entrada, que refletem as diferentes visões de cada autor, proporcionando aos usuários dessas metodologias uma análise crítica dos resultados obtidos.

Segundo Ojima (1982), um sistema de classificação que adota critérios científicos deve fornecer dados verificáveis e reproduzíveis, compatíveis com dados produzidos por outro método, sensível às ordens de grandeza do fenômeno estudado, podendo ser aplicado a todo tipo de combinações do fenômeno e fornecendo informações relevantes ao estudo. Partindo deste pressuposto é possível estabelecer uma correlação verdadeira entre os sistemas de classificação de maciços rochosos.

Uma vez que uma correlação verdadeira for estabelecida, é possível obter o índice de um sistema de classificação a partir de um outro sistema, isso permitirá economizar tempo e esforço na obtenção de duas classificações distintas, além de possibilitar a execução de uma análise multiparamétrica de um maciço rochoso permitindo uma análise ampla. Em um cenário onde existem muitas incertezas e falta de dados esta relação poderia ser de grande serventia.

A primeira correlação entre dois métodos, proposta por Bieniawski (1976), correlacionou os métodos RMR e Q por meio de uma reta de regressão linear. Desde então muitos autores têm apresentado diferentes correlações entre RMR e Q baseadas em análises de regressão obtidas em projetos de escavação subterrânea em diferentes partes do mundo.

1.1 Relação entre as Metodologias RMR e Q

Diversos autores – Bieniawski (1976), Rutledge e Preston (1978), Moreno Tallon (1980), Abad et al. (1984), Sari e Pasamehmetoglu (2004) e Hashemi et al. (2010, 2017) – se dedicaram a correlacionar os dois sistemas de classificação de túneis mais difundidos, o RMR e o Q, e a determinar fórmulas matemáticas que correlacionem os dois sistemas. Tais correlações foram deduzidas empiricamente a partir de análises de regressão linear de uma série de resultados de RMR e Q obtidos em maciços rochosos inseridos nos mais diversos contextos geológicos espalhados pelo mundo. Estes estudos deduziram diferentes fórmulas para correlacionar os métodos RMR e Q (Figura 2), o que significa que a validade destas correlações é fortemente atrelada aos dados dos quais as correlações foram deduzidas. Desta forma, a correlação entre as metodologias também está atrelada à qualidade da amostragem e do tratamento e interpretação dos dados obtidos dos maciços rochosos.

Apesar dos vários fatores que influenciam a correlação, os estudos convergem no ponto em que a equação que melhor correlaciona os dados destes dois sistemas é uma função logarítmica, com base neperiana, de primeiro grau.

Figura 2 – Principais estudos de correlação entre os métodos RMR e Q.

Os sistemas SMR e Q-slope, assim como o RMR e Q, são métodos empíricos de projetos para classificação de maciços rochosos, visando elaborar projetos de contenção e tratamento sobretudo de escavações subterrâneas. Entretanto, diferentemente do RMR e do Q, os métodos SMR e Q-slope foram desenvolvidos especificamente para estimar a estabilidade de taludes rochosos.

Jorda-Bordhore et al. (2018) realizaram uma análise de regressão linear para resultados de SMR e Q-slope obtidos de taludes localizados na Bolívia, Equador, Laos, Peru e Espanha (Figura 3). Tal estudo obteve como resultado a função abaixo:

$$SMR = 7,4219(Qslope) + 47,196$$

Figura 3 – Gráfico de dispersão de resultados de SMR e Q-slope e a linha de melhor ajuste obtida por análise de regressão. (Jorda-Bordhore et al. 2018)

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho foi aplicar e comparar empiricamente os métodos SMR e Q-slope, de forma a determinar a existência de correlação entre os métodos e a obter uma função matemática que os correlacione, a partir de dados obtidos em taludes situados na mina do Vau Novo (Santana do Parnaíba, SP).

1.3 Área de Estudo

O presente trabalho foi desenvolvido na Mina do Vau Novo, localizada no município de Santana de Parnaíba, região metropolitana de São Paulo (Figura 4). A mina do Vau Novo é de propriedade da mineradora Geocal Mineração Ltda, que se encontra ativa, sua principal atividade consiste na extração de metacalcários para indústria agrícola.

Figura 4 – Localização do município de Santana de Parnaíba no contexto da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). A localização aproximada da cava é marcada com o ponto azul. Imagem de satélite da cava.

1.3.1 Geologia regional

O Grupo São Roque, de idade paleoproterozoica, pertence ao bloco tectônico Domínio Apiaí-São Roque, que é constituído por sequências metavulcanosedimentares (Campos Neto, 2000), delimitado a norte pelas rochas metamórficas de alto grau da Nappe Socorro-Guaxupé, relacionada com a Faixa Brasília, e a sul pelo Domínio Embu, relacionado com o Faixa Ribeira (Henrique-Pinto, 2012).

O Domínio São Roque pode ser subdividido em Grupo São Roque e Grupo Serra do Itaberaba. O Grupo São Roque é mais novo do que o Grupo Serra do Itaberaba (Juliani et al., 2000; Henrique-Pinto et al., 2018).

O Grupo São Roque, na área de estudo, tem em sua base a Formação Pirapora do Bom Jesus, composta por rochas metavulcânicas na base e

metacalcários e metadolomitos no topo; a Formação Estrada dos Romeiros, formada por metarritimitos, metarenitos e membros conglomeráticos com localizadas ocorrências de filitos e metamáficas; e a Formação Boturuna, composta por quartzitos, metarenitos e metassiltitos (Bergmann, 1988) (Figura 5).

Figura 5 – Contexto geológico local da mina do Vau Novo (Henrique-Pinto et al., 2018)

Entretanto (Henrique-Pinto et al. 2018) estabeleceram em 1760 ± 17 Ma a idade das rochas metavulcânicas ácidas pertencentes a Formação Boturuna. Essa datação corrobora com a hipótese de Henrique-Pinto et al. (2015) que, à luz de novos dados geocronológicos e litoestratigráficos, sugere um novo agrupamento das sequências litoestratigráficas do Grupo São Roque, na qual a formação basal seria formada pela Formação Boturuna, seguida de rochas vulcanossedimentares

calimiana (1600 – 1400Ma), representada pela Formação Pirapora do Bom Jesus seguida por turbiditos plataformais (Formação Piragibu)

As rochas na região da área de estudo encontram-se deformadas formando uma estrutura sinclinal denominada Sinclinório de Pirapora. Essa estrutura possui traço axial N60-70E e caimento E-NE (Bistrichi, 1984). A mina do Vau Novo encontra-se entre o núcleo e a parte interna do flanco sul do sinclinório, onde predominam filitos, xistos e metadolomitos (Figura 5).

As rochas na região do Sinclinório de Pirapora são afetadas por dobras anticlinais recumbentes que definem os contatos entre as unidades e condicionam a sua aparente repetição.

Bistrichi (1984) reconhece três fases de deformação: F1 caracterizada por dobras fechadas a cerradas evidenciadas pela clivagem plano-axial no acamamento relíquiar; F2 representada por dobras de diversas escalas com eixos sub-horizontais e dobras abertas, representas a foliação principal dá área: F3 é caracterizada por dobras abertas com eixos sub-horizontais, superpostas a dobras F2. Bergmann (1988) interpreta que as rochas dessa região sofreram cinco eventos deformacionais. F1 desenvolve uma clivagem ardosiana paralela a S0; F2 consiste na articulação de dobras anticlinais recumbentes com vergência NW; F3 tardia ao metamorfismo regional se apresenta como clivagem plano-axial espaçada com eixos de atitude NE e W; F4 e F5 são pós-metamórficas e são evidenciadas por dobras de abrangência regional, como o Sinclinório de Pirapora.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os métodos de classificação de maciços exigem uma caracterização criteriosa de forma que possam representar de forma fidedigna uma porção homogênea do maciço. Bieniaswski (1989) destaca que a aplicação de sistemas de classificação pode se tornar um exercício sem sentido se a caracterização geológica, na qual é baseada, for inadequada ou inexata. Assim neste trabalho foram empregados métodos e técnicas que possibilitaram a adequada caracterização do maciço rochoso.

2.1 Scanline

O trabalho de reconhecimento avaliou aspectos geológico-geotécnicos do maciço rochoso escavado além de condições de segurança e acesso aos taludes. Também foram revisitados pontos da mina estudados e descritos na bibliografia por Viana (2015) e Pires (2016). Com base nestas avaliações e considerações foram escolhidos três taludes nomeados de 1A, 2A e 3A nos quais foram executados levantamento de dados. O levantamento de dados foi executado de forma unidimensional utilizando-se da técnica do *scanline*. Segundo Brown e Brady (2004) a técnica de *scanline*, ou linha de varredura, confere uma sistemática e um melhor controle na obtenção dos dados das descontinuidades, e por esse motivo é considerada uma boa técnica de campo.

Para auxiliar neste levantamento de dados foram utilizados: bússola do tipo Clar, trena de fibra de vidro de 10 metros de comprimento e trena com fita metálica com 5 metros de comprimento.

O método do *scanline* foi executado conforme descrito por Piteau (1970) e Brown e Brady (2004). A trena de 10 metros de comprimento foi esticada e presa ao talude por apoios espaçados a cada 3 metros. Foram anotados parâmetros qualitativos e quantitativos da rocha e de todas as descontinuidades que intersectam a linha de amostragem, conforme ilustrado na Figura 6. Em observação ao método do *scanline*, somente foram analisadas as descontinuidades naturais, as descontinuidades induzidas pelos métodos de escavação e desmonte foram desconsideradas.

Figura 6 – Diagrama ilustrando os parâmetros amostrados ao longo da linha de *scanline* (modificado de Hudson, 1989)

Conforme ilustrado na Figura 6 Os parâmetros mensurados nesta etapa foram:

- Distância ao início da fita graduada: é a distância em metros (arredondado para o centímetro mais próximo) do início da linha de varredura até o ponto de intersecção com a descontinuidade (representado pela letra D na Figura 6).
- Orientação: todas as descontinuidades consideradas naturais, que interceptaram a linha de amostragem, tiveram suas atitudes medidas com o auxílio de bússola.
- Medida de semi-comprimento: é a distância em metros entre o ponto de intersecção com a linha de varredura até o fim da linha de descontinuidade. A distância foi medida diretamente, com o auxílio da trena metálica de 5 metros de comprimento. Conforme recomendado por Priest (1993), foi registrado somente o comprimento acima da fita métrica (Figura 6).
- Terminação: tipo de terminação que apresenta a extremidade da descontinuidade. Preconiza-se (ISRM, 1978) que esta classificação seja realizada da seguinte forma:
 - I → Descontinuidades terminadas em rocha
 - A → Descontinuidades terminadas em outra descontinuidade
 - O → Terminação obscura ou o traço excede os limites do afloramento

- Rugosidade: a rugosidade de uma superfície de descontinuidade foi estimada visualmente de acordo com os perfis padrões de rugosidade estabelecidos pela ISRM (1978).
- Curvatura: as ondulações dos planos das descontinuidades foram estimadas visualmente e descritas de acordo com a ISRM (1978).
- Abertura: a distância perpendicular entre as paredes de descontinuidades foi medida com o auxílio da trena
- Infiltração e enchimento: o fluxo de água assim como o material depositado no espaço entre as paredes das descontinuidades foram aferidos e descritos empregando-se as recomendações da ISRM (1978)

Apesar do método de *scanline* ser sistemático, exige do profissional que o executa certo nível de interpretação e observação. Assim, a experiência do profissional influencia no resultado da caracterização e classificação de um determinado maciço rochoso, uma vez que a interpretação de um profissional pode ser completamente diferente a de outro em decorrência das experiências de cada um (Bieniawski, 1989). Devido à subjetividade e viés que ocorre quando uma única equipe caracteriza um maciço rochoso, este trabalho se utilizou de dados e interpretações de outros dois trabalhos realizados na mesma mina, afim de diminuir o viés que possa existir na amostragem dos parâmetros. Dados de outros sete *scanlines* foram obtidos da bibliografia, sendo cinco (1B, 2B, 3B, 4B, 5B) obtidas da monografia de formatura elaborado por Pires (2016), e uma (2C) da dissertação de mestrado desenvolvida por Viana (2015). Desta forma as linhas de amostragem abrangeram quatro litologias diferentes, conforme mapa da Figura 7

As linhas de amostragens 1A, 2A, 3A, 5B e 2C estão inseridas na litologia brecha dolomítica. A rocha apresenta cor cinza escuro a preta, frequentemente cortada por vênulas de calcita branca. Próxima ao planos de falha pode apresentar foliação. Por ser o principal material lavrado na pedreira essa litologia apresenta-se quase sempre sã.

Os *scanlines* 3B e 4B amostraram taludes constituídos por metarritimitos carbonáticos. Essa litologia apresenta bandamento composicional, milimétricas a centimétricas, com bandas cinza escuro e pretas intercaladas a bandas cinza claro. Esta unidade se apresenta, em sua maioria, pouco alterada.

O talude relativo ao *scanline* 1B é constituído por metarenito com intercalação de metassiltito. Essas rochas, quando alteradas, apresentam coloração bastante

variada, tons esbranquiçados, avermelhados e arroxeados, em regiões menos alteradas apresentam cor acinzentada. A foliação nesta unidade é bem desenvolvida.

A linha de amostragem 2B coletou informações da unidade dos metassiltitos. Esta litologia é formada essencialmente por sedimentos pelíticos. Em geral se apresenta intemperizada, com cores avermelhadas, amarronzadas.

Os dados fornecidos pelos *scanlines* foram processados de forma a se obter os vários parâmetros que os sistemas SMR e Q-slope exigem para os cálculos de seus índices, como: persistência, espaçamento, Rock Quality Designation (RQD), número de famílias de descontinuidades, tipo de ruptura e suas respectivas famílias condicionantes.

O processo metodológico empregado e sua forma de aplicação para avaliar e obter os parâmetros requeridos pelo SMR e Q-slope estão ilustrados no fluxograma da Figura 8.

Figura 7 – Mapa geológico da mina do Vau Novo, as linhas de *scanline* se encontram destacadas em amarelo (modificado de Pires, 2016)

Figura 8 – Representação esquemática da metodologia empregada para caracterização dos taludes rochosos. Todos os termos aqui usados serão oportunamente explicados ao longo da dissertação.

Após ter sido atribuído a cada talude estudado um valor de SMR e Q-slope foi preciso estabelecer uma correlação matemática para se medir a força desta correlação, para isto foram utilizados métodos estatísticos apropriados.

2.1.1 Espaçamento

Como ilustrado na Figura 9 o espaçamento é dado pela fórmula (ISRM, 1978):

$$X_{I0} = X_i . \text{sen } \alpha$$

onde X_i é a distância entre descontinuidades medida na linha de amostragem; X_{I0} é a distância perpendicular entre o traço de duas descontinuidades pertencentes à mesma família e; α é o ângulo entre a linha imaginária perpendicular ao traço da descontinuidade com a linha de amostragem.;

Entretanto, os valores de espaçamento foram obtidos segundo Priest e Hudson (1981), que afirmaram que este parâmetro pode ser obtido através de amostragens lineares utilizando a fórmula:

$$X = S/N$$

onde S é o comprimento da linha de amostragem, N é o número de descontinuidades que interceptam o *scanline*. Ainda segundo os autores a média dos espaçamentos ($\bar{x}$) amostrados é dada pela fórmula:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n}$$

onde X_i é o i ésimo valor de espaçamento medido e n é a quantidade de espaçamentos entre descontinuidades interceptadas pela linha de amostragem.

Figura 9 – Representação esquemática que um scanline (modificado de Brown e Brady, 2004), onde X_i é a distância entre descontinuidades medida na Linha de Amostragem; X_{i0} é a distância perpendicular entre o traço de duas descontinuidades pertencentes à mesma família; α é o ângulo entre a linha imaginária perpendicular ao traço da descontinuidade com a linha de amostragem.; S é o comprimento total da linha de varredura considerada; D é a distancia entre a origem da linha de amostragem e o traço da descontinuidade; L é o semi-comprimento do traço da descontinuidade

2.1.2 Rock Quality Designation (RQD)

O RQD (Deere et al., 1967) é um índice de qualidade do maciço baseado no grau de fraturamento obtido indiretamente a partir do número de fraturas e no grau de alteração da rocha observado em testemunhos de sondagens.

O RQD é calculado pela razão entre a soma dos pedaços de testemunhos de rocha com mais de 10 centímetros de comprimento, resistentes a ruptura com a

mão, delimitados por descontinuidades naturais, pelo comprimento total da manobra realizada pela sondagem.

Assim, o RQD é a porcentagem da amostragem linear que contém rochas intactas maiores que 10 centímetros (Deere, 1967).

Analogamente, diversos autores desenvolveram metodologias para quantificação do fraturamento do maciço rochoso. Estes mesmos autores elaboraram relações matemáticas com o RQD. Entre eles, Priest e Hudson (1976) desenvolveram o chamado RQD teórico (RQD*) que pode ser obtido por meio de linhas de amostragem.

O RQD teórico pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$RQD^* = 100e^{-0,1\lambda}(0,1\lambda + 1)$$

onde λ é igual ao número de descontinuidades por metro encontradas em uma amostragem linear.

Segundo Deere e Deere (1989) o RQD* é parâmetro que melhor se correlaciona com o RQD. Assim nesta dissertação foi utilizado o RQD* para inferir o valor do RQD.

2.2 Determinação das Famílias, dos Tipos de Ruptura e das Respectivas Famílias Condicionantes

Para cada linha de amostragem foi determinado o número de famílias de descontinuidades presentes, tipos de ruptura plausíveis de ocorrer e respectivas famílias condicionantes. As análises necessárias para a determinação destes aspectos foram realizadas com o auxílio do *software Dips 6.0* da Rocscience.

Para a determinação das famílias de descontinuidades presentes em cada uma das porções dos taludes estudados foram determinados pelo algoritmo do *software Dips* que é baseado no algoritmo de agrupamento fuzzy (Hammah e Curran, 1998).

Para a determinação dos tipos de ruptura e respectivas famílias condicionantes foi utilizado a análise cinemática ou teste de Markland (Markland, 1972 apud Goodman, 1980).

A análise cinemática é o estudo do movimento dos corpos sem considerar as forças que causam o movimento. Esta análise leva em consideração somente orientação do talude e das descontinuidades além do ângulo de atrito entre elas. O ângulo de atrito das descontinuidades foi obtido por relatório geotécnico interno disponibilizado pela Geocal Mineração Ltda (Tabela 1).

Tabela 1 – Ângulo de atrito entre as descontinuidades (relatório interno Geocal)

Litotipo	Ângulo de atrito
Metarenito com intercalações de metassiltito	39,44°
Metarritmito	24,69°
Metarritmito Carbonático	40,19°
Brecha dolomítica	35,34°

O *software Dips* fornece como resultado da análise cinemática, além dos estereogramas, uma tabela, para cada tipo de ruptura, com a porcentagem e número total de polos de descontinuidades inseridas na área crítica do estereograma, ou seja: dizer que um polo de descontinuidade se encontra na área crítica do estereograma para determinado tipo de ruptura, significa que o respectivo plano da descontinuidade apresenta condições cinemáticas de condicionar determinado tipo de ruptura. O *software* contabiliza quantos polos de descontinuidades do total de dados amostrados estão inseridos na zona crítica e a qual família pertencem. Desta forma, o *Dips* fornece subsídio para se afirmar qual é o tipo de ruptura com maior probabilidade de ocorrer e qual a família de descontinuidade é a mais crítica para a estabilidade de um talude.

Para o presente estudo, foi considerado o tipo de ruptura com a maior probabilidade de ocorrência em determinado talude aquele que apresentou o maior número de planos de descontinuidades com potencial para condicionar instabilidades.

No caso das rupturas planar e por tombamento, uma família de descontinuidades foi considerada a mais crítica para a estabilidade de determinado talude quando esta apresentou a maior porcentagem, do total, de polos com características consideradas propícias a condicionar um destes tipos de ruptura.

No caso da ruptura em cunha, determinada família foi considerada a mais crítica do talude quando esta família era integrante dos dois pares de descontinuidades com maior porcentagem de intersecções suscetíveis a condicionar este tipo de ruptura. Outro fator analisado foi em qual área crítica do estereograma as intersecções das descontinuidades estavam plotadas, área crítica 1 ou 2. Neste tipo de ruptura existem duas zonas críticas: primária e secundária ou 1 e 2, respectivamente. A zona crítica 1 é onde as cunhas de rocha podem escorregar de duas maneiras: ao longo da linha de intersecção de dois planos de descontinuidades ou; segundo Hocking (1976), as cunhas podem escorregar sobre um dos planos de

descontinuidade. Na zona crítica secundária as cunhas de rocha sempre escorregam sobre o plano de descontinuidade que possua inclinação maior do que o ângulo de atrito entre a cunha e o maciço.

No caso de as intersecções críticas estarem plotadas nestas duas zonas críticas, a cunha formada sempre escorregará sobre uma das superfícies de descontinuidade.

2.3 SMR

O índice SMR desenvolvido por Romana (1985) é calculado por quatro fatores empíricos de ajuste adicionados ao índice RMR básico (RMR_b) proposto por Bieniawski (1976) e modificado diversas vezes ao longo dos anos.

Estes fatores dependem da relação entre as descontinuidades presentes no talude e o método de escavação.

Assim o SMR é obtido segundo a equação abaixo:

$$SMR = RMR_b + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4$$

onde:

- o RMR_b (Bieniaswski 1989) é obtido pela soma dos pesos atribuídos a cinco parâmetros: resistência da rocha à compressão uniaxial, RQD, espaçamento das descontinuidades e condições das descontinuidades. Os pesos que devem ser atribuídos podem ser encontrado no Anexo I

- F_1 - este parâmetro depende do paralelismo entre a direção das descontinuidades (α_j) e a direção do talude (α_s), como ilustrado na Figura 10. O valor deste parâmetro varia entre 1, quando a descontinuidade e o talude forem paralelos entre si, e 0,15, valor mínimo adotado por Romana (1985). O valor deste parâmetro pode ser estabelecido com o auxilio da Tabela 2 ou da equação abaixo:

$$F_1 = (1 - \sin(\alpha_j - \alpha_s))^2$$

- F_2 – este parâmetro está relacionado com a probabilidade da ocorrência de cisalhamento na descontinuidade no caso de rupturas planares. Este parâmetro é obtido em função do mergulho da descontinuidade β_j (Figura 10). Cujos valores variam de 1,00, quando as descontinuidades possuem mergulho $\geq 45^\circ$, a 0,15, para descontinuidades

com mergulho inferior a 20°. Este parâmetro pode ser determinado utilizando a Tabela 2 ou a equação abaixo:

$$F2 = \tan^2 \beta_j$$

Para rupturas por tombamento, o valor convencionado para F2 é 1,0.

- F3 – este parâmetro, baseado no ajuste de classificação para orientações de descontinuidades para taludes, elaborado por Bieniawski (1976), busca refletir a relação entre a face do talude e o mergulho da descontinuidade. Este parâmetro correlaciona o ângulo de mergulho da face do talude (β_s) com o mergulho da descontinuidade (β_j), para medir a possibilidade da descontinuidade aflorar na face do talude.

Para rupturas planares e em cunha este parâmetro varia de 0, quando o resultado da subtração entre o ângulo de mergulho da descontinuidade e mergulho do talude for maior que 10, a -60, quando o resultado desta subtração for menor que -10.

Nos casos de rupturas por tombamento, os valores de F3 varia entre 0, quando o resultado da soma dos mergulhos da descontinuidade e do talude for menor que 110, a -25 quando o resultado desta soma for maior que 120.

- F4 é o fator empírico de correção para método de escavação empregado, Este fator é determinado de acordo com a Tabela 3

Tabela 2 – Tabela para a determinação de parâmetros do SMR (Romana, 1985)

Caso	Muito favorável	Favorável	Aceitável	Desfavorável	Muito desfavorável
$P \alpha_j - \alpha_s $	$>30^\circ$	$30 - 20^\circ$	$20 - 10^\circ$	$10 - 5^\circ$	$<5^\circ$
$T (\alpha_j - \alpha_s) - 180 $					
$P/T \quad F_1$	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
$P \beta_j $	$<20^\circ$	$20 - 30^\circ$	$30 - 35^\circ$	$35 - 45^\circ$	$>45^\circ$
$P \quad F_2$	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
$T \quad F_2$	1	1	1	1	1
$P \beta_j - \beta_s$	$>10^\circ$	$10 - 0^\circ$	0°	$0 \text{ a } -10^\circ$	$<-10^\circ$
$T \beta_j + \beta_s$	$<110^\circ$	$110 - 120^\circ$	$>120^\circ$	-	-
$P/T \quad F_3$	0	-6	-25	-50	-60

Legenda: P, ruptura planar; T, tombamento; α_j , direção do mergulho da junta; α_s , direção de mergulho do talude; β_j , mergulho da junta; β_s , mergulho do talude

Tabela 3 – Fatores de ajuste para métodos de escavação (Romana, 1985)

Método	Talude natural	<i>Pre-splitting</i>	Detonação suave	Detonação ou mecânico	Detonação deficiente
F_4	15	10	8	0	-8

Figura 10 – Ilustração dos parâmetros utilizados para a obtenção dos parâmetros F1, F2 e F3. modificado de (Singh e Goel, 1999)

O valor final resultante da fórmula será o SMR, que indicará qual a classe do maciço estudado.

Romana (1985) em sua descrição correlaciona a classe do maciço com o tipo de ruptura, sendo: Classe I – Sem rupturas; Classe II – Alguns blocos; Classe III – Poucas formações de cunha; Classe IV – Rupturas planares e cunhas grandes; Classe V – Rupturas planares grandes (Tabela 4).

Tabela 4 – Descrição das classes de SMR (Romana, 1985)

Classe	SMR	Descrição	Estabilidade	Rupturas	Probabilidade de ruptura
I	81 - 100	Muito bom	Completamente estável	Nenhuma	0
II	61 - 80	Bom	Estável	Alguns blocos	0,2
III	41 -60	Normal	Parcialmente estável	Pequenas planares ou muitas por cunha	0,4
IV	21 -40	Ruim	Instável	Planar ou grandes por cunha	0,6
V	0 -20	Muito ruim	Completamente instável	Grandes planares ou circulares	0,9

Baseado no comportamento do maciço rochoso, Romana propôs, para diferentes intervalos de SMR, possíveis técnicas de contenção agrupadas em seis tipos distintos de medidas de estabilização listadas na Tabela 5:

Tabela 5 – Tipos de medidas de estabilização com base no índice SMR (Romana, 1993)

SMR	Tipos de medidas de estabilização	Técnicas de contenção
65 – 100	Sem suporte	Nenhuma; retirada de blocos instáveis
45 -70	Proteção	Valas de pé de talude; redes metálicas (cobrindo a face do talude)
30 -75	Reforço com inclusões	Pregagens; Ancoragens
20 -60	Reforço com concreto	Muro suporte no pé do talude; concreto projetado;
10 - 40	Drenagem	Drenagem superficial; drenagem interna
10 - 30	Reescavação	Retaludamento

Nesta dissertação, o valor de SMR foi calculado utilizando-se de dados fornecidos pelo *scanline*, para todas as famílias de descontinuidades identificadas pelo algoritmo de conjuntos fuzzy, tanto para rupturas planares como para rupturas

por tombamento. O valor de SMR representativo para cada talude foi aquele calculado para a família mais crítica, identificada pela análise cinemática.

2.4 Q-slope

O Q-slope é um método empírico de engenharia desenvolvido por Barton e Bar (2015) para analisar a estabilidade de taludes rochosos sem contenção.

Para o seu cálculo do Q-slope atribui-se notas para seis parâmetros. São eles: RQD, Número de descontinuidades (J_n), Índice de rugosidade (J_r), Índice de alteração (J_a), Índice das condições ambientais e geológicas (J_{wice}), e o Fator de redução de tensões para taludes (SRF). Estes parâmetros são importados do Q-System (Barton et al, 1974), entretanto alguns sofreram modificações em relação ao Q-System (SRF e J_{wice}). As tabelas contidas no Anexo II especificam as notas que devem ser atribuídas aos parâmetros.

O J_{wice} é derivado do J_w do Q-system.. A diferença entre eles é que o J_{wice} considera o tempo em que a rocha é exposta a determinados tipos de intempéries, como chuva, e gelo. O SRF, no Q-slope, considera a presença de descontinuidades principais, como falhas e zonas de cisalhamento.

Assim, segundo os autores, o Q-slope é calculado segundo a formula:

$$Q_{slope} = \frac{RQD}{J_n} \cdot \left(\frac{J_r}{J_a} \right)_O \cdot \frac{J_{wice}}{SRF_{slope}}$$

2.4.1 O-factor

A razão entre J_r e J_a , diferentemente do Q-system, considera um fator de ajuste para a orientação das descontinuidades, chamado de “O-Factor”. Este fator considera a classificação das descontinuidades quanto à estabilidade dos taludes, e o número de famílias de descontinuidades que condicionam o principal tipo de ruptura identificada no talude.

Para o caso de ruptura em cunha, este fator deve ser aplicado para as duas descontinuidades que se interceptam e formam a cunha de rocha. Tais famílias devem ser nomeadas em A e B, sendo que A é a família mais crítica para a estabilidade do talude e B a segunda mais crítica. Para cada uma destas famílias deve ser atribuído um valor de J_r e J_a e um O-factor, que é obtido por meio da classificação de cada família segundo sua orientação ou ângulo de atrito (Barton e Bar, 2015). Assim, as razões J_r/J_a de suas respectivas famílias devem ser

multiplicadas pelo fator-O correspondente. Portanto a razão $(J_r/J_a)_O$ usado no método Q-slope pode ser escrito da seguinte forma:

$$\left(\frac{J_{rA}}{J_{aA}} \times \text{fator } O_A \right) \times \left(\frac{J_{rB}}{J_{aB}} \times \text{fator } O_B \right)$$

O *O-factor* é dividido em cinco categorias de acordo com as classificações atribuídas as famílias A e B (conforme Tabela 6, extraída do Anexo II): muito favorável, consideravelmente favorável, desfavorável, muito desfavorável e rompe se não suportado.

Tabela 6 – Valores do O-factor segundo a classificação das descontinuidades (Barton e Bar, 2015)

5. Fator de orientação das descontinuidade – fator-O		
Família A	Família B	Descrição
2,0	1,5	Orientação muito favorável
1,0	1,0	Consideravelmente favorável
0,75	0,9	Desfavorável
0,5	0,8	Muito desfavorável
0,25	0,7	Rompe se não suportado
Observações		
I) Ajuste de orientação para descontinuidades em taludes rochosos. A família de descontinuidades com orientação mais desfavorável deve ser considerada como sendo a família A.		
II) O fator-O deve ser escolhido de acordo com a classificação da família quanto a sua orientação.		
III) No caso de possível formação de cunha instável, aplique o fator de orientação da família B ao conjunto de junta secundária		

Entretanto, o método do Q-slope não especifica como realizar esta classificação. Assim, apresenta-se uma proposta de procedimento, descrita nos parágrafos abaixo, para a escolha do valor do *O-Factor* fundamentado no valor do produto dos parâmetros F1, F2, F3, do SMR, e na classificação de orientação de descontinuidades elaborada por Bieniaswski (1976).

Tabela 7 – Fator de ajuste do RMRb baseado na classificação das descontinuidades de Bieniaski (1976).

Direção e mergulho das descontinuidades		Muito favorável	Favorável	Aceitável	Desfavorável	Muito desfavorável
Peso	Túneis	0	-2	-5	-10	-12
	Fundações	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

A classificação de Bieniawski (Tabela 7) foi desenvolvida para corrigir o RMR perante à influência da orientação das descontinuidades no maciço escavado. Esta classificação contém cinco categorias que depreciam o valor do RMR em 5 pontos

caso as descontinuidades tenham orientações favoráveis; em 25 pontos caso forem aceitáveis; em 50 pontos caso sejam desfavoráveis; 60 pontos caso sejam muitos desfavoráveis; caso as descontinuidades sejam muitos favoráveis não há subtração de pontos. Esta classificação não leva em conta o tipo de ruptura ao qual o talude está sujeito.

O produto dos parâmetros F_1 , F_2 , F_3 do SMR considera a mecânica dos tipos de ruptura, por este motivo a ruptura em cunha é considerada um tipo de ruptura planar, e a ruptura por tombamento é considerada separadamente. Ainda segundo este critério, este produto pode ter valor máximo de 0 e valor mínimo de -60 para rupturas planares, e valor máximo de 0 e mínimo de -25 para rupturas por tombamento (Tabela 2). Este produto tem como objetivo depreciar o valor do RMRb de acordo com a influencia das descontinuidades na estabilidade do talude.

Conforme determina o método do Q-slope (Barton e Bar, 2015) a escolha do *O-factor* leva em consideração a quantidade de descontinuidades ou de famílias que condicionam o principal tipo de ruptura identificada no talude. Ainda segundo Barton e Bar (2015), estas descontinuidades são denominadas família A e família B, sendo que A é a família de descontinuidade mais crítica para o talude e B é a segunda mais crítica. A família B só é considerada nos casos de ruptura em cunha.

Neste trabalho a definição do tipo de ruptura mais crítica, assim como a definição das famílias A e B e, conseqüentemente, o valor do produto F_1 , F_2 e F_3 , se baseou nos resultados da análise cinématica realizada para cada uma das famílias de descontinuidades identificadas em cada um dos taludes estudados. Estes procedimentos estão esquematizados na Figura 11.

Figura 11 – Diagrama para determinação do tipo de ruptura crítica e do valor da multiplicação de F1, F2 e F3.

Assim, baseado nos preceitos descritos acima, para classificar as descontinuidades em relação a estabilidade dos taludes, foram adotados intervalos de valores para o produto de F1, F2 e F3 para nortear a escolha do valor do O-factor (Tabela 8).

Tabela 8 – Intervalo de valores do produto dos parâmetros F1, F2 e F3 para a escolha do fator-O para rupturas do tipo planar (escolha do fator-O somente para a família A), cunha (escolha do fator-O para duas famílias) ou tombamento

Tipo de ruptura predominante no talude		Fator de orientação das descontinuidade – fator-O		
Produto de F1, F2 e F3		Família A	Família B	Descrição
Ruptura planar ou em cunha	Ruptura por tombamento			
0 a -3	0 a -3	2,0	1,5	Orientação muito favorável
-3 a -10,5	-3 a -10,5	1,0	1,0	Consideravelmente favorável
-10,5 a -37,5	-10,5 a -25	0,75	0,9	Desfavorável
-37,5 a -55	-	0,5	0,8	Muito desfavorável
-55 a -60	-	0,25	0,7	Rompe se não suportado

2.4.2 Previsão de comportamento

O valor de Q-slope por si só não classifica o talude rochoso quanto ao seu comportamento. Assim Bar e Barton (2015) utilizando a correlação entre os resultados do índice Q-Slope e o comportamento observado destes taludes localizados em 4 continentes: Ásia, Austrália, América Central e Europa (Figura 12)

elaboraram o gráfico da Figura 13 que permite inferir o comportamento de taludes rochosos utilizando o resultado do Q-slope e a inclinação do talude.

A partir do gráfico da Figura 12, Bar e Barton (2015) deduziram a equação abaixo, válida somente para taludes com mergulhos superiores a 35° e inferiores a 85°.

$$\beta = 20 \log(Q_{\text{slope}}) + 65$$

Na fórmula, β significa o ângulo que determinado talude apresenta 1% de probabilidade de ruptura. Para os autores, isso é suficiente para classificar o talude como sendo estável, ou seja, que não apresentam sinais observáveis de instabilidade por pelo menos várias semanas, meses ou anos pós-escavação (Bar e Barton, 2017). Se um talude apresenta um mergulho real maior do que β , isso indica que esse talude pode ser *quasi-estável* ou rompido.

Para Barton e Bar (2015), um talude *quasi-estável* significa dizer que este talude pode romper se for acometido por efeito climático adverso, portanto apresenta um comportamento incerto. Um talude *quasi-estável* pode apresentar sinais visíveis de instabilidade como: fratura de tensão, feições de deslocamento, ou deformação detectada por meio de instrumentação. Os taludes instáveis ou colapsados apresentam cicatriz resultante de um movimento de uma massa rochosa que se desprende do maciço.

Assim, para se obter o comportamento de determinado talude a partir do índice Q-slope é necessário plotar este resultado no gráfico de estabilidade (Figura 13), proposto por Bar e Barton (2015).

Figura 12 – Gráfico que correlaciona o resultado do índice Q-slope, o ângulo de inclinação do talude e o seu comportamento observado.

Figura 13 – Gráfico de estabilidade de talude baseado no Q-slope (Bar e Barton, 2015)

2.5 Correlação Matemática Entre os Índices de Qualidade do Maciço .

Em estatística, correlação significa uma relação entre duas variáveis que exiba dependência, podendo ser expressa por uma função.

Neste estudo, foi feita a análise de regressão linear para verificar a existência de uma relação de dependência entre os índices de qualidade de rocha SMR e Q-slope, por meio da confecção de um diagrama de dispersão e da obtenção da reta de regressão linear.

Para estimar a força desta correlação, foi utilizado o coeficiente de determinação (r^2), que varia entre 0 e 1. Este coeficiente é uma medida descritiva da porcentagem da variação de y que pode ser explicada por variações em x , segundo modelo de regressão especificado. Por exemplo, quando os pontos do gráfico se dispõem exatamente em uma reta, neste caso, a variação amostral (100%) de y pode ser atribuída ao fato de x e y estarem relacionados linearmente, ou seja todos os valores de y podem ser explicados por uma determinada equação matemática.

No presente estudo foram correlacionados os índices SMR e Q-slope, além da razão entre β , calculado segundo definido pelo Q-slope, e o respectivo ângulo de inclinação do talude amostrado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Coleta Obtenção e Dados

Durante os estudos houve a preocupação de se verificar, pela análise cinemática, se a porção do talude amostrado apresentava o mesmo comportamento em toda a sua extensão. Apesar dos maciços rochosos serem descontínuos na natureza, podem, contudo, apresentar comportamento semelhante em algumas regiões, quando, por exemplo, o tipo de rocha ou os espaçamentos das descontinuidades são os mesmos em toda a região. Segundo Bieniawski (1989) as classificações geomecânicas devem ser aplicadas em porções do maciço que possuam comportamento uniforme. Esta avaliação resultou na sub-divisão do *scanline* 5B em duas partes (5B_1 e 5B_2).

Na versão original (Pires, 2016) a linha de varredura 5B possuía 50m de extensão, e sua análise cinemática indicava ocorrência de ruptura planar, ocasionada pelas famílias 1 e 3 (respectivamente, 16/80 e 304/65); ruptura em

cunha, ocasionadas pela intersecção das famílias 1x2; 1x3; 2x3; 3x4; e ruptura por tombamento, ocasionada pela família 2. Entretanto aos 30,82m de comprimento da linha de amostragem a família de descontinuidades número 1 não foi mais identificada na amostragem. Outra característica que se alterou foram os espaçamentos médios das demais famílias, estes apresentaram diferenças consideráveis, conforme observado na Tabela 9.

Tabela 9 – Comparação entre os dados da *scanline*5B até 30,82m e 5B de 32,51 a 50m

Família n° (rumo do mergulho/ mergulho)	Espaçamento médio (m)				
	Família 1 (16/80)	Família 2 (52/90)	Família 3 (304/65)	Família 4 (98/82)	Descontinuidades aleatórias
<i>Scanline</i> 5B até 30,82m de comprimento	3,424444	4,402857	7,705	15,41	5,136667
<i>Scanline</i> 5B de 32,51m de comprimento até 50m	-	2,498571	2,915	3,498	2,18625

Por este motivo, a linha de amostragem 5B foi separada em duas linhas renomeadas em 5B_1 e 5B_2. A linha 5B_1 equivale a linha 5B desde a origem até os 30,83m de comprimento, já a linha 5B_2 equivale a linha 5B desde os 32,51m até os 50m de comprimento. Para as novas linhas de amostragem criadas os dados das descontinuidades foram reprocessados, descartando-se resultados e interpretações relativos ao *scanline* 5B original.

A partir dos dados qualitativos e quantitativos das descontinuidades, obtidos em todas as linhas de amostragem, foi possível concluir que as descontinuidades, majoritariamente, apresentam persistência menor que 4 m, aberturas entre 1mm e 0,5mm, sem preenchimento, com superfícies planas lisas e secas. As fichas com os dados de campo estão no Anexo III

A partir dos dados obtidos nas linhas de amostragem, foram calculados o espaçamento médio, média dos espaçamentos, frequência e o RQD* (Tabela 10).

Tabela 10 – Parâmetros calculados a partir dos dados obtidos em campo através de linhas de amostragem.

	Espaçamento médio (m)	Média dos espaçamentos (m)	Frequência (numero de fraturas por metro)	RQD* (%)
<i>Scanline1A</i>	0,526315789	0,555555556	1,9	98
<i>Scanline2A</i>	0,357142857	0,37037037	2,8	97
<i>Scanline3A</i>	0,769230769	0,833333333	1,3	99
<i>Scanline1B</i>	0,309428571	0,311654676	3,23176362	96
<i>Scanline2B</i>	0,985	0,984680851	1,015228	99
<i>Scanline3B</i>	0,488461538	0,494615385	2,047244	98
<i>Scanline4B</i>	1,02425	1,050512821	0,976324	99
<i>Scanline5B_1</i>	1,06	1,09	0,94	99
<i>Scanline5B_2</i>	0,765	0,733	1,36	99
<i>Scanline2C</i>	0,364	0,359	2,749	97

Com os dados de orientação das descontinuidades interceptadas por cada linha de amostragem foi possível realizar, para cada conjunto de dados, análise de conjuntos fuzzy para agrupamento de famílias (sets) de descontinuidades. Na Tabela 11 está listada a orientação de todas as famílias de descontinuidades de todos os *scanlines*.

Tabela 11 – Valores das famílias de descontinuidades calculados pelo algoritmo de conjuntos Fuzzy. Os dados estão expressos em notação clar (rumo do mergulho/mergulho)

	Família 1	Família 2	Família 3	Família 4	Família 5
<i>Scanline1A</i>	238/61	291/25	172/65	23/63	104/67
<i>Scanline2A</i>	36/86	293/60	63/54	242/59	
<i>Scanline3A</i>	224/89	335/62			
<i>Scanline1B</i>	277/77	329/5	170/89	329/76	225/73
<i>Scanline2B</i>	161/73	347/67	251/70		
<i>Scanline3B</i>	341/70	31/14	195/64	75/72	
<i>Scanline4B</i>	340/60	29/75			
<i>Scanline5B_1</i>	10/80	42/78	296/77		
<i>Scanline5B_2</i>	243/81	305/62	97/71	188/78	
<i>Scanline2C</i>	72/87	308/78	98/41	172/79	6/61

Com a discriminação das famílias de descontinuidades foi possível calcular o espaçamento médio e a média dos espaçamentos das descontinuidades para cada família. Tais dados estão expostos na Tabela 12

Tabela 12 – Resultado do espaçamento médio e média dos espaçamentos calculado para cada família de descontinuidades. Na tabela a orientação das descontinuidades está em notação *clar* (rumo do mergulho/mergulho)

	Scanline 1A			Scanline 2A			Scanline 3A		
	Orientação	Espaçamento médio (m)	Média dos espaçamentos (m)	Orientação	Espaçamento médio (m)	Média dos espaçamentos (m)	Orientação	Espaçamento médio (m)	Média dos espaçamentos (m)
família 1	238/61	1,43	1,43	36/86	2,00	1,94	224/89	2,50	2,50
família 2	291/25	3,33	3,33	293/60	1,11	1,11	335/62	2,00	2,00
família 3	172/65	5,00	4,73	63/54	1,67	1,67			
família 4	23/63	2,50	3,33	242/59	2,00	2,00			
família 5	104/67	5,00	5,00						

	Scanline 1B			Scanline 2B			Scanline 3B		
	Orientação	Espaçamento médio (m)	Média dos espaçamentos (m)	Orientação	Espaçamento médio (m)	Média dos espaçamentos (m)	Orientação	Espaçamento médio (m)	Média dos espaçamentos (m)
família 1	277/77	0,77	0,76	161/73	3,38	3,38	341/70	0,88	0,88
família 2	329/5	2,41	2,41	347/67	2,49	2,49	31/14	3,18	3,18
família 3	170/89	1,31	1,34	251/70	4,30	4,30	195/64	6,35	6,35
família 4	329/76	3,61	3,61				75/72	2,82	2,17
família 5	225/73	4,81	4,81						

	Scanline 4B			Scanline 5B_1		
	Orientação	Espaçamento médio (m)	Média dos espaçamentos (m)	Orientação	Espaçamento médio (m)	Média dos espaçamentos (m)
família 1	340/60	4,10	4,10	10/80	3,85	4,18
família 2	29/75	1,64	1,64	42/78	3,42	3,42
família 3				296/77	5,14	5,14
família 4						
família 5						

	Scanline 5B_2			Scanline 2C		
	Orientação	Espaçamento médio (m)	Média dos espaçamentos (m)	Orientação	Espaçamento médio (m)	Média dos espaçamentos (m)
família 1	243/81	2,20	2,20	72/87	1,09	1,00
família 2	305/62	2,93	2,93	308/78	1,35	1,34
família 3	97/71	5,87	5,87	98/41	5,42	5,07
família 4	188/78	4,40	4,40	172/79	1,81	1,80
família 5				6/61	2,71	2,58

3.2 Análise Cinemática

Em todas as linhas de amostragem foram realizadas análises cinemáticas para os três tipos de ruptura. Estas análises embasaram a identificação do tipo de ruptura considerado o mais crítico para cada talude, e qual a família de descontinuidades mais crítica para a estabilidade do talude. Os dados da análise estão apresentados no Anexo IV e estão sintetizados nas Tabela 13 e 14, e nas Figura 14, 15 e 16.

Pelos resultados da análise, expostos na Tabela 13, foi identificado que, dos dez taludes estudados, seis apresentam maior chance de sofrer ruptura em cunha e

quatro de ruptura por tombamento. Em nenhum talude foi identificado que a ruptura do tipo planar teria a maior probabilidade de ocorrer, apesar de no talude 3A ter sido identificada uma alta porcentagem (25%) de descontinuidades propícias a condicionar este tipo de movimento. Ainda segundo os dados da Tabela 13, é possível observar que nos taludes 1B, 2B e 3B a porcentagem de descontinuidades que podem condicionar rupturas é pequena, motivada, principalmente, pela geometria desses taludes. No caso do talude 1B (Figura 14A) seu ângulo de inclinação (41°) é somente dois graus maior que o ângulo de atrito (39°). No caso dos taludes 2B e 3B (Figuras 15A e 15B, respectivamente) é a orientação do talude que propicia a eles uma boa estabilidade.

Pode-se destacar também que, dentre os taludes que apresentam ruptura em cunha, somente no talude 3A as intersecções críticas foram identificadas pelo laudo do software *Dips* (Anexo V) como pertencentes a área crítica 2. Isto significa que à cunha de rocha formada pela intersecção entre as descontinuidades pertencentes as famílias 1x2 e 2x3 não necessariamente irá escorregar pela linha de intersecção formada por estas famílias. A cunha poderá escorregar apoiada somente em um dos planos de descontinuidade, no caso do talude 3A, sobre o plano da descontinuidade pertencente à família 2 (335/62). Entretanto é importante notar que no estereograma da Figura 14C o maior polo de concentração de intersecções se localiza na área crítica 1 (área vermelha) que admite o comportamento convencional de cunha ou o caso especial em que ela escorrega sobre uma única superfície de descontinuidade.

Tabela 13 – Porcentagem de descontinuidades que podem condicionar cada tipo de ruptura. As células destacadas indicam a maior porcentagem encontrada para cada talude.

Talude	Porcentagem de polos		
	Rompimento planar	Rompimento em cunha	Tombamento
1A (340/75)	0,00	19,30	10,53
2A (329/65)	3,57	21,43	3,57
3A (340/71)	25	40,91	8,33
1B (202/41)	0,00	0,14	2,14
2B (187/41)	0,00	0,71	2,08
3B (203/64)	3,85	4,23	5,77
4B (203/64)	0	1,67	25
5B_1 (335/65)	3,45	20,25	3,45
5B_2 (335/65)	8,33	19,20	4,17
2C (345/67)	6,25	16,33	10,42

Uma família de descontinuidade foi considerada a mais crítica de determinado talude quando esta possuía a maior percentagem de descontinuidades, em relação ao total, identificadas como tendo os pré-requisitos para condicionar o tipo de ruptura com a maior probabilidade de ocorrer. No caso da ruptura em cunha é preciso identificar qual é a segunda descontinuidades mais crítica, pois esta ruptura é condicionada por um par de descontinuidades. A Tabela 14 sintetiza as conclusões desta análise.

Tabela 14 – Síntese dos resultados da análise cinemática.

Talude	Tipo de ruptura	Família de descontinuidade mais crítica	Segunda família de descontinuidades mais crítica
1A (340/75)	cunha	4	1
2A (329/65)	cunha	2	1
3A (340/71)	cunha	2	1
1B (202/41)	tombamento	3	-
2B (187/41)	tombamento	1	-
3B (203/64)	tombamento	1	-
4B (203/64)	tombamento	1	-
5B_1 (335/65)	cunha	2	3
5B_2 (335/65)	cunha	2	1
2C (345/67)	cunha	5	1

As Figuras 14, 15 e 16 são os estereogramas dos taludes com a respectiva análise cinemática do tipo de ruptura considerado o mais crítico. Os contornos em escala de cinza, para rupturas do tipo cunha, representam a concentração de intersecções entre as descontinuidades, já para rupturas por tombamento, representam a concentração de polos referentes as superfícies das descontinuidades.. A área demarcada em vermelho é a área crítica 1, já a demarcada em amarelo é a área crítica 2.

Figura 14A – Análise cinemática para ruptura em cunha, *scanline1A*

Figura 14C - Análise cinemática para ruptura em cunha, *scanline3A*

Figura 14B – Análise cinemática para ruptura em cunha, *scanline2A*

Figura 14D - Análise cinemática para tombamento, *scanline1B*

Legenda

Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.00
	3.00 - 6.00
	6.00 - 9.00
	9.00 - 12.00
	12.00 - 15.00
	15.00 - 18.00
	18.00 - 21.00
	21.00 - 24.00
	24.00 - 27.00
	27.00 - 30.00

área crítica 1

área crítica 2

família 1

família 2

família 3

família 4

Figura 14 – Análise cinemática das famílias de descontinuidades dos taludes 1A,2A,3A,1B

Figura 15A - Análise cinemática para tombamento, *scanline2B*

Figura 15C - Análise cinemática para tombamento, *scanline4B*

Figura 15B – Análise cinemática para ruptura por tombamento, *scanline3B*

Figura 15D – Análise cinemática para ruptura em cunha, *scanline5B_1*

Legenda

Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.00
	3.00 - 6.00
	6.00 - 9.00
	9.00 - 12.00
	12.00 - 15.00
	15.00 - 18.00
	18.00 - 21.00
	21.00 - 24.00
	24.00 - 27.00
	27.00 - 30.00

- área crítica 1
- área crítica 2
- família 1
- família 2
- família 3
- família 4

Figura 15 – Análise cinemática das famílias de descontinuidades dos taludes 2B, 3B, 4B e 5B_1

Figura 16A - Análise cinemática para ruptura em cunha, scanline5B_2

Figura 16B - Análise cinemática para ruptura em cunha, scanline2C

Figura 16 – Análise cinemática das famílias de descontinuidades dos taludes 5B_2 e 2C

3.3 Classificação

Os dados obtidos através das linhas de amostragem foram utilizadas como dados de entrada para as classificações geomecânicas SMR e Q-slope.

3.3.1 Comparação entre as métodos de classificações SMR e Q-slope

Os métodos empíricos de projeto para taludes SMR e Q-Slope foram baseados em dois métodos empíricos de projetos consagrados, o RMR e o Q-system, respectivamente. Portanto, assim como o RMR e o Q-system, o SMR e o Q-slope têm semelhanças e diferenças significativas na avaliação de alguns parâmetros do maciço rochoso.

- Assim como o RMR, o valor do SMR varia de 0 a 100, onde 0 representa um talude sem sustentação, já rompido, e 100 representa um talude estável sem a necessidade de reforços. O Q-slope, igualmente como o valor de Q, varia entre 0 e 1000, onde 0 é a pior classificação e 1000 é a melhor.

- A resistência da rocha intacta é sempre avaliada pelo SMR de forma direta. No Q-slope, esta propriedade é aferida de forma indireta no parâmetro SRFa por meio da avaliação do comportamento do maciço e do grau de intemperismo e erosão.

- Os dois sistemas abordam duplamente o grau de fraturamento de forma indireta. O Q-slope considera o RQD e número de famílias de descontinuidades, já o SMR avalia o RQD e o espaçamento das descontinuidades.

- A respeito das características das descontinuidades, o Q-slope sempre considera em sua análise a rugosidade, por meio do índice J_r , e o preenchimento e alteração das paredes, pelo índice J_a . O parâmetro abertura é abordado pelo Q-slope de forma indireta no índice J_a . A persistência das descontinuidades não é abordada pelo Q-slope, diferentemente do SMR que sempre avalia todos estes parâmetros individualmente.

- Espaçamento das descontinuidades é um parâmetro considerado no SMR de forma direta e de forma indireta por meio do parâmetro RQD. Diferentemente do SMR e igualmente ao Q-system, o Q-slope considera o número de famílias de descontinuidades presentes no maciço e não considera, de forma direta, o espaçamento das descontinuidades: há somente a recomendação para que seja somado um ponto ao parâmetro J_r caso o espaçamento médio das descontinuidades seja maior que 3 metros.

Segundo Milne et al.(1998) no caso de três ou mais famílias de descontinuidades estarem presentes no maciço e as descontinuidades estarem largamente espaçadas, o Q-system não irá refletir a real competência do maciço rochoso. Esta afirmação pode ser estendida para o Q-solpe, uma vez que a técnica de classificação deste método está justamente fundamentada no Q-system.

- A presença de água no maciço rochoso é avaliada de modos distintos nas metodologias do SMR e do Q-slope. O SMR leva em

consideração qualitativa e/ou quantitativamente o fluxo e pressão de água no maciço rochoso. O Q-slope busca avaliar a exposição do maciço rochoso aos agentes intempéricos, como chuva e gelo, por meio do J_{wice} .

- o SMR não leva em consideração as tensões atuantes em um maciço, diferentemente do Q-slope, que avalia este parâmetro utilizando o fator SRFb.

- No Q-slope a orientação das descontinuidades é avaliada de acordo com a sua classificação quanto a estabilidade pelos parâmetros *O-factor* e SRFc. Sendo que o SRFc só é utilizado quando a estabilidade de um talude rochoso tem como principal condicionante uma descontinuidade específica ou uma zona de cisalhamento. Assim, as condições dessa descontinuidade e sua orientação governam a estabilidade do talude. Entretanto o que se entende por descontinuidades adversamente orientadas não é definido pelo Q-slope. Por sua vez, o SMR afere a orientação das descontinuidades por meio de um conjunto de 3 parâmetros: F1, F2, F3, os quais os métodos de obtenção são especificados.

No uso dos parâmetros dos dois métodos, deve ser levado em conta o modo de ruptura ao qual o talude está sujeito.

- O SMR, no parâmetro F4, avalia as metodologias empregadas para a escavação do talude rochoso, conferindo descrédito para escavações realizadas sem o devido cuidado. Já o Q-slope não avalia a qualidade do desmonte e, diferentemente do SMR, considera de forma indireta no parâmetro J_{wice} as obras de drenagem e contenção instaladas no talude.

Todos os tópicos aqui discutidos estão sintetizados na Tabela 15

Tabela 15 - Síntese da comparação entre os métodos para cálculo do SMR e Q-slope

Categoria	Parâmetro	SMR	Q-slope
Material rochoso	Resistência da rocha intacta	Resistência a compressão uniaxial ou resistência a carga pontual	Indiretamente SRFa
Grau de fraturamento	Famílias de descontinuidades	-	J _n – número de famílias de descontinuidade
	Espaçamento das descontinuidades	RQD	RQD
		Espaçamento das descontinuidades	
Característica das descontinuidades		Rugosidade da descontinuidade	J _r – índice de rugosidade
		Preenchimento da descontinuidade	J _a – índice de alteração
		Alteração das paredes da descontinuidade	J _a – índice de alteração
		Persistência	Parcialmente em SRFc
		Abertura das descontinuidades	Parcialmente em J _a
Presença de água	águas subterrâneas	Condição de infiltração de água	
	Condições ambientais para ocorrência do intemperismo		J _{wice} - Índice das condições ambientais e geológicas
Tensão das rochas		-	SRF - Fator de redução devido a tensões do maciço
Classificação da orientação das descontinuidades		F1, F2, F3	Fator-O
			SRFc
Consideração sobre modo de ruptura		Sim, entretanto considera ruptura em cunha como sendo um tipo de ruptura planar.	Sim
Considerações sobre a escavação		F4	-
Consideração sobre suporte e drenagem instalada no talude		-	Indiretamente no J _{wice}

3.4 SMR

O SMR foi calculado para todas as famílias de descontinuidades, tanto para rupturas planares quanto para tombamento. Os índices SMR calculados estão expostos no Anexo IV.

Como parte do procedimento para a obtenção do SMR, foi calculado o RMRb. Para o cálculo do RMRb foram utilizados: dados de compressão uniaxial fornecidos pela Pedreira Geocal, sintetizados na Tabela 16; e os parâmetros obtidos em campo, expostos no Anexo III; o RQD* e o espaçamento médio da família de descontinuidade mais crítica, cujos os resultados estão apresentados na Tabela 10. O cálculo do RMRb está sintetizado na Tabela 17

Tabela 16 – Síntese dos dados de resistência à compressão uniaxial das litologias estudadas (relatório interno Geocal).

Litotipo	Resistência a compressão uniaxial
Metarenito com intercalações de metassiltito	30 KPa
Matassiltito	40 KPa
Metarritimito	40 KPa
Metarritimito carbonático	80 KPa
Brecha dolomítica	80 KPa

Como parte do procedimento para o cálculo do índice SMR, foi calculado os fatores de ajuste F1, F2, e F3, para tanto foram utilizados os dados de atitude das famílias de descontinuidades, apresentados na Tabela 11, e orientação dos taludes, constante na Tabela 12

Dentre os valores de SMR calculados de um mesmo talude, foi necessário escolher o valor representativo. Para tanto, considerou-se os resultados da análise cinemática apresentada na Tabela 14. Os valores representativos de SMR para cada talude estão expostos na Tabela 18

Com este procedimento, percebe-se que, na maioria das vezes, o valor do SMR escolhido era o menor valor calculado para aquele talude, entretanto nos taludes 1A e 5B_1 isto não acontece.

Tabela 17 – Calculo do RMRb

Parametro		scanline 1A	scanline 2A	scanline 3A	scanline 1B	scanline 2B
Resistencia do material rochoso intacto	Resistencia à compressão uniaxial(Mpa)	100 - 250	100 - 250	100-250	25 - 50	50 -100
Peso		12	12	12	4	7
RQD(%)		98	96	99	95	99
Peso		20	20	20	20	20
Espaçamento das descontinuidades		0,5	0,3	0,7 -0,8	0,3	0,9
Peso		10	10	15	10	15
Água	Condições gerais	Seco	Seco	seco	seco	seco
Peso		15	15	15	15	15
Comprimento (persistência)(m)		1 - 3	3 -10	3 -10	<1	<1
Peso		4	2	2	6	6
Abertura (mm)		0,5 - 1	0,5 - 1	1 - 3	<0,1 a 0,5	<0,1 a 0,5
Peso		4	4	3	4	4
Rugosidade		liso	pouco rugoso	estriado	liso	liso
Peso		1	3	0	1	1
Enchimento		nenhum	nenhum	nenhum	nenhum	nenhum
Peso		6	6	6	6	6
Grau de alteração		pouco alterado	pouco alterado	pouco alterado	moderada-mente alterado	moderada-mente alterado
Peso		5	5	5	3	3
Total		77	77	78	69	77

Parametro		scanline 3B	scanline 4B	scanline 5B	scanline 2C
Resistencia do material rochoso intacto	Resistencia à compressão uniaxial(Mpa)	100 - 250	100 - 250	100 - 250	100-250
Peso		12	12	12	12
RQD(%)		98	99	99	96
Peso		20	20	20	20
Espaçamento das descontinuidades		0,4	1	0,9	0,3
Peso		10	15	15	10
Água	Condições gerais	seco	seco	seco	seco
Peso		15	15	15	15
Comprimento (persistência)(m)		<1	<1m	<1	1 a 3
Peso		6	6	6	4
Abertura (mm)		<0,1 a 0,5	<0,1 a 0,5	<0,1 a 0,5	0,1 - 2,5
Peso		4	4	4	3
Rugosidade		lisa	lisa	liso	liso
Peso		1	1	1	1
Enchimento		nenhum	nenhum	nenhum	nenhum
Peso		6	6	6	6
Grau de alteração		pouco	pouco	pouco	inalterado
Peso		5	5	5	6
Total		79	84	79	77

Tabela 18 – Síntese do cálculo dos índices SMR. Os valores marcados em laranja são os valores escolhidos para representar cada talude.

Scanline		scanline 1 A	scanline 2 A	scanline 3 A	scanline 1B	scanline 2B
famílias de descontinuidades		f4	f2	f2	f3	f1
RMR _b		77	77	78	69	77
F1 X F2 X F3	planar	-9	-8,4960499	-27,46746	0	0
F1 X F2 X F3	tombamento	-3,75	-4,248025	-13,73373	-7,8856742	-1,8925618
F4		0	0	0	0,00	0
SMR	planar	68	69	51	69	77
	tombamento	73	73	64	61	75

Scanline		scanline 3B	scanline 4B	scanline 5B_1	scanline 5B_2	scanline 2c
famílias de descontinuidades		f1	f1	f2	f2	f5
RMR _b		79	84	79	79	77
F1 X F2 X F3	planar	-0,9	-4,6266807	0	-12,5	-20,584584
F1 X F2 X F3	tombamento	-3,75	-19,277836	-3,75	-6,25	-10,292292
F4		0	0	0	0	0
SMR	planar	78	79	79	67	56
	tombamento	75	65	75	73	67

No caso do talude 1A, a família 3 (172/65) apresentou o menor valor de SMR (46) dentre os valores calculados para esse talude (Tabela 19). Este resultado contraria a análise cinemática (Figura 10) que indica a família 4 (023/63) como a mais crítica para a estabilidade deste talude. Este fato pode ser justificado, pois as descontinuidades pertencentes à família 3 (172/65) estão praticamente paralelas ao talude 1A (340/75) (Figura 17) e, conseqüentemente, paralelas a *scanline* realizada neste talude. Esta situação mascara o real espaçamento das descontinuidades desta família, já que a linha de amostragem acaba interceptando poucas descontinuidades desta família. Fato este que faz com que a análise cinemática identifique poucos polos de descontinuidades pertencentes a família 3, como sendo potencial causadora de rupturas, o que, por sua vez, faz com que esta família, segundo critérios aqui adotados, não seja considerada a família mais crítica para condicionar a ruptura do talude.

Assim, o erro intrínseco do método de amostragem *scanline* influenciou a análise cinemática, fazendo com que a descontinuidade crítica escolhida fosse a família 4 (023/63) e não a 3(172/65).

Tabela 19 – Cálculo dos parâmetros e do valor do SMR para o talude 1A. o valor destacado em azul é o menor valor calculado já o e amarelo é o valor de SMR adotado como válido para o talude em questão

Scanline		scanline 1 A				
famílias de descontinuidades		f1	f2	f3	f4	f5
RMR _b		77				
F1	planar	0,15	0,15	0,627404	0,15	0,15
	tombamento	0,15	0,15	0,627404	0,15	0,15
F2	planar	1	0,217443	1	1	1
	tombamento	1	1	1	1	1
F3	planar	-60	-60	-50	-60	0
	tombamento	-25	-6	-25	-25	-25
F1 X F2 X F3	planar	-9	-1,95699	-31,3702	-9	0
F1 X F2 X F3	tombamento	-3,75	-0,9	-15,6851	-3,75	-3,75
F4		0	0	0	0	0
SMR	planar	68	75	46	68	77
	tombamento	73	76	61	73	73

Figura 17 – Foto do talude 1A e seu entorno. É possível observar descontinuidades paralelas ao talude.

No caso do talude 5B_1, os valores do índice SMR para rupturas por tombamento pelas famílias 1, 2 e 3 tem o valor menor do que os valores calculados para rupturas em cunha e rupturas planares. Isto ocorre porque o SMR é calculado com base na orientação das famílias das descontinuidades, que são valores médios calculados pelo algoritmo de fuzzy. Este fato pode ocasionar alguns equívocos, conforme observado na Figura 15D, a intersecção da orientação das famílias 3 e 2 (172/65 e 042/78, respectivamente) não está dentro da área crítica 1, apesar de

estar muito próxima. Portanto, por esta análise, a intersecção das famílias 3 e 2 não poderia condicionar rupturas em cunha. Já a análise cinemática realizada pelo *software Dips*, que considera todas as descontinuidades a ele fornecidas, é possível observar que existe uma dispersão dos polos das descontinuidades, sendo que muitos deles se encontram dentro da área crítica, podendo, portanto, condicionar rupturas em cunha. Assim, o número de descontinuidades pertencentes a família 2 (042/78) que podem condicionar rupturas em cunha é tal que esta família foi considerada a mais crítica para a estabilidade do talude (Tabela 20). Esta observação indica que os métodos de análise estabilidades de taludes possuem erros intrínsecos, portanto seus resultados não devem ser entendidos como resultados absolutos. Por isso há necessidade de se executar diferentes técnicas para se avaliar o mesmo aspecto, mesmo que de forma redundante, de forma a poder avaliar criticamente os resultados encontrados.

Tabela 20 - Cálculo dos parâmetros e do valor do SMR para o talude 5B_1. o valor destacado em azul é o menor valor calculado já o e amarelo é o valor de SMR adotado como válido para o talude em questão

Scanline		Scanline 5B_1		
famílias de descontinuidades		f1	f2	f3
RMR _b		79		
F1	planar	0,194311	0,15	0,158551
	tombamento	0,194311	0,15	0,158551
F2	planar	1	1	1
	tombamento	1	1	1
F3	planar	0	0	-6
	tombamento	-25	-25	-25
F1 X F2 X F3	planar	0	0	-0,95131
F1 X F2 X F3	tombamento	-4,85777	-3,75	-3,96378
F4		0,00	0	0
SMR	planar	79	79	78
	tombamento	74	75	75

A partir dos resultados encontrados para o SMR pode-se classificar os taludes quanto ao seu comportamento de acordo com os critérios da expostos na Tabela 4

Tabela 21 – Classificação do índice SMR em classes

Scanlines	SMR	LEGENDA
1a	68	
2a	69	Classe II / ESTÁVEL
3a	51	Classe III / PARCIALMENTE ESTÁVEL
1b	61	
2b	75	
3b	75	
4b	65	
5b_1	79	
5b_2	67	
2c	56	

Assim, definido os índices SMR de cada talude estes podem ser classificados segundo a Tabela 4. Dentre os dez taludes analisados, oito são classificados como classe II e dois como classe III (Tabela 21). Segundo Romana (1985) os taludes pertencentes a classe II são taludes estáveis, entretanto existe a probabilidade de 20% de ocorrer desprendimentos de alguns blocos. Os taludes pertencentes à classe III podem ser classificados como parcialmente estáveis, pois, existe a probabilidade de 40% de rupturas de muitas cunhas ou alguns deslizamentos.

3.5 Q-slope

O índice Q-slope e o ângulo β foram calculados para todos os taludes estudados. a partir das características das descontinuidades do maciço rochoso, como: rugosidade e alteração, listados no Anexo III; RQD* exibido na Tabela 10; número de famílias de descontinuidades e suas respectivas atitudes, expostas na Tabela 11; além de observações de campo relativas as condições de estabilidade do talude e as condições intempéricas em que estão submetidos.

O *O-factor* foi determinado seguindo a proposta de procedimento descrita no capítulo anterior, sintetizado na Tabela 8, e a determinação das famílias A e B observou os resultados da análise cinemáticas, sintetizados na Tabela 14.

A Tabela 22 mostra os pesos atribuídos a cada parâmetro e os resultados do Q-slope e β . A tabela também permite comparar o valor de β com o valor do ângulo do talude amostrado.

Tabela 22 – Pesos atribuídos aos parâmetros e resultados do índice Q-slope e do ângulo β .

<i>parâmetros scanline</i>	1A	2A	3A	1B	2B	3B	4B	5B_1	5B_2	2C
RQD	98	96	99	95	99	98	99	99	99	96
Jn	15	15	12	15	9	15	6	9	15	15
Jr - família A	2	0,5	0,5	1	1	1	2	2	1	1
Jr - família B	1	1	1					2	1	1
Ja - família A	1	1	2	3	3	1	1	2	2	2
Ja - família B	1	1	2					2	2	2
0 factor- família A	1	1	0,75	1	2	1	0,75	2	0,75	0,75
0 factor- família B	1	1,5	1,5					1,5	1,5	1,5
Jwice	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
SRFa	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Qslope	1,829	0,672	0,162	0,296	1,027	0,915	3,465	4,620	0,260	0,252
β	70	62	49	54	65	64	76	78	53	53
Ângulo do talude	80	65	71	41	41	64	64	65	65	67

Sobre o cálculo do Q-slope pode-se comentar que nos *scanlines* 1A, 2B, 4B, 5B_1, foi somado 1 ponto ao valor do parâmetro J_r da família A devido ao espaçamento desta família destes taludes ser maior que 3 metros, conforme resultados expostos na Tabela 12. No *scanline* 3A o valor de 0,5 para J_r da família A foi adotado devido a presença de lineamentos que indicam movimentos pretéritos. Tais modificações nos pesos dos parâmetros foram efetuadas conforme determinado pelo método do Q-slope.

Plotado os ângulos de mergulho dos taludes juntamente com os respectivos resultados do Q-slope no gráfico da Figura 18, obtêm-se os comportamentos estimados dos taludes. Assim dos dez taludes analisados quatro foram considerados instáveis (1A, 3A, 5B_2, 2C) cinco estáveis (1B, 2B, 3B, 4B, 5B_1) e um incerto (2A)

Interessante notar que o talude 3A possui ângulo de mergulho idêntico ao ângulo β , calculado pelo método do Q-slope.

Figura 18 – Gráfico de previsão de estabilidade de talude utilizando Q-slope e o ângulo de mergulho do talude amostrado.

3.6 Análise dos Resultados

Analisando os resultados qualitativos dos métodos empíricos SMR (Tabela 21) e Q-slope (Figura 18), compilados na Tabela 23, observa-se interpretações divergentes, em relação a estabilidade, em cinco taludes (1A, 2A, 3A, 5B_2 e 2C) dentre os 10 estudados. Entretanto, estas divergências são apenas aparentes e podem ser justificadas.

Os taludes 1A e 5B_2 são classificados como estáveis pelo SMR e instáveis pelo Q-slope. Esta contradição pode ser explicada pela diferença no que cada método define como estável. Para a classificação SMR, um talude estável apresenta uma probabilidade de 20% de apresentar rupturas de alguns blocos (Romana, 1985; Tabela 4), fato este que pode ou não requerer a instalação de suportes como tirantes ocasionais (Tabela 5). Já para o Q-slope, um talude só pode ser considerado estável quando ele apresenta probabilidade de ruptura de 1% e não requer a instalação de nenhum tipo de suporte (Bar e Barton, 2017). Estas diferenças provocam uma sobreposição destes conceitos que permite que um talude

com determinadas características ora possa ser considerado estável para um método e ora instável para outro método.

Outra divergência de resultados pode ser encontrada no resultado do talude 2A. Neste caso, o SMR classifica o talude em estável enquanto o Q-slope em “estabilidade incerta”. Esta divergência também pode ser atribuída à sobreposição de conceitos entre os dois métodos, pois para o Q-slope um talude com estabilidades tida como “incerta” admite pequenas instabilidades que podem ser deflagradas por algum evento climático adverso (Bar e Barton, 2017). Este conceito converge com a definição de talude estável adotado pelo SMR (Romana, 1985).

O mesmo ocorre para os taludes 3A e 2C, nos quais existe uma aparente contradição entre os resultados. O SMR os classifica como normal ou parcialmente estáveis, enquanto o Q-slope os classifica como instáveis. Para o SMR classificar um talude como parcialmente estável, este talude pode sofrer pequenas rupturas planares e muitas rupturas em cunha, e é recomendada a instalação de pregagens e concreto projetado (Tabela 5). Assim, a definição do SMR para o que seria um talude parcialmente estável se enquadra na definição do Q-slope para o que seria um talude instável.

Portanto, as inconsistências nos resultados das classificações são apenas aparentes e ocorrem devido às diferenças nos conceitos adotados por cada método.

Tabela 23 – Síntese dos resultados qualitativos dos métodos de classificação.

Taludes	SMR = RMRb + (F1 x F2 x F3) + F4	$Q_{slope} = \frac{RQD}{J_n} \cdot \left(\frac{J_r}{J_a}\right)_0 \cdot \frac{J_{wice}}{SRF_{slope}}$	mergulho do talude aferido em campo
1A	68	1,829	80
2A	69	0,672	65
3A	51	0,162	71
1B	61	0,296	41
2B	75	1,027	41
3B	75	0,915	64
4B	65	3,465	64
5B_1	79	4,62	65
5B_2	67	0,26	65
2C	56	0,252	67

LEGENDA
SMR / Q-slope
ESTÁVEL / ESTÁVEL
PARCIALMENTE ESTÁVEL / INCERTO
INSTÁVEL / INSTÁVEL

3.7 Correlação entre os métodos SMR e Q-slope

Os índices SMR e Q-slope calculados para os taludes da mina do Vau Novo foram analisados utilizando a análise de regressão linear e o coeficiente de determinação (r^2). A análise resultou em um gráfico de dispersão de escala logarítmica que relaciona os índices SMR e Q-slope (Figura 19).

Da análise de correlação pode se concluir que os índices SMR e Q-slope se correlacionam, segundo a reta e a equação de melhor ajuste que obedece a equação abaixo:

$$y = 5,4172 \ln(x) + 68,142$$

Para os índices aqui analisados esta equação pode ser reescrita da seguinte forma:

$$SMR = 5,4172 \ln(Qslope) + 68,142$$

Figura 19 – Correlação logarítmica entre SMR e Q-slope

O coeficiente de determinação (r^2) foi calculado para essa equação como sendo 0,5136, isso significa que a equação da reta consegue satisfazer 51% dos resultados.

Jorda-Bordehore et al. (2018) realizaram esse mesmo tipo de análise para 57 taludes em diferentes partes do mundo, de diversas litologias e modos de rupturas (Figura 20). Tal estudo obteve a seguinte equação:

$$SMR = 7,4219 \ln Qslope + 47,196$$

como sendo a linha de melhor ajuste que, segundo o coeficiente de correlação calculado para essa reta, satisfaz 42% dos resultados.

Assim, a melhor correlação matemática encontrada, tanto por esse trabalho como por Jorda-Bordehore et al. (2018), entre o SMR e o Q-slope é uma equação logarítmica. Comparando-se os coeficientes de determinação calculados para cada uma destas equações é possível observar que o coeficiente obtido por esse projeto é maior nove pontos percentuais.

Figura 20 – Relação entre Q-slope e SMR (Jorda-Bordehore et al., 2018)

Entretanto, desta forma não se pode obter uma verdadeira relação entre estes dois índices, pois o valor do Q-slope (Tabela 22) por si só não traz um significado a respeito da estabilidade do talude. Esse valor só adquire significado quando plotado no gráfico com o ângulo de mergulho do talude (Figura 18). Portanto, as equações anteriores só conseguem expressar uma correlação entre os índices numéricos e não conseguem expressar adequadamente uma correlação entre as previsões de comportamento dos taludes rochosos entre os diferentes métodos. Isto é inadequado, pois dois diferentes métodos, que visam estimar e fornecer informações a respeito do comportamento de determinado maciço rochoso submetido a determinada intervenção de engenharia, devem ser correlacionados

quantitativamente de forma que a estimativa de comportamento também seja levada em consideração.

Assim, com o objetivo de se obter uma correlação matemática entre os métodos SMR e Q-slope, de forma qualitativa, propõe-se a relação entre o valor do índice SMR com a razão entre o ângulo ideal (β), calculado pelo Q-slope (Tabela 22), pelo ângulo real, medido em campo. Pode-se dizer que essa razão funciona como um índice, onde valores maiores que 1 indicam um talude estável, valores entre 1 e 0,90 indicam um talude com comportamento incerto e taludes com valores menores que 0,90 indicam taludes com comportamento instável. Entretanto este índice só é aplicável para taludes com inclinação maior que 35° e menor que 85°. Isto porque este é o intervalo em que o cálculo de β é válido. Desta forma teríamos os resultados apresentados na Tabela 24

Tabela 24 – Resultados do índice SMR e a razão entre β e o mergulho real do talude, aferido em campo.

Scanlines	SMR	Razão entre β e mergulho do talude
1a	68	0,88
2a	69	0,95
3a	51	0,69
1b	61	1,32
2b	75	1,59
3b	75	1,00
4b	65	1,19
5b_1	79	1,20
5b_2	67	0,82
2c	56	0,79

LEGENDA
SMR / Q-slope
ESTÁVEL / ESTÁVEL
PARCIALMENTE ESTÁVEL / INCERTO
INSTÁVEL / INSTÁVEL

Realizando a análise de correlação entre o índice SMR e a razão entre o ângulo ideal (β) pelo ângulo real, temos que a melhor equação que os relaciona é uma equação polinomial e segundo grau (Figura 21)

$$y = -40,446x^2 + 108,07x + 0,6945$$

Onde o y representa o SMR e o x representa a razão entre β e o ângulo real do talude amostrado.

Figura 21 – Correlação polinomial entre o índice SMR e a razão entre β e o ângulo do talude amostrado

O coeficiente de determinação calculado para essa equação foi de 0,3897, o que significa que a fórmula a cima explica 39% dos dados.

O coeficiente de determinação entre estes índices e o SMR e Q-slope é expressivamente menor, com uma diferença de doze pontos percentuais. Portanto essa é uma equação que melhor correlaciona os dois métodos, tanto do ponto de vista qualitativo quanto quantitativo.

Como já exposto no item 3.6 desta dissertação, estes dois métodos apresentam diferenças conceituais significativas: enquanto o SMR se propõe a sugerir tipos de tratamento e suporte para determinado talude, o Q-slope preocupa-se em determinar o ângulo de inclinação que determinado talude deve ter para que não precise receber nenhum tipo de tratamento e suporte. Assim, os métodos abordam a estabilidade de forma diferente e por isto adotam entendimentos distintos para os conceitos “talude estável” e “talude instável”. Estes entendimentos diferentes acabam se sobrepondo de certo modo, utilizando o índice SMR e o novo índice constituído pela razão entre o ângulo ideal (β) pela inclinação real do talude a Figura 22 ilustra esquematicamente esta sobreposição de conceitos.

Figura 22 – Ilustração esquemática da sobreposição de conceitos adotados pelos métodos SMR e Q-slope (modificado de Romana, 1985)

4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

A previsão de comportamento de maciços rochosos perante intervenções de engenharia é uma tarefa complexa que precisa ser subsidiada por uma grande quantidade de informações de alta qualidade e confiabilidade, principalmente em cenários onde existem muitas incertezas e falta de dados.

Os métodos de classificação de maciços rochosos são ferramentas desenvolvidas para processar os parâmetros do maciço rochoso e fornecer uma previsão de comportamento do maciço. Entretanto, cada um destes métodos foi desenvolvido empiricamente de acordo com a experiência e interpretação de seus autores. Por isso, segundo Bieniawski (1989) é necessário utilizar mais de um método para classificar o maciço rochoso. Como cada método utiliza índices diferentes para quantificar e expressar seus resultados, é necessário se obter uma fórmula que converta o índice de um método em um número que corresponda ao índice de outro método, afim de possibilitar comparar os resultados. Na literatura, é possível encontrar diversos trabalhos que buscaram desenvolver equações que correlacionassem os índices RMR e Q-system (desenvolvidos para avaliação de maciços rochosos escavados por túneis).

Com o desenvolvimento, por Bar e Barton (2015), de um novo método de avaliação de taludes escavados em maciços rochosos, o Q-slope, surgiu a importante demanda de verificar se este método se relaciona com o consagrado método de classificação de taludes rochosos SMR.

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, os índices SMR e Q-slope se correlacionam entre si, de forma satisfatória, por meio da equação abaixo:

$$SMR = 5,4172 \ln(Qslope) + 68,142 \quad (r^2 = 0,5136)$$

Esta dissertação propõe a correlação entre o índice SMR e a razão do ângulo ideal (β) pela inclinação do talude amostrado. Esta correlação, válida para taludes com inclinação entre 35° e 85°, permite analisar conceitualmente as estimativas de comportamento do talude para cada um destes métodos, segundo a Figura 22, e quantitativamente, segundo a fórmula abaixo:

$$y = -40,446x^2 + 108,07x + 0,6945 \quad (r^2 = 0,3897)$$

Na formula y representa o índice SMR e x representa a razão entre β e o ângulo de inclinação do talude amostrado.

A razão entre β e o ângulo de inclinação do talude amostrado pode ser considerada como um índice onde: valores menores que 0,9 representam taludes

instáveis; valores entre 0,9 e 1 taludes com instabilidade incerta; e valores maiores que 1, taludes estáveis.

Para as análises futuras dos taludes rochosos se tornem mais robustas, mais dados em diferentes taludes, em diferentes contextos geológicos, são necessários para aprimorar a correlação entre os métodos SMR e Q-slope.

É importante notar que, independente da correlação, a primeira abordagem mostra que é útil a utilização dos dois índices de forma conjunta e comparativa, devido as diferentes formas que cada método tem de abordar a estabilidade de taludes rochosos. Enquanto o SMR sugerirá a instalação, ou não, de contenções para que determinado talude permaneça estável, o Q-slope sugerirá a inclinação que este mesmo talude deve ter, de modo que fique estável sem a necessidade da instalação de contenções. Estes diferentes resultados e formas de abordar o problema da estabilidade de taludes pode subsidiar análises de custos, podendo, eventualmente, proporcionar redução no custo para determinada obra de engenharia: a substituição do tratamento ou contenções por um ângulo de escavação mais apropriado e que dispensa o tratamento de contenções.

5 REFERÊNCIAS

- Abad, J., Celada, B., Chacon, E., Gutierrez, V., Geotecnica, E., and Hidalgo, E., 1984, Application of geomechanical classification to predict the convergence of coal mine galleries and to design their supports: *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, v. 21, p. A181, doi:10.1016/0148-9062(84)92847-X.
- Bar, N., and Barton, N., 2017, The Q-Slope Method for Rock Slope Engineering: *Rock Mechanics and Rock Engineering*, v. 50, p. 3307–3322, doi:10.1007/s00603-017-1305-0.
- Barton, N., and Bar, N., 2015, Introducing the Q-slope method and its intended use within civil and mining engineering projects: *EUROCK 2015 & 64th Geomechanics Colloquium.*, p. 157–162.
- Barton, N., Lien, R., and Lunde, J., 1974, Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support: *Rock Mechanics*, v. 6, p. 189–236, doi:10.1007/BF01239496.
- Bergmann, M., 1988, Caracterização estratigráfica e estrutural da sequência vulcano-sedimentar do grupo São Roque - na região de Pirapora do Bom Jesus - Estado de São Paulo: Universidade de São Paulo, doi:10.11606/D.44.1988.tde-22072015-084459.
- Bieniaswski, Z.T., 1989, Engineering Rock Mass Clasifications: , p. 249.
- Bieniawski, Z. T., 1976, Rock mass classification in rock engineering applications: *Symposium Proceedings of Exploration for Rock Engineering*, p. 97–106, <https://ci.nii.ac.jp/naid/80014931500/>.
- Bieniawski, Z.T., 1973, Engineering Classification of Jointed Rock Masses: *Civil Engineer in South Africa*, v. 15, p. 343–353, doi:http://dx.doi.org/10.1016/0148-9062(74)92075-0.
- Bieniawski, Z.T., 1989, ENGINEERING ROCK MASS CLASSIFICATIONS: 251 p.
- Bistrichi, C.A., 1984, Geologia do Sinclínório de Pirapora, SP: Universidade de São Paulo, doi:10.11606/D.44.1984.tde-14082015-093213.
- Brown, B.H.G., and Brady, E.T., 2004, *Rock Mechanics for underground mining*: Dordrecht, Springer Netherlands, 645 p., doi:10.1007/978-1-4020-2116-9.
- Campos Neto, M. da C., 2000, Orogenic systems from Southwestern Gondwana: an approach to Brasiliano- Pan African cycle and orogenic collage in southeastern Brazil, *in* Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., and Campos, D.A. eds., *Tectonic Evolution of South America*, Rio de Janeiro, XXXI INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, p. 335–365.
- Deere, D.U., 1968, Geological Considerations, *in* Stagg, K.G. and Zienkiewicz, O.C. eds., *Rock Mechanics in Engineering Practice*, New York, p. 1–20.
- Deere, D.U., and Deere, D.W., 1989, Rock Quality Designation (RQD) After Twenty Years.:
- Deere, D.U., Hendron, A.J., Patton, F.D., and Cording, E.J., 1967, Design of surface and near surface constructions in rock (C. Fairhurst, School of Mineral and Metallurgical

- Engineering, & University of Minnesota, Eds.): Failure and Breakage of Rock, p. 237–302.
- GeoEng2000 Workshop, 2001, The Reliability of Rock Mass Classification Used in Underground Excavation and Support Design: ISRM NEWS, v. 6, p. 40–41, https://www.isrm.net/fotos/gca/1332114828isrm_newsjournal_-_2001,_volume_6,_number_3_web.pdf.
- Goel, R.K., and Singh, B., 2011, Engineering Rock Mass Classification:, doi:10.1016/C2010-0-64994-7.
- Goodman, R.E., 1980, Introduction to Rock Mechanics: John Wiley, 539 p.
- Hack, R., 2002, An evaluation of slope stability classification, *in* ISRM EUROCK'2002, p. 1–32.
- Hammah, R.E., and Curran, J.H., 1998, Fuzzy cluster algorithm for the automatic identification of joint sets: International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, v. 35, p. 889–905, doi:10.1016/S0148-9062(98)00011-4.
- Hashemi, M., Moghaddas, A.E.S., and Ajalloeian, R., 2010, Application of Rock Mass Characterization for Determining the Mechanical Properties of Rock Mass: a Comparative Study: , p. 305–320, doi:10.1007/s00603-009-0048-y.
- Hashemi, M., Moghaddas, S., and Ajalloeian, R., 2017, Erratum to: Application of Rock Mass Characterization for Determining the Mechanical Properties of Rock Mass: a Comparative Study (Rock Mechanics and Rock Engineering, (2010), 43, 3, (305-320), 10.1007/s00603-009-0048-y): Rock Mechanics and Rock Engineering, v. 50, p. 1367–1369, doi:10.1007/s00603-017-1199-x.
- Henrique-Pinto, R., 2012, Proveniência e ambiente de sedimentação do Grupo São Roque com base na química de rocha total e datação U-Pb de zircões detríticos: Universidade de São Paulo, doi:10.11606/T.44.2012.tde-31072013-095101.
- Henrique-Pinto, R., De Assis Janasi, V., and Da Cruz Campanha, G.A., 2018, U-Pb dating, Lu-Hf isotope systematics and chemistry of zircon from the Morro do Polvilho meta-trachydacite: Constraints on sources of magmatism and on the depositional age of the São Roque Group: Geologia USP - Serie Científica, v. 18, p. 45–56, doi:10.11606/issn.2316-9095.v18-125793.
- Henrique-Pinto, R., Janasi, V.A., Vasconcellos, A.C.B.C., Sawyer, E.W., Barnes, S.J., Basei, M.A.S., and Tassinari, C.C.G., 2015, Zircon provenance in meta-sandstones of the São Roque Domain: Implications for the Proterozoic evolution of the Ribeira Belt, SE Brazil: Precambrian Research, v. 256, p. 271–288, doi:10.1016/j.precamres.2014.11.014.
- Hocking, G., 1976, A method for distinguishing between single and double plane sliding of tetrahedral wedges: International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and, v. 13, p. 225–226, doi:10.1016/0148-9062(76)91697-1.
- Hoek, E., and Brown, E.T., 1997, Practical estimates of rock mass strength: International

- Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, v. 34, p. 1165–1186, doi:10.1016/S1365-1609(97)80069-X.
- Hudson, J.A., 1989, Rock Mechanics Principles in Engineering Practice: Oxford, ELSEVIER SCIENCE & TECHNOLOGY, 72 p.
- ISRM, 1978, Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses: Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr., v. 15, p. 319–368, doi:10.1016/0148-9062(79)91476-1.
- Jorda-Bordet, L. et al., 2018, Stability Assessment of Rock Slopes Using Empirical, *in* XIV congresso Internacional de Energía y Recursos Minerales, Seville.
- Juliani, C., Hackspacher, P., Dantas, E.L., and Fetter, A.H., 2000, THE MESOPROTEROZOIC VOLCANO-SEDIMENTARY SERRA DO ITABERABA GROUP OF THE CENTRAL RIBEIRA BELT, SÃO PAULO STATE, BRAZIL: IMPLICATIONS FOR THE AGE OF THE OVERLYING SÃO ROQUE GROUP: Revista Brasileira de Geociências, v. 30, p. 82–86.
- Laubscher, D.H., 1990, A geomechanics classification system for the rating of rock mass in mine design: Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, v. 90, p. 257–273.
- Milne, D., Hadjigeorgiou, J., and Pakalnis, R., 1998, Rock mass characterization for underground hard rock mines: Tunnelling and Underground Space Technology, v. 13, p. 383–391, doi:10.1016/S0886-7798(98)00081-9.
- Moreno Tallon, E., 1980, Application de Las Clasificaciones Geomechanicas a Los Tuneles de Parjares, *in* II Curso de Sostenimientos Activos en galerías y Tunnels, Madrid, Foundation Gomez-Parto.
- Ojima, L., 1982, Metodologia de classificação de maciços rochosos aplicável a túneis:
- Palmström, A., 1995, RMI - A Rock Mass Characterization System For Rock Engineering Purposes: Oslo University, 400 p.
- Pires, B.H.G., 2016, Classificação Geomecânica e Estudo de taludes Controlada por Descontinuidades-Aplicação em Mina à Céu Aberto: Universidade de São Paulo.
- Piteau, D., 1970, Geological factors significant to the stability of slopes cut in rock., *in* S. Af Inst. Min. Met., Symp. Planning Open Pit Mines, Johannesburg., South African Institute of Mining and Metallurgy, p. 33–53.
- Priest, S.D., 1993, Discontinuity Analysis for Rock Engineering: Dordrecht, Springer Netherlands, 473 p., doi:10.1007/978-94-011-1498-1.
- Priest, S.D., and Hudson, J.A., 1976, Discontinuity spacings in rock: International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and, v. 13, p. 135–148, doi:10.1016/0148-9062(76)90818-4.
- Romana, M., 1985, New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes: Int. Symp. on the role of rock mechanics ISRM, v. Zacatecas, p. 49–53.

- ROMANA, M.R., 1993, A Geomechanical Classification for Slopes: Slope Mass Rating, *in* Rock Testing and Site Characterization, Elsevier, p. 575–600, doi:10.1016/B978-0-08-042066-0.50029-X.
- Rutledge, J.C., and Preston, R.L., 1978, Experience with engineering classifications of rock: Proc. Int. Tunnelling Sym., Tokyo, v. 16, p. A3.1-A3.7.
- Sari, D., and Pasamehmetoglu, A.G., 2004, Proposed support design, Kaletepe tunnel, Turkey: Engineering Geology, v. 72, p. 201–216, doi:10.1016/j.enggeo.2003.08.003.
- Singh, A., 2004, FRHI — a System to Evaluate and Mitigate Rockfall Hazard in Stable Rock Excavations: Journal of the Institution of Engineers. India. Civil Engineering Division, v. 85, p. 62–75.
- Singh, B., and Goel, R.K., 1999, Rock Mass Classification - A Pratical Approach in Civil Engineering:
- Stille, H., and Palmström, A., 2003, Classification as a tool in rock engineering: Tunnelling and Underground Space Technology, v. 18, p. 331–345, doi:10.1016/S0886-7798(02)00106-2.
- Terzaghi, K., 1943, Theoretical Soil Mechanics: Hoboken, NJ, USA, John Wiley & Sons, Inc., v. 14, 532 p., doi:10.1002/9780470172766.
- Tomás, R., Delgado, J., and Serón, J.B., 2007, Modification of slope mass rating (SMR) by continuous functions: International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, v. 44, p. 1062–1069, doi:10.1016/j.ijrmms.2007.02.004.
- Viana, C.D., 2015, Análise estrutural de descontinuidades baseada em técnicas de structure from motion: aplicação em mina a céu aberto: Universidade de São Paulo, 158 p., doi:10.11606/D.44.2015.tde-08072015-150656.
- Wickham, G.E., Tiedemann, H.R., and Skinner, E.H., 1974, Ground Support Prediction Model (RSR Concept), *in* Proc. of the 2nd North American Rapid Excavation & Tunnelling Conference (RETC), p. 691–707.

Anexo I – Notas e pesos dos parâmetros de RMRb

RMR - Parâmetros de classificação e seus pesos								
Parâmetro		Intervalo de variação dos valores						
Resistencia do material rochoso intacto	Resistencia à compressão uniaxial(Mpa)	250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
Peso		15	12	7	4	2	1	0
RQD(%)		90-100		75-90	50-75	25-50		<25
Peso		20		17	13	8		3
Espaçamento das descontinuidades		>2m		0,6m-2m	20cm-60cm	6cm-20cm		<6cm
Peso		20		15	10	8		5
Água subterrânea	Infiltração em 10m de túnel (L/min)	0		<10	10-25	25-125		>125
	Pressão da água na fratura/tensão principal	0		<0,1	0,1-0,2	0,2-0,5		>0,5
	Condições gerais	Seco		Umedecido	Úmido	Gotejamento		Fluxo abundante
Peso		15		10	7	4		0
ORIENTAÇÃO PARA CLASSIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DAS DESCONTINUIDADES								
Comprimento (persistência)(m)		<1		1-3	3-10	10-20		>20
Peso		6		4	2	1		0
Abertura (mm)		Nenhuma		<0,1	0,1-1,0	1-5		>5
Peso		6		5	4	3		0
Rugosidade		Muito rugoso		Rugoso	Pouco rugoso	Liso		Estriado
Peso		6		5	3	1		0
Enchimento		Nenhum		Enchimento duro<5mm	Enchimento duro >5mm	Enchimento mole<5mm		Enchimento mole >5mm
Peso		6		4	2	2		0
Grau de alteração		Inalterado		Pouco alterado	Moderadamente alterado	Muito alterado		Decomposto
Peso		6		5	3	1		0

Anexo II – Notas e pesos dos parâmetros do Q-slope

1. Rock Quality Designation (RQD)			Observações
A	Muito ruim	0 - 25	I) Quando o RQD for quantificado como sendo menor/igual a 10, o valor que deve ser utilizado para o cálculo do Q-slope é igual a 10 II) intervalo de RQD de 5 em 5 são suficientemente precisos
B	Ruim	25 - 50	
C	Regular	50 - 75	
D	Bom	75 - 90	
E	Excelente	90 - 100	

2. Número de famílias de descontinuidades		Jn
A	Maciço, nenhuma ou poucas descontinuidades	0,5 – 1,0
B	Uma família de descontinuidade	2
C	Uma família de descontinuidades mais descontinuidades aleatórias	3
D	Duas famílias de descontinuidades	4
E	Duas famílias de descontinuidades mais descontinuidades aleatórias	6
F	Três famílias de descontinuidades	9
G	Três famílias de descontinuidades mais descontinuidades aleatórias	12
H	Quatro ou mais famílias de descontinuidades, muito fraturado, descontinuidades aleatórias	15
I	Rocha despedaçada, assemelha-se a solo	20

3. Índice de rugosidade		Jr
a) paredes das descontinuidades em contato, b) contato após cisalhamento		
A	Sem continuidade	4
B	Rugosas, irregulares, onduladas	3
C	Lisas, onduladas	2
D	Polidas, onduladas	1,5
E	Rugosas ou irregulares, planares	1,5
F	Lisas, planas	1,0
G	Polidas, planas	0,5
c) Não há contato entre as paredes das descontinuidades		
H	Zona contendo espessura de minerais argilosos suficiente para impedir o contato entre as paredes	1,0
I	Zonas fragmentadas, arenosas ou cascalhentas com espessura suficiente para impedir o contato entre as paredes	1,0
Observações		
I) As descrições se referem a pequena escala e escala intermediária, respectivamente		
II) Somar 1,0 se o espaçamento médio de uma relevante família de descontinuidades for maior que 3m		
III) Jr=0,5 pode ser utilizado para descontinuidades planares, estriadas e com lineações, sendo que as lineações orientam a direção de menor resistência		
IV) Jr e Ja devem ser obtidos aplicando-se à família(s) de descontinuidades que for mais desfavorável para a estabilidade do ponto de vista da orientação e da resistência ao cisalhamento onde $\tau \approx \sigma_n \tan^{-1} \left(\frac{J_r}{J_a} \right)$		

4. Índice de alteração		Ja
a) contato entre paredes		
A	Selada, preenchimento impermeável, duro, por exemplo, quartzo ou epidoto. 0,75	0,75
B	Paredes não alteradas, somente com leve descoloração	1
C	Paredes ligeiramente alteradas, sem minerais brandos as recobrimdo, sem argila e rocha desintegrada	2
D	Paredes com silte ou areno-argilosas, pouca argila	3
E	Minerais brandos com baixo atrito, argilominerías, caolinitas ou micas. Também clorita, talco, gipsita etc. e pouca quantidade de minerais expansivos.	4
b) paredes de descontinuidades que sofreram pequeno cisalhamento (preenchimento argiloso com espessura variando entre 1 e 5mm)		
F	Preenchimento com partículas de areia, sem argilominerais, rocha desintegrada	4
G	Preenchimento de argila rígida dura	6
H	Preenchimento de argilo minerías expansivos, esmectitas, montmorillonita, etc., contínua	8
J	Argilominerais expansivos, esmectitas, montmorillonita, etc.; o valor de Ja dependerá da porcentagem de argila expansiva e acesso à água.	8-12
c) Não há contato entre as paredes de rocha das descontinuidades		
M	Zonas ou bandas com rochas desintegradas ou despedaçadas (ver G, H e I para condições de material argiloso)	6; 8; ou 8-12
N	Zonas ou bandas silto-argilosas ou areno-argilosas, com pequenas frações de argila	5,0
O P R	Finas zonas ou bandas de argila continuas (veja G,H,J para descrição das condições da argila)	10; 13; ou 13-20

5. Fator de orientação das descontinuidade – fator-O		
Família A	Família B	Descrição
2,0	1,5	Orientação muito favorável
1,0	1,0	Consideravelmente favorável
0,75	0,9	Desfavorável
0,5	0,8	Muito desfavorável
0,25	0,7	Rompe se não suportado
Observações		
I) Ajuste de orientação para descontinuidades em taludes rochosos. A família de descontinuidades com orientação mais desfavorável deve ser considerada como sendo a família A.		
II) O fator-O deve ser escolhido de acordo com a classificação da família quanto a sua orientação.		
III) No caso de possível formação de cunha instável, aplique o fator de orientação da família B ao conjunto de junta secundária		

6. Índice das condições ambientais e geológicas				
Descrição	Ambiente desértico	Ambiente úmido	Tempestades tropicais	Fraturamento por congelamento
	J_{wice}			
Estrutura estável, rocha competente	1,0	0,7	0,5	0,9
Estrutura estável, rocha incompetente	0,7	0,6	0,3	0,5
Estrutura instável, rocha competente	0,8	0,6	0,1	0,3
Estrutura instável, rocha incompetente	0,5	0,3	0,05	0,2
Observações				
I) Quando medidas de drenagem estão instaladas, considere $J_{wice} \times 1,5$				
II) Quando reforços estão instalados no talude, considere $J_{wice} \times 1,3$				
III) Quando reforço e drenagem estão instalados no talude, considere $J_{wice} \times 1,5 \times 1,3$				

7. fator de redução de tensões - SRF_{slope}	
SRF_a – Condições físicas	
A	Pequeno alívio devido a localização da superfície
B	Desprendimentos de blocos, sinais de rachaduras por tensão e juntas cisalhadas, suscetibilidade ao intemperismo
C	As mesmas feições encontradas em B porém mais suscetível aos efeitos do intemperismo
D	Talude em estágio avançado de erosão e alívio devido a periodicidade de erosão pela água e/ou pelo gelo
E	Talude de solo residual com significativas feições erosivas
SRF_b – Tensões	
F	Moderado nível de tensões (σ_c/σ_1 : 50-200)
G	Alto nível de tensões (σ_c/σ_1 : 10-50)
H	Rompimento localizado de rocha intacta (σ_c/σ_1 : 5-10)
J	Rompimento, fraturamento ou deformação plástica (σ_c/σ_1 : 2.5-5)
K	Fluxo de plástico de material amolecido pela tensão (σ_c/σ_1 : 1-2.5)

SRF_c – principal descontinuidade		Orientação da descontinuidade			
		Favorável	Desfavorável	Muito desfavorável	Rompe se não suportado
L	Principal descontinuidade com pouco ou nenhum preenchimento argiloso	1	2	4	8
M	Principal descontinuidade com $RQD_{100} = 0$ com argila ou rocha triturada	2	4	8	16
N	Principal descontinuidade com $RQD_{300} = 0$ com argila ou rocha triturada	4	8	12	24
Observação					
I) RQD_{100} : 1 metro de amostra perpendicular de descontinuidade					
II) RQD_{300} : 3 metro de amostra perpendicular de descontinuidade					

Anexo III– Dados obtidos em campo através de linhas de amostragem

Levantamento de Descontinuidades

Título:

SCANLINE 1A

Litotipo:

Brecha dolomítica

Talude: Rumo do mergulho /mergulho

340/75

página:

1/1

distância (m)	rumo do mergulho	mergulho	persistência/ semicomprimento (m)	terminação	abertura/ largura (mm)	alteração das paredes de descontinuidades	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	fluxo de água
2	333	13	0,39	O	1	pouco alterado	sem preechimento	lisa	plana	seco
2,77	318	25	0,8	D	1	fresco	sem preechimento	lisa	plana	seco
4	40	62	5	O	1	pouco alterado	sem preechimento	lisa	plana	seco
4,6	270	81	1,5	R	1	pouco alterado	sem preechimento	lisa	plana	seco
4,66	258	89	1,5	R	1	fresco	sem preechimento	lisa	plana	seco
4,68	272	66	1,5	R	1	pouco alterado	sem preechimento	lisa	plana	seco
4,7	107	81	1,5	R	1	fresco	sem preechimento	lisa	plana	seco
5,41	38	50	0,67	D	1	pouco alterado	sem preechimento	lisa	ondulada	seco
6,23	231	43	0,19	D	1	pouco alterado	sem preechimento	lisa	plana	seco
6,7	45	70	0,1	R	1	pouco alterado	sem preechimento	lisa - rugosa	plana	seco
7,07	88	50	0,19	D	1	pouco alterado	sem preechimento	lisa	plana	seco
7,55	50	71	0,15	R	<1	fresco	sem preechimento	lisa	plana	seco
7,73	301	39	0,4	D	<1	pouco alterado	sem preechimento	lisa	ondulada	seco
7,9	271	64	0,11	D	<1	fresco	sem preechimento	lisa - rugosa	plana	seco
7,94	262	44	0,08	D	<1	pouco alterado	sem preechimento	lisa - rugosa	plana	seco
8,29	236	49	0,05	D	<1	pouco alterado	sem preechimento	lisa	plana	seco
9,2	188	62	1	O	<1	fresco	sem preechimento	lisa	plana	seco
9,45	197	69	1	O	<1	pouco alterado	sem preechimento	lisa	ondulada	seco
10	323	86	5	O	<1	pouco alterado	sem preechimento	lisa	ondulada	seco

Levantamento de Descontinuidades										
Título: SCANLINE 2A			Litotipo: Brecha dolomítica			página: 1/2				
Talude: Rumo do mergulho /mergulho						329/65				
Natureza e Orientação da Descontinuidade										
distância (m)	rumo do mergulho	mergulho	persistência/ semicomprimento (m)	terminação	abertura/ largura (mm)	alteração das paredes de descontinuidades	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	fluxo de água
0,14	314	66	0,5	D	<1	pouco alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seco
0,2	68	51	0,8	D	<1	pouco alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seco
0,3	246	89	3	O	<1	pouco alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seco
0,44	239	40	3	O	<1	pouco alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seco
0,68	295	39	3	O	<1	pouco alterado	sem preenchimento	polida - lisa	plana	seco
1,19	318	62	0,3	D	<1	pouco alterado	sem preenchimento	lisa	ondulada	seco
1,3	332	47	0,3	D	<1	pouco alterado	sem preenchimento	lisa	ondulada	seco
1,75	152	70	0,5	D	<1	pouco alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seco
2,08	55	83	0,4	D	<1	pouco alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seco
2,5	322	66	0,23	O	<1	pouco alterado	sem preenchimento	polida	plana	seco
2,53	66	48	0,26	D	<1	pouco alterado	sem preenchimento	polida	plana	seco
2,97	54	80	0,1	R	<1	pouco alterado	sem preenchimento	polida-lisa	plana	seco
3,45	313	63	0,12	R	<1	pouco alterado	sem preenchimento	polida-lisa	plana	seco
4,17	281	83	0,9	R	<1	pouco alterado	sem preenchimento	polida-lisa	plana	seco
4,44	81	59	3	R	<1	pouco alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seco
4,9	310	46	3	O	1	pouco alterado	calcita, duro, <5mm	lisa-rugoso	plana	seco
5,1	56	90	3	O	<1	pouco alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seco
5,3	55	86	0,24	R	1	pouco alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seco
6,34	55	30	0,38	R	1	pouco alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seco

Título: SCANLINE 2A

Litotipo: Brecha dolomítica

página: 2/2

Talude: Rumo do mergulho /mergulho	329/65
------------------------------------	--------

[illegible]

Levantamento de Descontinuidades										
Título: SCANLINE 3A		Litotipo: Brecha dolomítica				página: 1/1				
Talude: Rumo do mergulho /mergulho 350/71										
Natureza e Orientação da Descontinuidade										
distância (m)	rumo do mergulho	mergulho	persistência/ semicomprimento (m)	terminação	abertura/ largura (mm)	alteração das paredes de descontinuidades	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	fluxo de água
1,10	3	73	>2	O	<1	pouco alterado	sem preenchimento	polida	ondulada	seco
1,65	357	71	>2	O	<1	pouco alterado	sem preenchimento	lisa	ondulada	seco
2,18	264	81	0,2	D	<1	pouco alterado	sem preenchimento	lisa-rugosa	plana	seco
2,22	253	84	0,2	R	<1	pouco alterado	sem preenchimento	lisa-rugosa	plana	seco
2,82	245	41	0,97	D	<1	pouco alterado	sem preenchimento	polida-lisa	plana	seco
3,25	0	40	0,4	D	<1	pouco alterado	sem preenchimento	polida-lisa	plana	seco
3,91	154	78	>2	O	<1	pouco alterado	calcita, duro, <5mm	polida	plana	seco
4,43	342	64	>2	D	<1	pouco alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seco
6,70	43	80	0,12	R	<1	pouco alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seco
7,80	68	46	>3	O	<1	pouco alterado	calcita, duro, <5mm	polida-lisa	plana	seco
7,90	61	88	0,15	R	<1	pouco alterado	sem preenchimento	polida-lisa	plana	seco
10,00	0	63	>3	O	<1	pouco alterado	calcita, duro, <5mm	polida-lisa	plana	seco

Título: SCANLINE 1B

Litotipo: Metarenito com intercalações de metassiltito

página: 3/8

Talude: Rumo do mergulho /mergulho 350/71

distância (m)	rumo do mergulho	mergulho	persistência (m)	terminação	abertura/largura (mm)	alteração das paredes de descontinuidades	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	fluxo de água
10,02	255	87	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
10,1	350	89	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
10,22	252	75	1 - 3m	1	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
10,3	40	88	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
10,7	170	82	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
10,8	174	86	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
11,25	298	66	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
12,75	351	78	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	áspera	plana	seca
13,11	302	73	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
13,2	320	74	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
13,24	357	88	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
13,3	277	67	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
13,62	15	89	< 1m	2	aberta	alterado	quartzo	áspera	plana	seca
14,12	269	7	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
14,29	355	89	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
14,52	290	51	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	rugosa	plana	seca
14,89	266	79	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
15,02	180	89	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
15,14	8	87	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca

Título: SCANLINE 1B

Litotipo: Metarenito com intercalações de metassiltito

página: 4/8

Talude: Rumo do mergulho /mergulho 350/71

distância (m)	rumo do mergulho	mergulho	persistência (m)	terminação	abertura/largura (mm)	alteração das paredes de descontinuidades	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	fluxo de água
15,53	247	89	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	rugosa	plana	seca
16,03	6	89	< 1m	2	aberta	alterado	quartzo	rugosa	plana	seca
16,56	184	83	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
17,32	268	64	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
17,44	8	88	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
17,56	278	86	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
17,75	282	83	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
17,82	278	76	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
17,94	66	82	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
18,04	304	8	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
18,22	1	88	1 - 3m	1	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
18,5	253	68	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
18,8	266	63	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
19,33	256	28	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
19,45	101	80	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
19,52	294	82	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
19,66	219	83	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
19,87	95	82	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
20,76	277	67	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca

Título: SCANLINE 1B

Litotipo: Metarenito com intercalações de metassiltito

página: 5/8

Talude: Rumo do mergulho /mergulho 350/71

distância (m)	rumo do mergulho	mergulho	persistência (m)	terminação	abertura/largura (mm)	alteração das paredes de descontinuidades	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	fluxo de água
21,44	276	70	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
21,88	275	68	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
22,1	251	88	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
22,19	115	88	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
22,41	4	22	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
22,66	269	74	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
22,78	174	85	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
22,98	258	89	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
23,07	337	11	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
23,12	247	88	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
23,31	278	64	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
23,62	312	73	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
23,71	349	80	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
23,82	177	81	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
24,02	301	75	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
24,35	166	85	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
24,5	305	82	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
25,04	308	79	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
25,1	345	15	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca

Título: SCANLINE 1B

Litotipo: Metarenito com intercalações de metassiltito

página: 6/8

Talude: Rumo do mergulho /mergulho 350/71

distância (m)	rumo do mergulho	mergulho	persistência (m)	terminação	abertura/largura (mm)	alteração das paredes de descontinuidades	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	fluxo de água
25,67	97	85	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
25,85	173	88	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
25,98	284	80	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
26,17	279	72	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
27,08	272	84	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
27,29	231	67	1 - 3m	1	fechada	alterado	sem preenchimento	áspera	plana	seca
28,34	172	87	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
29,17	262	72	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
29,44	103	86	1 - 3m	1	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
29,76	285	80	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
30,29	321	31	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
30,51	101	87	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
31,09	268	77	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
31,36	306	20	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
31,42	267	81	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
31,56	98	86	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
31,6	127	76	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
31,91	268	72	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
31,98	275	73	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca

Título: SCANLINE 1B

Litotipo: Metarenito com intercalações de metassiltito

página: 7/8

Talude: Rumo do mergulho /mergulho 350/71

distância (m)	rumo do mergulho	mergulho	persistência (m)	terminação	abertura/largura (mm)	alteração das paredes de descontinuidades	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	fluxo de água
32,15	168	72	1 - 3m	1	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
32,46	65	87	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
32,57	249	85	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
32,98	231	61	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
33,04	228	69	1 - 3m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
33,07	148	89	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
33,34	306	71	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
33,51	159	52	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
34,4	172	77	1 - 3m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
36,15	5	25	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
36,75	181	72	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
36,87	166	53	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
36,98	214	80	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
37,59	214	86	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
38,46	87	89	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
38,53	335	12	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
38,82	181	70	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
39,4	258	81	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca
39,6	88	84	< 1m	2	fechada	alterado	sem preenchimento	lisa	plana	seca

Levantamento de Descontinuidades										
Título: SCANLINE 2B			Litotipo: Metarritimito			página: 1/3				
Talude: Rumo do mergulho /mergulho						187/41				
Natureza e Orientação da Descontinuidade										
distância (m)	rumo do mergulho	mergulho	persistência (m)	terminação	abertura/ largura (mm)	alteração das paredes de descontinuidades	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	fluxo de água
1	244	89	1 - 3m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
1,78	172	70	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
1,91	343	59	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
3,78	338	49	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
4,02	156	70	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
5,29	348	64	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
5,51	347	62	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
7,43	248	75	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
7,6	243	77	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
7,91	351	55	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
9,36	164	75	3 - 10m	1	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	rugosa	plana	seca
10,81	353	62	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
13,03	274	45	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
13,47	159	70	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
14,2	72	70	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
14,75	261	77	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
14,9	164	69	3 - 10m	1	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	rugosa	plana	seca
15,03	164	75	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
15,17	274	72	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca

Título: SCANLINE 2B

Litotipo: Metarritimito

página: 2/3

Talude: Rumo do mergulho /mergulho 187/41

distância (m)	rumo do mergulho	mergulho	persistência (m)	terminação	abertura/largura (mm)	alteração das paredes de descontinuidades	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	fluxo de água
15,32	350	70	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
15,94	165	72	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
16,36	353	63	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
16,45	164	71	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
17,96	355	60	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
19,47	166	71	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
19,56	321	70	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
21,1	352	64	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
22,8	157	65	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
24,09	162	68	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
24,36	161	89	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
24,45	349	52	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
26,43	241	62	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
26,88	239	53	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
28,06	235	59	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
29,5	356	67	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
30,59	258	70	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
30,71	355	65	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
30,92	252	65	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca

Título: SCANLINE 2B

Litotipo: Metarritimito

página: 3/3

Talude: Rumo do mergulho /mergulho 187/41

distância (m)	rumo do mergulho	mergulho	persistência (m)	terminação	abertura/largura (mm)	alteração das paredes de descontinuidades	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	fluxo de água
33,66	211	84	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
37,82	359	66	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
38,46	202	67	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
38,91	157	77	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
39,6	151	80	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
40,16	159	83	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
41,23	338	85	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
43,98	358	54	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
44,07	356	60	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca
47,28	32	73	< 1m	2	fechada	pouco alterada	sem preenchimento	lisa	plana	seca

Levantamento de Descontinuidades										
Título: SCANLINE 3B			Litotipo: Metarritimito carbonático			página: 1/3				
Talude: Rumo do mergulho /mergulho					203/64					
Natureza e Orientação da Descontinuidade										
distância (m)	rumo do mergulho	mergulho	persistência (m)	terminação	abertura/ largura (mm)	alteração das paredes de descontinuidades	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	fluxo de água
0,23	52	9	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
0,25	333	75	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
0,42	197	60	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
0,67	50	13	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
1,32	346	69	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
2,57	346	64	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
3,11	291	41	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	ondulada	plana	seca
3,83	339	73	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
4,34	331	60	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
5,59	1	89	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
7,32	342	79	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
8,02	72	77	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
8,73	359	26	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
8,97	337	74	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	ondulada	plana	seca
9,29	342	73	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
9,43	79	40	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
9,67	49	20	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
10,15	336	71	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
11,13	337	22	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca

Título: SCANLINE 3B

Litotipo: Metarritimito carbonático

página: 2/3

Talude: Rumo do mergulho /mergulho 203/64

distância (m)	rumo do mergulho	mergulho	persistência (m)	terminação	abertura/largura (mm)	alteração das paredes de descontinuidades	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	fluxo de água
11,82	349	74	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
12,21	36	8	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
12,89	187	65	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
13,02	297	2	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
13,66	335	61	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
13,72	78	78	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
14,38	182	73	1 - 3m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
14,42	339	75	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
14,63	70	87	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
15,15	341	77	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
15,25	334	64	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
16,29	322	59	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
16,96	215	59	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
17,38	61	70	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
18,2	329	62	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
18,32	45	72	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
18,84	334	66	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
18,92	339	82	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
19,12	81	55	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca

Título: SCANLINE 3B

Litotipo: Metarritimito carbonático

página: 3/3

Talude: Rumo do mergulho /mergulho 203/64

distância (m)	rumo do mergulho	mergulho	persistência (m)	terminação	abertura/largura (mm)	alteração das paredes de descontinuidades	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	fluxo de água
19,47	342	65	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
19,97	61	72	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
20,02	62	35	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
20,21	26	56	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
20,64	339	64	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
21,49	6	79	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
21,92	345	60	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
22,81	345	65	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
23,44	341	72	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
23,63	100	74	3 - 10m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
23,84	341	62	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
24,6	341	63	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
25,08	341	62	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
25,4	339	65	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca

Levantamento de Descontinuidades										
Título: SCANLINE 4B			Litotipo: Metarritimito carbonático			página: 1/3				
Talude: Rumo do mergulho /mergulho						203/64				
Natureza e Orientação da Descontinuidade										
distância (m)	rumo do mergulho	mergulho	persistência (m)	terminação	abertura/largura (mm)	alteração das paredes de descontinuidades	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	fluxo de água
0,46	343	61	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
0,97	89	88	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
1,17	342	69	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
3,08	341	70	3 - 10m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
4,26	11	65	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
5,97	337	52	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
7,23	352	55	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
8,07	346	56	3 - 10m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
8,98	161	70	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
11,89	341	65	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
12,53	355	59	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
16,04	349	55	3 - 10m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
18,76	33	58	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
19,04	351	59	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
21,22	342	55	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
23,15	342	58	3 - 10m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
25,5	326	61	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
27,15	340	59	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
27,37	217	68	< 1m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca

Título: SCANLINE 4B

Litotipo: Metarritimito carbonático

página: 2/3

Talude: Rumo do mergulho /mergulho 203/64

distância (m)	direção	mergulho	persistência	terminação	abertura/ largura	alteração das paredes de descontinuidades	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	fluxo de água
28,15	334	61	1 - 3m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
31,87	33	62	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
33,17	324	66	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
33,57	17	85	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
34,08	336	59	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
34,18	27	80	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
34,35	331	19	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
34,9	321	57	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
35,51	49	62	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
36,04	334	63	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
36,17	331	60	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
36,49	52	64	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
36,61	330	58	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
37,02	66	59	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
37,21	334	57	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
37,88	352	60	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
38,24	59	75	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
38,49	14	83	3 - 10m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
39,5	14	86	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca

Título: SCANLINE 4B

Litotipo:	Metarritimito carbonático	
-----------	---------------------------	--

página: 3/3

Talude: Rumo do mergulho /mergulho	203/64
------------------------------------	--------

[illegible]

Levantamento de Descontinuidades										
Título: SCANLINE 5B_1			Litotipo: Brecha dolomítica			página: 1/2				
Talude: Rumo do mergulho /mergulho					335/65					
Natureza e Orientação da Descontinuidade										
distância (m)	rumo do mergulho	mergulho	persistência (m)	terminação	abertura/ largura (mm)	alteração das paredes de descontinuidades	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	fluxo de água
0,11	70	42	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
0,88	8	68	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
1,12	297	71	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
1,25	314	55	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
2,17	39	70	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
3,29	40	77	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
4,15	40	75	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
5,01	38	86	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
6,62	272	46	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	rugosa	plana	seca
6,81	12	70	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	rugosa	plana	seca
8,1	56	80	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	rugosa	plana	seca
10,25	293	71	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	rugosa	plana	seca
11,4	314	68	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	rugosa	plana	seca
12,82	7	58	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	rugosa	plana	seca
14,85	27	72	1 - 3m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	estriada	seca
17,15	12	76	3 - 10m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	estriada	seca
18,51	166	15	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	rugosa	plana	seca
18,59	167	21	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	rugosa	plana	seca
21,62	23	85	3 - 10m	1	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	estriada	seca

Título: SCANLINE 5B_1

Litotipo: Brecha dolomítica

página: 2/2

Talude: Rumo do mergulho /mergulho	335/65
------------------------------------	--------

[illegible]

Levantamento de Descontinuidades										
Título: SCANLINE 5B_2			Litotipo: Brecha dolomítica			página: 1/2				
Talude: Rumo do mergulho /mergulho						335/65				
Natureza e Orientação da Descontinuidade										
distância (m)	rumo do mergulho	mergulho	persistência (m)	terminação	abertura/ largura (mm)	alteração das paredes de descontinuidades	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	fluxo de água
32,51	192	84	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
33,52	172	79	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
34,35	318	58	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
34,52	316	68	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
34,62	4	43	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
34,72	324	67	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
36,15	227	81	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
37,05	218	69	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
39,04	249	87	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
40,1	260	88	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
41,62	248	87	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
42,34	95	70	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	rugosa	plana	seca
42,65	185	60	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
42,95	99	76	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
44,35	242	85	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
44,67	286	60	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
44,93	98	65	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
45,43	298	62	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca
46,03	253	72	< 1m	2	fechada	fresca	sem preenchimento	lisa	plana	seca

Título: SCANLINE 5B_2

Litotipo: Brecha dolomítica

página: 2/2

Talude: Rumo do mergulho /mergulho	335/65
------------------------------------	--------

[illegible]

Levantamento de Descontinuidades										
Título: SCANLINE 2C			Litotipo: Brecha dolomítica			página: 1/3				
Talude: Rumo do mergulho /mergulho						345/67				
Natureza e Orientação da Descontinuidade										
distância (m)	rumo do mergulho	mergulho	persistência (m)	terminação	abertura/ largura (mm)	alteração das paredes de descontinuidades	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	fluxo de água
0,21	244	82	<1	2	<0,1	não alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
0,23	158	84	<1	2	0,1-2,5	não alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
0,43	119	88	<1	2	<0,1	não alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
0,46	84	73	<1	2	<0,1	não alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
0,67	288	76	1-3	1	0,1-2,5	não alterado	sem preenchimento	áspero	ondulado	seco
0,84	303	55	1-3	1	0,1-2,5	não alterado	sem preenchimento	polido	ondulado	seco
1	340	55	<1	2	—	pouco alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
1,05	95	24	<1	2	0,1-2,5	pouco alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
1,37	109	90	<1	2	0,1-2,5	não alterado	sem preenchimento	áspero	planar	seco
1,43	245	80	<1	2	0,1-2,5	não alterado	sem preenchimento	áspero	planar	seco
1,51	74	79	<1	2	0,1-2,5	não alterado	sem preenchimento	áspero	planar	seco
1,64	317	54	1-3	2	0,1-2,5	pouco alterado	sem preenchimento	áspero	planar	seco
1,93	311	87	<1	2	0,1-2,5	não alterado	sem preenchimento	áspero	planar	seco
2,4	184	89	<1	2	0,1-2,5	não alterado	sem preenchimento	áspero	planar	seco
3,8	87	84	<1	2	0,1-2,5	não alterado	sem preenchimento	áspero	planar	seco
3,91	108	60	<1	1	<0,1	não alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
4,3	88	75	<1	1	10-100	não alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
4,4	262	58	<1	0	—	não alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
5,1	340	84	<1	2	—	pouco alterado	sem preenchimento	áspero	planar	seco

Título: SCANLINE 2C

Litotipo: Brecha dolomítica

página: 2/3

Talude: Rumo do mergulho /mergulho 345/67

distância (m)	rumo do mergulho	mergulho	persistência (m)	terminação	abertura/largura (mm)	alteração das paredes de descontinuidades	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	fluxo de água
5,12	87	85	<1	2	<0,1	não alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
5,15	332	89	<1	2	<0,1	não alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
5,65	32	60	<1	2	<0,1	não alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
6,07	354	65	<1	2	0,1-2,5	pouco alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
6,3	359	69	<1	2	0,1-2,5	pouco alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
6,53	134	83	<1	2	0,1-2,5	pouco alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
7,2	298	87	<1	2	—	não alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
7,5	359	64	1-3	1	0,1-2,5	pouco alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
7,6	253	12	1-3	2	0,5-2,5	não alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
7,98	224	86	1-3	1	<0,1	não alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
8,05	252	85	1-3	1	<0,1	não alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
8,34	176	75	1-3	1	<0,1	não alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
8,58	175	75	1-3	1	<0,1	pouco alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
9,19	84	89	1-3	1	<0,1	pouco alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
9,46	307	75	<1	2	<0,1	não alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
9,48	325	72	<1	2	<0,1	não alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
9,5	322	70	<1	2	<0,1	não alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
9,68	320	80	<1	2	<0,1	não alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
9,72	195	80	1-3	1	2,5-10	pouco alterado	sem preenchimento	polido	ondulado	seco

Título: SCANLINE 2C

Litotipo: Brecha dolomítica

página: 3/3

Talude: Rumo do mergulho /mergulho 345/67

distância (m)	rumo do mergulho	mergulho	persistência (m)	terminação	abertura/largura (mm)	alteração das paredes de descontinuidades	natureza do preenchimento	rugosidade superficial	forma superficial	fluxo de água
10,8	87	40	<1	2	<0,1	não alterado	sem preenchimento	liso	ondulado	seco
11,4	55	70	<1	2	<0,1	pouco alterado	sem preenchimento	liso	ondulado	seco
12,49	151	60	<1	2	<0,1	pouco alterado	sem preenchimento	liso	ondulado	seco
13,14	193	67	<1	2	<0,1	não alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
13,69	30	63	<1	2	<0,1	não alterado	sem preenchimento	liso	planar	seco
14	50	85	<1	2	<0,1	pouco alterado	sem preenchimento	áspero	planar	seco
14,04	245	78	<1	2	<0,1	pouco alterado	sem preenchimento	áspero	planar	seco
15,38	84	89	<1	2	<0,1	pouco alterado	sem preenchimento	áspero	planar	seco
16,2	74	75	3-10	1	0,1-2,5	não alterado	sem preenchimento	polido	planar	seco
16,25	250	80	<1	2	<0,1	não alterado	sem preenchimento	polido	planar	seco

Anexo IV – Cálculos do índice SMR para todas as famílias de descontinuidades

Scanline		scanline 1 A					scanline 2 A				scanline 3 A			Scanline 1B					scanline 2B		
famílias de descontinuidades		f1	f2	f3	f4	f5	f1	f2	f3	f4	f1	f2	f3	f1	f2	f3	f4	f5	f1	f2	f3
RMR _b		77					77				78			69					77		
F1	planar	0,15	0,15	0,627404	0,15	0,15	0,15	0,169921	0,15	0,15	0,15	0,549349	0,158551	0,15	0,15	0,315427	0,15	0,371209	0,454858	0,600701	0,15
	tombamento	0,15	0,15	0,627404	0,15	0,15	0,15	0,169921	0,15	0,15	0,15	0,549349	0,158551	0,15	0,15	0,315427	0,15	0,371209	0,315427	0,432937	0,15
F2	planar	1	0,217443	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,15	1	1	1	1	1	1
	tombamento	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
F3	planar	-60	-60	-50	-60	0	0	-50	-60	-50	0	-50	-6	0	-6	0	0	0	0	0	0
	tombamento	-25	-6	-25	-25	-25	-25	-25	-6	-25	-25	-25	-25	-25	0	-25	-6	-6	-6	-6	-6
F1 X F2 X F3		-9	-1,95699	-31,3702	-9	0	0	-8,49605	-9	-7,5	0	-27,4675	-0,95131	0	-0,135	0	0	0	0	0	0
F1 X F2 X F3		-3,75	-0,9	-15,6851	-3,75	-3,75	-3,75	-4,24802	-0,9	-3,75	-3,75	-13,7337	-3,96378	-3,75	0	-7,88567	-0,9	-2,22725	-1,89256	-2,59762	-0,9
F4		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
SMR	planar	68	75	46	68	77	77	69	68	70	78	51	77	69	69	69	69	69	77	77	77
	tombamento	73	76	61	73	73	73	73	76	73	74	64	74	65	69	61	68	67	75	74	76

Scanline		Scanline 3B				Scanline 4B		Scanline 5B_1				Scanline 5B_2				Scanline 2c				
famílias de descontinuidades		f1	f2	f3	f4	f1	f2	f1	f2	f3	f4	f1	f2	f3	f4	f1	f2	f3	f4	f5
RMR _b		79				84		79				79				77				
F1	planar	0,15	0,771113	0,741023	0,15	0,771113	0,15	0,194311	0,15	0,158551	0,15	0,15	0,25	0,15	0,207354	0,15	0,158551	0,15	0,771113	0,411692
	tombamento	0,15	0,771113	0,741023	0,15	0,771113	0,15	0,194311	0,15	0,158551	0,15	0,15	0,25	0,15	0,207354	0,15	0,158551	0,15	0,771113	0,411692
F2	planar	1	0,15	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0,755659	1	1
	tombamento	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
F3	planar	-6	-60	-25	-6	-6	-50	0	0	-6	-6	0	-50	-6	0	0	0	-60	0	-50
	tombamento	-25	0	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	0	-25	-25	0	-25	-25
F1 X F2 X F3		-0,9	-6,94002	-18,5256	-0,9	-4,62668	-7,5	0	0	-0,95131	0	0	-12,5	-0,9	0	0	0	-6,80093	0	-20,5846
F1 X F2 X F3		-3,75	0	-18,5256	-3,75	-19,2778	-3,75	-4,85777	-3,75	-3,96378	-3,75	-3,75	-6,25	-3,75	0	-3,75	-3,96378	0	-19,2778	-10,2923
F4		0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0	0	0	0	0
SMR	planar	78	72	60	78	79	77	79	79	78	79	79	67	78	79	77	77	70	77	56
	tombamento	75	79	60	75	65	80	74	75	75	75	75	73	75	79	73	73	77	58	67

Anexo V- Laudos da análise cinemática

Dips Analysis Information

Project Summary

File Name: SCANLINE 1A.dips6
Last saved with Dips version: 6.008
Date Created: 12/10/2018, 22:54:00

Kinematic Analysis:

Slope Dip: 75
Slope Dip Direction: 340
Friction Angle: 35°
Lateral Limit Angle: 30°

Planar Sliding

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	0	0.00%	19

Planar Sliding (No Limits)

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	3	15.79%	19
Set 2	1	33.33%	3
Set 4	2	50.00%	4

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
Critical 2 = Wedge Sliding (One Planes)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	24	14.04%	9	5.26%	171
All Set Planes	19	15.70%	8	6.61%	121
Set 1 vs Set 2 Planes	0	0.00%	2	9.52%	21
Set 1 vs Set 3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	14
Set 1 vs Set 4 Planes	14	50.00%	2	7.14%	28
Set 1 vs Set 5 Planes	0	0.00%	0	0.00%	14
Set 2 vs Set 3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	6
Set 2 vs Set 4 Planes	1	8.33%	2	16.67%	12
Set 2 vs Set 5 Planes	0	0.00%	0	0.00%	6
Set 3 vs Set 4 Planes	0	0.00%	0	0.00%	8
Set 3 vs Set 5 Planes	0	0.00%	0	0.00%	4
Set 4 vs Set 5 Planes	4	50.00%	2	25.00%	8
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	1	10.00%	0	0.00%	10
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	1	10.00%	0	0.00%	10
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	1	10.00%	0	0.00%	10
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	1	10.00%	0	0.00%	10

Flexural Toppling

Flexural Toppling	Critical	%	Total
All Vectors	2	10.53%	19
Set 3	2	100.00%	2

Direct Toppling

Base Plane	Critical	%	Total
All Vectors	2	10.53%	19
Set 2	2	66.67%	3

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)
Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	26	15.20%	8	4.68%	171
All Set Planes	13	10.74%	8	6.61%	121
Set 1 vs Set 2 Planes	0	0.00%	0	0.00%	21
Set 1 vs Set 3 Planes	4	28.57%	4	28.57%	14
Set 1 vs Set 4 Planes	0	0.00%	0	0.00%	28
Set 1 vs Set 5 Planes	7	50.00%	3	21.43%	14
Set 2 vs Set 3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	6
Set 2 vs Set 4 Planes	0	0.00%	0	0.00%	12
Set 2 vs Set 5 Planes	0	0.00%	0	0.00%	6
Set 3 vs Set 4 Planes	0	0.00%	0	0.00%	8
Set 3 vs Set 5 Planes	2	50.00%	1	25.00%	4
Set 4 vs Set 5 Planes	0	0.00%	0	0.00%	8
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	1	10.00%	1	10.00%	10
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	1	10.00%	1	10.00%	10
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	1	10.00%	1	10.00%	10
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	1	10.00%	1	10.00%	10

Dips Analysis Information

Project Summary

File Name: SCANLINE 2A.dips6
 Last saved with Dips version: 6.008
 Date Created: 07/12/2018, 01:09:34

Kinematic Analysis:

Slope Dip: 65
 Slope Dip Direction: 329
 Friction Angle: 40°
 Lateral Limit Angle: 20°

Planar Sliding

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	1	3.57%	28
Set 2	1	11.11%	9

Planar Sliding (No Limits)

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	2	7.14%	28
Set 2	2	22.22%	9

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
 Critical 2 = Wedge Sliding (One Planes)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	67	17.72%	14	3.70%	378
All Set Planes	42	20.00%	11	5.24%	210
Set 1 vs Set 2 Planes	21	46.67%	2	4.44%	45
Set 1 vs Set 3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	25
Set 1 vs Set 4 Planes	3	12.00%	0	0.00%	25
Set 2 vs Set 3 Planes	12	26.67%	3	6.67%	45
Set 2 vs Set 4 Planes	6	13.33%	6	13.33%	45
Set 3 vs Set 4 Planes	0	0.00%	0	0.00%	25
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	1	16.67%	0	0.00%	6
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	1	16.67%	0	0.00%	6
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	1	16.67%	0	0.00%	6
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	1	16.67%	0	0.00%	6

Flexural Toppling

Flexural Toppling	Critical	%	Total
All Vectors	1	3.57%	28

Direct Toppling

Base Plane	Critical	%	Total
All Vectors	3	10.71%	28
Set 2	2	22.22%	9

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)

Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	6	1.59%	26	6.88%	378
All Set Planes	4	1.90%	9	4.29%	210
Set 1 vs Set 2 Planes	0	0.00%	0	0.00%	45
Set 1 vs Set 3 Planes	2	8.00%	4	16.00%	25
Set 1 vs Set 4 Planes	0	0.00%	0	0.00%	25
Set 2 vs Set 3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	45
Set 2 vs Set 4 Planes	0	0.00%	5	11.11%	45
Set 3 vs Set 4 Planes	2	8.00%	0	0.00%	25
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	0	0.00%	0	0.00%	6
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	0	0.00%	0	0.00%	6
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	0	0.00%	0	0.00%	6
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	0	0.00%	0	0.00%	6

Dips Analysis Information

Project Summary

File Name: SCANLINE 3A.dips6
 Last saved with Dips version: 6.008
 Date Created: 07/12/2018, 02:17:39

Kinematic Analysis:

Slope Dip: 71
 Slope Dip Direction: 340
 Friction Angle: 40°
 Lateral Limit Angle: 30°

Planar Sliding

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	3	25.00%	12
Set 2	3	60.00%	5

Planar Sliding (No Limits)

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	4	33.33%	12
Set 2	3	60.00%	5

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
 Critical 2 = Wedge Sliding (One Planes)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	8	12.12%	19	28.79%	66
All Set Planes	0	0.00%	13	44.83%	29
Set 1 vs Set 2 Planes	0	0.00%	12	60.00%	20
Set 1 vs Set 3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	4
Set 2 vs Set 3 Planes	0	0.00%	1	20.00%	5
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	0	0.00%	2	66.67%	3
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	0	0.00%	2	66.67%	3
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	0	0.00%	2	66.67%	3
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	0	0.00%	2	66.67%	3

Flexural Toppling

Flexural Toppling	Critical	%	Total
All Vectors	1	8.33%	12
Set 3	1	100.00%	1

Direct Toppling

Base Plane	Critical	%	Total
All Vectors	4	33.33%	12
Set 2	4	80.00%	5

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)
Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	2	3.03%	2	3.03%	66
All Set Planes	2	6.90%	2	6.90%	29
Set 1 vs Set 2 Planes	0	0.00%	0	0.00%	20
Set 1 vs Set 3 Planes	2	50.00%	2	50.00%	4
Set 2 vs Set 3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	5
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	1	33.33%	0	0.00%	3
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	1	33.33%	0	0.00%	3
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	1	33.33%	0	0.00%	3
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	1	33.33%	0	0.00%	3

Dips Analysis Information

Kinematic Analysis:

Slope Dip: 41
Slope Dip Direction: 202
Friction Angle: 39°
Lateral Limit Angle: 30°

Planar Sliding

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	0	0.00%	140

Planar Sliding (No Limits)

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	0	0.00%	140

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
Critical 2 = Wedge Sliding (One Planes)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	14	0.14%	0	0.00%	9728
All Set Planes	0	0.00%	0	0.00%	6655
Set 1 vs Set 2 Planes	0	0.00%	0	0.00%	828
Set 1 vs Set 3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	1472
Set 1 vs Set 4 Planes	0	0.00%	0	0.00%	782
Set 1 vs Set 5 Planes	0	0.00%	0	0.00%	874
Set 2 vs Set 3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	576
Set 2 vs Set 4 Planes	0	0.00%	0	0.00%	306
Set 2 vs Set 5 Planes	0	0.00%	0	0.00%	342
Set 3 vs Set 4 Planes	0	0.00%	0	0.00%	544
Set 3 vs Set 5 Planes	0	0.00%	0	0.00%	608
Set 4 vs Set 5 Planes	0	0.00%	0	0.00%	323
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	0	0.00%	0	0.00%	10
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	0	0.00%	0	0.00%	10
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	0	0.00%	0	0.00%	10
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	0	0.00%	0	0.00%	10

Flexural Toppling

Flexural Toppling	Critical	%	Total
All Vectors	3	2.14%	140
Set 3	3	9.38%	32

Direct Toppling

--

Base Plane	Critical	%	Total
All Vectors	9	6.43%	140
Set 2	9	50.00%	18

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)
Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	607	6.24%	1590	16.34%	9728
All Set Planes	443	6.66%	1279	19.22%	6655
Set 1 vs Set 2 Planes	0	0.00%	0	0.00%	828
Set 1 vs Set 3 Planes	156	10.60%	394	26.77%	1472
Set 1 vs Set 4 Planes	185	23.66%	247	31.59%	782
Set 1 vs Set 5 Planes	50	5.72%	217	24.83%	874
Set 2 vs Set 3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	576
Set 2 vs Set 4 Planes	0	0.00%	0	0.00%	306
Set 2 vs Set 5 Planes	0	0.00%	0	0.00%	342
Set 3 vs Set 4 Planes	6	1.10%	112	20.59%	544
Set 3 vs Set 5 Planes	26	4.28%	164	26.97%	608
Set 4 vs Set 5 Planes	20	6.19%	145	44.89%	323
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	0	0.00%	2	20.00%	10
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	0	0.00%	2	20.00%	10
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	0	0.00%	2	20.00%	10
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	0	0.00%	2	20.00%	10

Dips Analysis Information

Kinematic Analysis:

Slope Dip: 41
Slope Dip Direction: 187
Friction Angle: 25°
Lateral Limit Angle: 30°

Planar Sliding

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	0	0.00%	48

Planar Sliding (No Limits)

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	0	0.00%	48

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
Critical 2 = Wedge Sliding (One Planes)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	8	0.71%	0	0.00%	1127
All Set Planes	2	0.33%	0	0.00%	602
Set 1 vs Set 2 Planes	2	0.74%	0	0.00%	272
Set 1 vs Set 3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	160
Set 2 vs Set 3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	170
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	0	0.00%	0	0.00%	3
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	0	0.00%	0	0.00%	3
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	0	0.00%	0	0.00%	3
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	0	0.00%	0	0.00%	3

Flexural Toppling

Flexural Toppling	Critical	%	Total
All Vectors	1	2.08%	48
Set 1	1	6.25%	16

Direct Toppling

Base Plane	Critical	%	Total
All Vectors	0	0.00%	48

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)
Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	51	4.53%	27	2.40%	1127
All Set Planes	3	0.50%	11	1.83%	602
Set 1 vs Set 2 Planes	0	0.00%	0	0.00%	272
Set 1 vs Set 3 Planes	0	0.00%	1	0.63%	160
Set 2 vs Set 3 Planes	3	1.76%	10	5.88%	170
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	0	0.00%	0	0.00%	3
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	0	0.00%	0	0.00%	3
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	0	0.00%	0	0.00%	3
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	0	0.00%	0	0.00%	3

Dips Analysis Information

Project Summary

File Name: SCANLINE 3B.dips6
 Last saved with Dips version: 6.008
 Date Created: 6/21/2016, 5:56:12 PM

Kinematic Analysis:

Slope Dip: 64
 Slope Dip Direction: 203
 Friction Angle: 40°
 Lateral Limit Angle: 30°

Planar Sliding

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	2	3.85%	52
Set 3	2	50.00%	4

Planar Sliding (No Limits)

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	2	3.85%	52
Set 3	2	50.00%	4

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
 Critical 2 = Wedge Sliding (One Planes)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	16	1.21%	40	3.02%	1325
All Set Planes	6	0.90%	35	5.25%	667
Set 1 vs Set 2 Planes	0	0.00%	0	0.00%	232
Set 1 vs Set 3 Planes	4	3.45%	27	23.28%	116
Set 1 vs Set 4 Planes	0	0.00%	0	0.00%	203
Set 2 vs Set 3 Planes	0	0.00%	1	3.13%	32
Set 2 vs Set 4 Planes	0	0.00%	0	0.00%	56
Set 3 vs Set 4 Planes	2	7.14%	7	25.00%	28
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	0	0.00%	0	0.00%	6
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	0	0.00%	0	0.00%	6
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	0	0.00%	0	0.00%	6
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	0	0.00%	0	0.00%	6

Flexural Toppling

Flexural Toppling	Critical	%	Total
All Vectors	3	5.77%	52
Set 1	2	6.90%	29
Set 4	1	14.29%	7

Direct Toppling

Base Plane	Critical	%	Total
All Vectors	2	3.85%	52
Set 3	2	50.00%	4

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)
Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	306	23.09%	128	9.66%	1325
All Set Planes	170	25.49%	47	7.05%	667
Set 1 vs Set 2 Planes	14	6.03%	0	0.00%	232
Set 1 vs Set 3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	116
Set 1 vs Set 4 Planes	156	76.85%	47	23.15%	203
Set 2 vs Set 3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	32
Set 2 vs Set 4 Planes	0	0.00%	0	0.00%	56
Set 3 vs Set 4 Planes	0	0.00%	0	0.00%	28
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	1	16.67%	0	0.00%	6
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	1	16.67%	0	0.00%	6
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	1	16.67%	0	0.00%	6
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	1	16.67%	0	0.00%	6

Dips Analysis Information

Project Summary

File Name: SCANLINE 4B.dips6
 Last saved with Dips version: 6.008
 Date Created: 6/21/2016, 5:56:12 PM

Kinematic Analysis:

Slope Dip: 64
 Slope Dip Direction: 203
 Friction Angle: 30°
 Lateral Limit Angle: 30°

Planar Sliding

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	0	0.00%	40

Planar Sliding (No Limits)

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	0	0.00%	40

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
 Critical 2 = Wedge Sliding (One Planes)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	13	1.67%	0	0.00%	780
All Set Planes	0	0.00%	0	0.00%	264
Set 1 vs Set 2 Planes	0	0.00%	0	0.00%	264
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	0	0.00%	0	0.00%	1
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	0	0.00%	0	0.00%	1
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	0	0.00%	0	0.00%	1
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	0	0.00%	0	0.00%	1

Flexural Toppling

Flexural Toppling	Critical	%	Total
All Vectors	10	25.00%	40
Set 1	10	90.91%	11

Direct Toppling

Base Plane	Critical	%	Total
All Vectors	0	0.00%	40

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)
 Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	281	36.03%	44	5.64%	780
All Set Planes	111	42.05%	24	9.09%	264
Set 1 vs Set 2 Planes	111	42.05%	24	9.09%	264
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	0	0.00%	0	0.00%	1
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	0	0.00%	0	0.00%	1
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	0	0.00%	0	0.00%	1
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	0	0.00%	0	0.00%	1

Dips Analysis Information

Project Summary

File Name: SCANLINE 5B_1.dips6
 Last saved with Dips version: 6.008
 Date Created: 6/21/2016, 5:56:12 PM

Kinematic Analysis:

Slope Dip: 65
 Slope Dip Direction: 335
 Friction Angle: 35°
 Lateral Limit Angle: 30°

Planar Sliding

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	1	3.45%	29
Set 3	1	16.67%	6

Planar Sliding (No Limits)

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	2	6.90%	29
Set 1	1	12.50%	8
Set 3	1	16.67%	6

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
 Critical 2 = Wedge Sliding (One Planes)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	72	17.78%	10	2.47%	405
All Set Planes	43	24.71%	7	4.02%	174
Set 1 vs Set 2 Planes	13	18.06%	0	0.00%	72
Set 1 vs Set 3 Planes	5	10.42%	6	12.50%	48
Set 2 vs Set 3 Planes	25	46.30%	1	1.85%	54
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	0	0.00%	0	0.00%	3
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	0	0.00%	0	0.00%	3
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	0	0.00%	0	0.00%	3
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	0	0.00%	0	0.00%	3

Flexural Toppling

Flexural Toppling	Critical	%	Total
All Vectors	1	3.45%	29
Set 1	1	12.50%	8

Direct Toppling

Base Plane	Critical	%	Total
All Vectors	1	3.45%	29
Set 3	1	16.67%	6

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)

Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	5	1.23%	24	5.93%	405
All Set Planes	3	1.72%	20	11.49%	174
Set 1 vs Set 2 Planes	1	1.39%	15	20.83%	72
Set 1 vs Set 3 Planes	1	2.08%	4	8.33%	48
Set 2 vs Set 3 Planes	1	1.85%	1	1.85%	54
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	0	0.00%	0	0.00%	3
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	0	0.00%	0	0.00%	3
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	0	0.00%	0	0.00%	3
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	0	0.00%	0	0.00%	3

Dips Analysis Information

Project Summary

File Name: SCANLINE 5B_2.dips6
 Last saved with Dips version: 6.008
 Date Created: 6/21/2016, 5:56:12 PM

Kinematic Analysis:

Slope Dip: 65
 Slope Dip Direction: 335
 Friction Angle: 35°
 Lateral Limit Angle: 30°

Planar Sliding

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	2	8.33%	24
Set 2	1	16.67%	6

Planar Sliding (No Limits)

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	2	8.33%	24
Set 2	1	16.67%	6

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
 Critical 2 = Wedge Sliding (One Planes)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	40	14.49%	13	4.71%	276
All Set Planes	28	17.72%	4	2.53%	158
Set 1 vs Set 2 Planes	20	41.67%	3	6.25%	48
Set 1 vs Set 3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	24
Set 1 vs Set 4 Planes	0	0.00%	0	0.00%	32
Set 2 vs Set 3 Planes	8	44.44%	1	5.56%	18
Set 2 vs Set 4 Planes	0	0.00%	0	0.00%	24
Set 3 vs Set 4 Planes	0	0.00%	0	0.00%	12
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	1	16.67%	0	0.00%	6
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	1	16.67%	0	0.00%	6
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	1	16.67%	0	0.00%	6
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	1	16.67%	0	0.00%	6

Flexural Toppling

Flexural Toppling	Critical	%	Total
All Vectors	1	4.17%	24
Set 4	1	25.00%	4

Direct Toppling

Base Plane	Critical	%	Total
All Vectors	3	12.50%	24
Set 2	1	16.67%	6

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)
Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	63	22.83%	22	7.97%	276
All Set Planes	46	29.11%	16	10.13%	158
Set 1 vs Set 2 Planes	0	0.00%	0	0.00%	48
Set 1 vs Set 3 Planes	24	100.00%	0	0.00%	24
Set 1 vs Set 4 Planes	15	46.88%	11	34.38%	32
Set 2 vs Set 3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	18
Set 2 vs Set 4 Planes	0	0.00%	0	0.00%	24
Set 3 vs Set 4 Planes	7	58.33%	5	41.67%	12
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	2	33.33%	1	16.67%	6
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	2	33.33%	1	16.67%	6
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	2	33.33%	1	16.67%	6
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	2	33.33%	1	16.67%	6

Dips Analysis Information

Project Summary

File Name: scanline 2C.dips6
 Last saved with Dips version: 6.008
 Date Created: 14/02/2019, 16:39:52

Kinematic Analysis:

Slope Dip: 65
 Slope Dip Direction: 345
 Friction Angle: 40°
 Lateral Limit Angle: 30°

Planar Sliding

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	3	6.25%	48
Set 2	1	8.33%	12
Set 5	2	33.33%	6

Planar Sliding (No Limits)

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	4	8.33%	48
Set 2	2	16.67%	12
Set 5	2	33.33%	6

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)
 Critical 2 = Wedge Sliding (One Planes)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	151	13.40%	33	2.93%	1127
All Set Planes	120	15.09%	28	3.52%	795
Set 1 vs Set 2 Planes	53	27.60%	2	1.04%	192
Set 1 vs Set 3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	48
Set 1 vs Set 4 Planes	0	0.00%	0	0.00%	144
Set 1 vs Set 5 Planes	46	47.92%	7	7.29%	96
Set 2 vs Set 3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	36
Set 2 vs Set 4 Planes	0	0.00%	0	0.00%	108
Set 2 vs Set 5 Planes	21	29.17%	11	15.28%	72
Set 3 vs Set 4 Planes	0	0.00%	0	0.00%	27
Set 3 vs Set 5 Planes	0	0.00%	3	16.67%	18
Set 4 vs Set 5 Planes	0	0.00%	5	9.26%	54
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	1	10.00%	1	10.00%	10
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	1	10.00%	1	10.00%	10
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	1	10.00%	1	10.00%	10
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	1	10.00%	1	10.00%	10

Flexural Toppling

Flexural Toppling	Critical	%	Total
All Vectors	5	10.42%	48
Set 4	5	55.56%	9

Direct Toppling

Base Plane	Critical	%	Total
All Vectors	4	8.33%	48
Set 2	1	8.33%	12
Set 5	3	50.00%	6

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)
Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	132	11.71%	176	15.62%	1127
All Set Planes	80	10.06%	138	17.36%	795
Set 1 vs Set 2 Planes	8	4.17%	28	14.58%	192
Set 1 vs Set 3 Planes	16	33.33%	2	4.17%	48
Set 1 vs Set 4 Planes	53	36.81%	58	40.28%	144
Set 1 vs Set 5 Planes	0	0.00%	0	0.00%	96
Set 2 vs Set 3 Planes	0	0.00%	0	0.00%	36
Set 2 vs Set 4 Planes	2	1.85%	42	38.89%	108
Set 2 vs Set 5 Planes	0	0.00%	0	0.00%	72
Set 3 vs Set 4 Planes	1	3.70%	6	22.22%	27
Set 3 vs Set 5 Planes	0	0.00%	0	0.00%	18
Set 4 vs Set 5 Planes	0	0.00%	2	3.70%	54
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	1	10.00%	1	10.00%	10
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	1	10.00%	1	10.00%	10
User Plane Intersections	No results				
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	1	10.00%	1	10.00%	10
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	1	10.00%	1	10.00%	10