Universidade Agostinho Neto
Faculdade de Engenharia
Departamento de Minas

ADILSON DAIKEN PAULO DA CUNHA

DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DO BLOCO NATURAL DO MACIÇO ROCHOSO NA PEDREIRA DO ÚCUA NO BENGO.

Luanda
2022

Universidade Agostinho Neto
Faculdade de Engenharia
Departamento de Minas

ADILSON DAIKEN PAULO DA CUNHA

DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DO BLOCO NATURAL DO MACIÇO ROCHOSO NA PEDREIRA DO ÚCUA NO BENGO

Trabalho de fim de curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Agostinho Neto de Angola para a obtenção do grau de Licenciada em Engenharia de Minas.

Orientadora:
Yuneisy Guilarte Matos, Ph. D
Co-orientador:
António.P. Alexandre, Ph. D

Luanda
2022

DECLARACÃO DE AUTORIDADE.

Por: Adilson Daiken Paulo Da Cunha

Autor desta investigação científica para científica a obtenção do título de Licenciado em Engenharia de Minas, certifico sua propriedade intelectual a favor da Universidade Agostinho Neto e da Empresa mineradora da Pedreira do Úcua no Bengo, os mesmos poderão fazer uso deste trabalho científico para pôr em prática e como base material de estudo, tendo em conta que o mesmo não pode ser divulgado dados os requerimentos de seguridade e exposto pela entidade a que pertence.

_____

(Adilson Daiken Paulo Da Cunha)

_____	_____
Dr.C. Yuneisy Guilarte Matos (Orientador)	Dr.C. António. P. Alexandre (Co-Orientador)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus Pais, aos meus irmãos, pois foram o meu maior incentivo para chegar até aqui a Deus por ele permitir dar o melhor de mim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela vida, saúde e força que me concedeu ao realizar este trabalho de fim de curso.

A minha orientadora Professora Mestre Eng.ª Yuneisy Guilarte Matos, pela incansável dedicação e ajuda para a elaboração do projecto.

Aos professores da Faculdade de Engenharia da Universidade Agostinho Neto em particular aos professores do Departamento de Minas que têm empreendido esforços para formar Engenheiros de Minas, com qualidade e competência.

A Sociedade Mineira da Pedreira do Úcua por ter-me permitido a realização do estágio e a recolha de dados e em especial aos Engenheiros do departamento de Mineração.

A minha família que sempre me deu forças para continuar, a minha mãe aos meus irmãos que são as razões de mais uma conquista.
Aos meus colegas que de forma directa ou indirectamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Á todos muito obrigado.

EPÍGRAFE

"A vida é muito curta, o tempo é demasiado precioso e o risco é demasiado elevado para ficarmos a pensar no que poderíamos ter sido. Temos de trabalhar juntos para o que ainda podemos ser".

"Hillary Clinton"

RESUMO

O presente trabalho titulado determinação do tamanho do bloco natural do maciço rochoso da Pedreira do Úcua, tem como objetivo analisar os fatores geomecânicos do maciço rochoso da Pedreira do Úcua que serve de base para determinar o tamanho do bloco natural. Este trabalho visa a contribuir ao conhecimento do maciço rochoso desta pedreira para uma melhor organização e resultado dos trabalhos de desmonte das rochas com recurso a explosivos. Para dar cumprimento aos objetivos propostos, fez-se uma revisão bibliográfica de investigações realizadas anteriormente a nível nacional e internacional, um estudo geomecânicos que se realizou através das análises das propriedades físico-mecânicas das rochas e maciço para sua classificação e através do método de cálculo do índice volumétrico, *"volumetric joint Count Jv"* se determinou o tamanho de bloco natural. Apresenta-se como resultados, os estudos da fissuração do maciço, assim como a determinação do tamanho de bloco natural.

Palavras-chave: Bloco natural, Pedreira, Úcua

ABSTRACT

The present work titled determination of the size of the natural block of the rock mass of the Úcua quarry, has the objective of analyzing the geomechanical factors of the rock mass of the Úcua quarry that serves as the basis for determining the size of the natural block. This work aims to contribute to the knowledge of the rocky massif of this quarry for a better organization and result of the work of dismantling the rocks with the use of explosives. In order to fulfill the proposed objectives, a bibliographical review of previously conducted researches at national and international level, a geomechanical study was carried out through the analysis of the physical-mechanical properties of rocks and mass for its classification, and through the method of calculation of volumetric index, "volumetric joint count, *Jv* " was determined the natural block size. The results of the studies of cracking of the massif and the determination of the natural block size are presented.

Keys words: Natural block, Quarry, Úcua

INDICE DE FIGURAS Pág.

Figura 1. Diagrama da metodologia de investigação. Fonte: Autor 2017. 15
Figura 2. Mapa de localização da Pedreira do Úcua. Fonte: fr.wikivoyage.org. 17
Figura 3.Mapa de localização da área. Adaptado Folha 91 IGCA. (1982)..... 18
Figura 4. Vegetação da área da circulante da pedreira do Úcua. Fonte: Autor 2017 ... 19
Figura 5. Hidrografia. Fonte: (m. portalangola.co.ao). 20
Figura 6. Vegetação interna na área da pedreira. Fonte: Autor 2017. 21
Figura 7. Vias de comunicação a pedreira, estrada nº 312.Fonte: Autor 2017. 21
Figura 8. Maciço rochoso da pedreira do Uca. Fonte: Autor 2017. 23
Figura 9. Corte esquemático representativo dos fenómenos de subsistência e de colapso associados ao maciço de calcário. 24
Figura 10. Definição da orientação da descontinuidade (Adaptada de Vallejo et al, 2004). 26
Figura 11. Representações simples e blocos diagramas para exemplificar a continuidade relativa das famílias das descontinuidades (modificado de Oliveira1986). 26
Figura 12. Perfís de rugosidade (Barton et al, 1973 apud Serra e Ojima 1998). 27
Figura 13. Abertura de uma fratura (Telies et al, 2005)..... 28
Figura 14. Representação esquemática dos tipos de abertura das descontinuidades (modificado de oliveira, 1986). 28
Figura 15. Estimativo do índice GSI para maciços rochosos heterogéneos como o flysh (Marinos e Hoek, 2000). 33
Figura 16. Riogel Kupula encartuchado, Anfo a Granel.Fonte:WWW.aborgesdiniz.pt.37
Figura 17. Descarga do material na Britadeira. Fonte: Autor 2017. 37
Figura 18. Rocha fissurada da zona em estudo. Fonte: Autor 2017 41
Figura 19. Informação processado no software DIP. 5. Relativo ao primeiro troço. 45
Figura 20. Projeção dos círculos máximos das quatro famílias de descontinuidades no primeiro troço. 46
Figura 21. Projeção estereográfica e as quatro descontinuidades. Fonte: Autor 2017. . 49
Figura 22.- Ângulos diedros entre os planos S1 – S2 e S2-S1. 50
Figura 23. Ângulos diedros entre os planos S3 - S4 e S4 - S3. 50
Figura 24. Ângulos diedros entre os planos S3S4 e S4S3..... 51
Figura 25. Ângulo diedros entre os planos S1-S2, S2-S4, S1-S4..... 52

Figura 26. Ângulos diedros entre os planos S3-S1, S2-S3, S1-S2. 53
Figura 27. Correlação entre a contagem volumétrica de fissuras e o tamanho de bloco. Fonte: Nomograma Adaptado pela professora Matos, 2017. 56
Figura 28. Forma do bloco da pedreira do Úcua. Fonte: Autor 2022. 57

INDICE DE TABELAS

Tabela 1. Propriedades físico-mecânicas do gnaisse (Lopes, 2016). 35
Tabela 2.- Classificação das rochas de acordo a sua resistência. 40
Tabela 3.Classificação das Formações da Úcua Tendo em Conta o Arranque. 40
Tabela 4. Características das descontinuidades do primeiro Troço (1) recolhidos no campo. 44
Tabela 5. Análises das descontinuidades do primeiro Troço (1) recolhidos no campo. 44
Tabela 6. Descrição dos parâmetros e os valores calculados. 47
Tabela 7. Descrição dos parâmetros e os valores calculados. 48
Tabela 8. Resultados dos cálculos para o tamanho do bloco natural por troços. 55
Tabela 9.Classificação da persistência (ISRM, (1978). 62
Tabela 10. classificação de abertura de descontinuidades (ISRM, 1998). 62
Tabela 11. classificação de espaçamento (ISRM, 1978). 62
Tabela 12. Grau de fraturamento (Guidicini et al, 1972a). 63
Tabela 13. Classificação RMR (Bieniawski, 1989). 63
Tabela 14. Pesos relativos à resistência à compressão simples (Bieniawski, 1989). 63
Tabela 15. Pesos relativos ao espaçamento das descontinuidades (Bieniawski,1989). . 64
Tabela 16. Pesos referentes à condição das descontinuidades (Bieniawski, 1989)..... 64
Tabela 17. Peso devido à influência da água (Bieniawski, 1989). 64
Tabela 18. Diretrizes para a classificação das condições das descontinuidades (Bieniawski, 1989). 65
Tabela 19. Pesos relativos ao RQD (Bieniawski, 1989). 65
Tabela 20. Classificação do maciço rochoso baseado no índice Q (Barton et al., 1974). 65
Tabela 21. Índice do conjunto de descontinuidades do maciço (Barton et al, 1974). ... 66
Tabela 22. Índice de rugosidade das descontinuidades (Barton et al, 1974). 66
Tabela 23. Condições hidrogeológicas (Barton et al, 1974). 67
Tabela 24. Grau de alteração das descontinuidades (Barton et al, 1974). 68
Tabela 25. Factor de redução de tensões, SRF (Barton et al, 1974). 69
Tabela 26.Fundações e obras geotécnicas. 70
Tabela 27: Pesos para as condições das descontinuidades, JCond89 (Bieniawski, 1989). 71
Tabela 28. Tamanho do bloco em dependência do valor de variação do volume do bloco segundo Palmstron 1995. 71

LISTA DE ABREVIATURAS

ISRM – Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas

IAEG - Associação Internacional de Geologia de Engenharia

RMR - traduz a qualidade do maciço rochoso

GSI - (“Geological Strength Index”).

SRF - O parâmetro SRF caracteriza o estado de tensão do maciço.

ÍNDICE GERAL

I. INTRODUÇÃO 13

1.1. Objecto do estudo 14

1.3. Hipóteses 14

1.4. Objectivo Geral 14

1.5. Objectivos Específicos 14

1.6. Métodos e Materiais 14

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 16

2.1 Enquadramento Geográfico 16
2.1.1. Localização geográfica e administrativa da Província do Bengo 16
2.1.2. Área de Estudo: Localização geográfica da Pedreira do Úcua 17
2.1.3. Relevo 18
2.1.4. Fauna 19
2.1.5. Hidrografia 19
2.1.6. Solos e Vegetação 20
2.1.7. Vias de comunicação 21
2.1.8. Economia e cultura da Província 21

2.2 Enquadramento Geológico 22
2.2.1 Geologia da Região 22
2.2.2 Classificações Geológicas 23
2.2.3. Caracterização geomecânica do maciço rochoso 24
2.2.4. Classificação geomecânica do maciço rochoso 29
2.2.4.1. Classificação de *Bieniawski* 30
2.2.4.2. Classificação de Barton 31
2.2.4.3. Classificação GSI ("Geological Strength Index") 32
2.2.4.3.1. Determinação do tamanho de bloco natural 33

2.3. Matéria-prima 35

III. CARACTERIZAÇÃO MINEIRO TECNICA E GEOMEANICA DA PEDREIRA DO ÚCUA. 36

3.1. Métodos de Exploração 36
3.1.1. Remoção de terras de cobertura 36
3.1.2. Desmonte 36
3.1.3. Extração 37
3.1.4. Britagem e Classificação 38

IV. ANÁLISE E RESULTADOS 39

4.1 Introdução 39
4.1.2. Classificação do maciço rochoso de acordo a sua resistência e arranque 39
4.1.3. Classificação das rochas de acordo o seu fissuramento 40
4.1.4. Características das descontinuidades 41
4.1.5. Processamentos dos dados medidos no campo com o uso do Software DIP 5.0 42

4.1.6. Análise dos dados medidos no campo. 43
4.1.7. Caracterização das descontinuidades do Primeiro troço 45
4.1.8. Aplicação da classificação do maciço rochoso pelo sistema Q de Barton para o primeiro troço (1). 46
4.1.9. Definição dos parâmetros de Barton em função das características das descontinuidades. ..47
4.1.10. Dados das descontinuidades do segundo Troço (2) recolhidos no campo. 48
4.1.11. Definição dos parâmetros de Barton em função das características das descontinuidades do segundo troço. 50
4.1.11.1. Cálculo do volume do bloco no Primeiro (1) troço e bloco 1 50
4.1.11.2. Cálculo do volume do bloco no segundo (2) troço. 52

V. CONCLUSÃO 58

RECOMENDAÇÕES 59

I. INTRODUÇÃO

Com o avanço da civilização os seres humanos passaram a modificar as rochas. Cortando-as, transportando-as, e utilizando-as como material de construção de suas casas. Mais tarde utilizaram as rochas para construção de monumentos e aquedutos, pavimentação de ruas, e inúmeras outras aplicações.

A necessidade de um melhor conhecimento do comportamento dos maciços rochosos cresceu a partir do século XIX, com o advento da dinamite e a melhoria dos processos de perfuração, que permitiram a realização de trabalhos de maior envergadura em tais obras. Consistiam principalmente de túneis ferroviários como o de São Gotardo (Suíça), com 15km de extensão construído entre 1872 e 1880, e que durante a obra ocorreram cerca de 800 mortes, provocadas na sua maioria por problemas de higiene e falta de ventilação no túnel. (Lana e Gripp, 1999)

Os métodos de exploração que surgiram a seguir foram em sua maioria baseados em ações práticas e na experiência de antigos exploradores, que em sua época utilizaram e aperfeiçoaram técnicas anteriores. Contudo os progressos na compreensão do comportamento dos maciços rochosos marcaram o início do fim da era da "experiência" (onde indivíduos solucionavam problemas com critérios subjetivos e pessoais), passando a uma abordagem mais objetiva e racional.

Em toda atividade de mineração e a exploração de rocha ornamental inclui-se nesse conjunto, tem como objetivo extrair o maior volume de minério possível, removendo o mínimo de material estéril para se chegar a ele.

O desmonte de rochas com explosivos é uma atividade de Engenharia mineira que requer cuidados adicionais, sendo que só com o cumprimento dos mesmos se torna uma atividade bastante segura. Para o desenho do desmonte de rochas com explosivos é de importante avaliar o tamanho dos blocos naturais que conformam o maciço rochoso, condicionado pelas descontinuidades.

Todas as informações sobre as fraturas dos maciços rochosos, podem ser processados para obter a composição dos blocos existentes num determinado volume do maciço.

Com o objetivo de levar a cabo a presente investigação, elaborou-se a seguinte Metodologia de Investigação:

1.1.Objecto do estudo

O maciço rochoso da Pedreira do Úcua.

1.2.Problema

Necessidade de conhecer e analisar as características geomecânicas do maciço, que servem de base para determinar o tamanho de bloco natural.

1.3. Hipóteses

Conhecendo as propriedades físicas do maciço, assim como o comportamento mecânico das fissuras, é possível realizar a caracterização geomecânica do maciço para a determinação do tamanho de bloco natural da Pedreira do Úcua.

1.4. Objectivo Geral

Avaliar as características geomecânica do maciço rochoso da Pedreira do Úcua que influenciam na determinação do tamanho do bloco natural.

1.5. Objectivos Específicos

- Caracterizar o maciço rochoso da Pedreira do Úcua.
- Analisar as características geomecânica das fissuras do maciço rochoso da Pedreira do Úcua.
- Determinar o tamanho de bloco natural.

1.6. Métodos e Materiais

Para o cumprimento dos objectivos do presente trabalho seguiremos os seguintes procedimentos metodológicos inicialmente fez-se uma pesquisa bibliográfica explorativa referente ao tema em estudo, analisando e interrogando os fundamentos teóricos e práticos das publicações dos diferentes autores.

Análise das características geológicas e mineiro técnicas da área de estudo: Se realizou uma visita técnica a mina com intuito de reconhecer e caracterizar a área de estudo, assim como delimitar a área e realizar o levantamento geotécnico de campo, para tal estúdio geotécnico de campo e recolha das informações necessárias, o segundo horizonte da pedreira foi subdividido em quatro ramos, tendo em conta as diferencias estruturais. A altura dos bancos varia entre 15 à 20 metros. A divisão em ramos permitiu considerar variações importantes dos parâmetros das

descontinuidades, como as diferenças de atitude e espaçamento por exemplo, os parâmetros das descontinuidades necessários ao cálculo dos índices geomecânicos foram levantados em cada troço.

Caracterização e classificação geomecânica das rochas representativas no maciço da mina Úcua: realiza-se uma análise das propriedades físicas e mecânicas do maciço em estudo, do comportamento das descontinuidades e estabilidades do maciço rochoso, através do processamento dos dados levantados no campo procede-se à análise através da implementação do *Software Dip 5.0.*

Classificação geomecânica: Cálculo do factor de segurança Método de *Fellenius*, classificação de Barton e Classificação de *Bieniawski*;

Os matérias utilizados além do *software Dip 5.0 e Roclab 1.0*, bússolas, fitas métricas, calculadoras, computador, meios de protecção do trabalho.

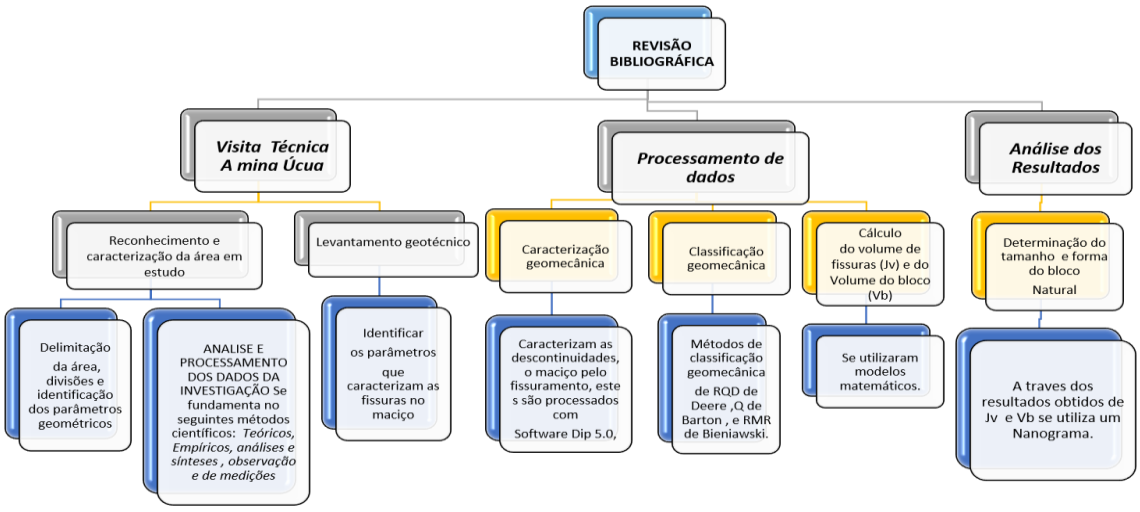


Figura 1. Diagrama da metodologia de investigação. Fonte: Autor 2017.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo está descrito os elementos teóricos da investigação, fazendo uma análise do mais importante relacionado com a classificação do maciço rochoso e por com seguinte a definição do critério de rotura do maciço rochoso.

Quanto às rochas (sobretudo aos maciços rochosos, já que é o comportamento destes e não do material rocha que interessa na generalidade dos problemas do âmbito da Geologia de Engenharia) não há ainda nenhuma classificação universal, embora existam propostas de vários autores com muitos pontos semelhantes.

Essa circunstância levou a que fossem criados respetivamente em 1972 e em 1975 e dois grupos de trabalho:

O primeiro no âmbito da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (ISRM);

O segundo da Associação Internacional de Geologia de Engenharia (IAEG), com a preocupação de estabelecerem sistemas de classificação que pudessem vir a ser aceite internacionalmente.

2.1 Enquadramento Geográfico

2.1.1. Localização geográfica e administrativa da Província do Bengo

O Bengo é uma província do norte de Angola, com capital na cidade de Caxito no município de Dande. A província possui uma superfície de 31 371 km² com uma população estimada em cerca de 373.000 habitantes e é composta por seis municípios: Ambriz, Bula Atumba, Dande, Dembos, Nambuangongo e Pango Aluquém. Estes municípios estão distribuídos da seguinte forma: a norte pelos municípios de Ambriz e Nambuangongo, a este pelos municípios dos Dembos e de Pango Aluquém, a sul pelos municípios de Cambambe e Icolo e Bengo e a oeste pelo município de Cacuaco e pelo Oceano Atlântico. Caxito é a capital da província do Bengo e a sede do município do Dande. Na figura 2 está representada a Localização da província do Bengo tendo em conta a nova divisão administrativa.

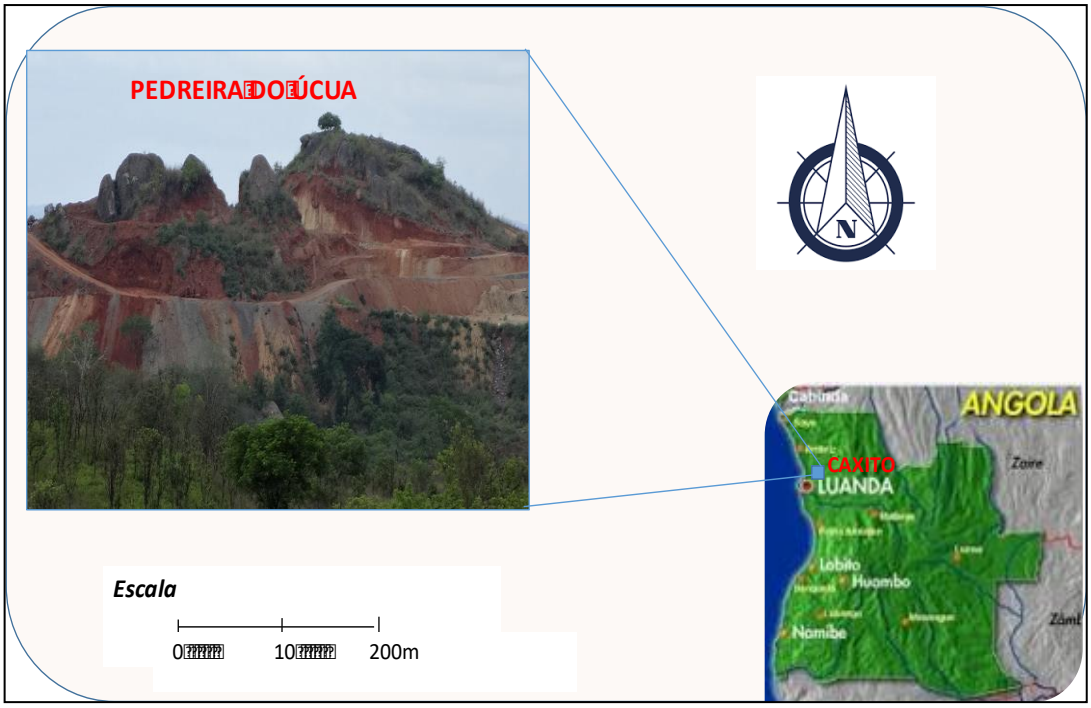


Figura 2. Mapa de localização da Pedreira do Úcua. Fonte: fr.wikivoyage.org.

2.1.2. Área de Estudo: Localização geográfica da Pedreira do Úcua

A área de estudo está localizada geograficamente em Angola, na província do Bengo, no município do Dande na comuna do Úcua. A província do Bengo situa-se a noroeste do país com uma extensão superficial de 25.139 km². Actualmente a província do Bengo tem a seguinte divisão administrativa do seu território: Ambriz, com sede na vila do Ambriz, Bula-Atumba, com sede na vila do Bula-Atumba, A pedreira do Úcua localiza-se na área de Mussenga comuna do Úcua, com uma área de concessão de 80 ha.

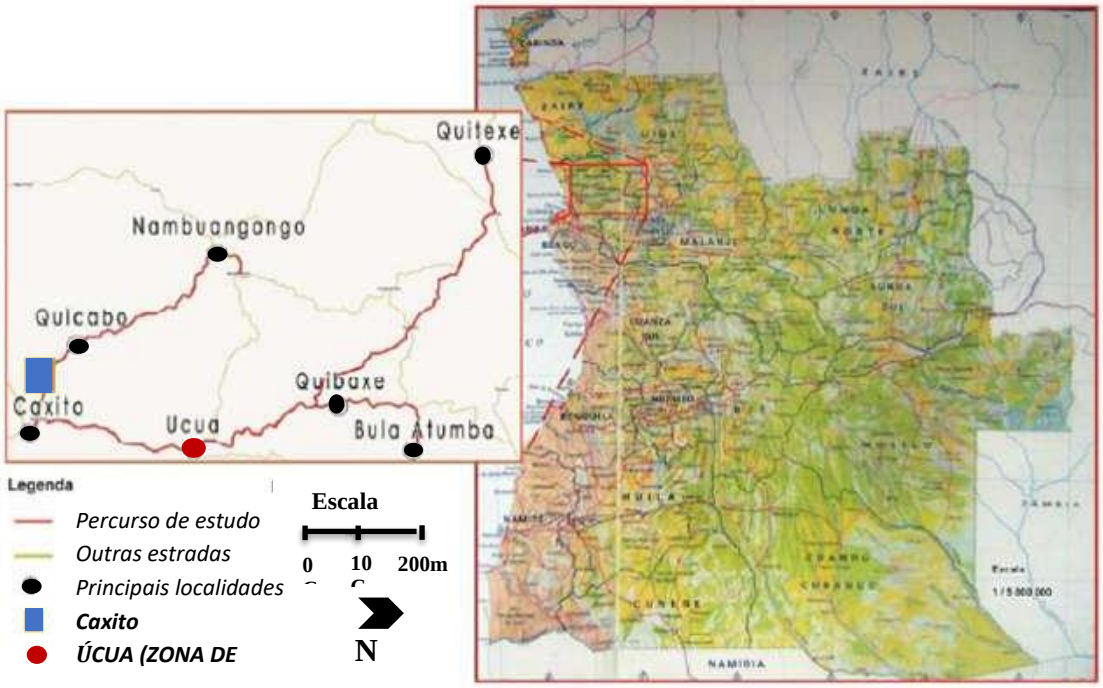


Figura 3.Mapa de localização da área. Adaptado Folha 91 IGCA. (1982)

2.1.3. Relevo

No relevo desta região predominam grandes extensões aplanadas algumas delas sobrelevadas podendo atingir a altitude dos 200 m acima do nível das águas do mar. Apesar da tendência geral numa análise macroscópica ser a planura particularmente na área de concessão ocorrem depressões com algum significado, conforme se comprova pelo diferencial de cotas (máxima 86 m e mínima 21 m).

Segundo Lopes, (2006) os pontos mais elevados correspondem a massas gnáissicas, que por acção tectónica foram suavemente dobradas e levantadas. Por sua vez os pontos mais baixos correspondem a zonas de ruptura falhas, diaclasses e superfícies de cisalhamento e esmagamento, que facilitam a infiltração conduzindo ao longo dos tempos geológicos ao processo de alteração e erosão dando origem a sulcos mais ou menos largos e profundos. Esta particularidade facilita a definição das frentes de desmonte, segundo bancadas direitas em flanco de encosta.

Figura 4. Vegetação da área da circulante da pedreira do Úcua. Fonte: Autor 2017

2.1.4. Fauna

A fauna do Bengo é rica e variada contando com animais como pacaças, javalis, elefantes, macacos, assim como aves exóticas. Na zona da savana e do este pé. A fauna tem como representantes poucos animais domésticos e selvagens. Quanto aos animais selvagens destacam-se mabecos, puku, pacaça gungas a lebre, corça, javali, veados, além das seixas, pacas, nuncies, caçotes, sapos, cobras como jiboias e surucucus, e lagartos, lagartixas. também algumas espécies de aves pertencentes à Famílias de andorinha, gavião e de rolinhas.

2.1.5. Hidrografia

Uma das suas maiores riquezas é a rede hidrográfica que atravessa este território, banhado pelos rios Dande, Zenza, Kwanza e Longa. Como não podia deixar de ser, estes rios são detentores de uma vasta gama de crustáceos e peixes variados entre os quais a muito apreciada tilápia. As bacias hidrográficas existentes na província são: Barragem das Mabubas; Barragem de Quiminha.

Figura 5. Hidrografia. Fonte: (m. portalangola.co.ao).

2.1.6. Solos e Vegetação

A província do Bengo apresenta um subsolo rico em asfalto e gesso e uma larga e historicamente conhecida extensão de terra arável. Os tipos de solos que predominam nesta província são: Ferralíticos e Paraferralíticos; Fersialíticos; Calcários; Arídicos Tropicais; Pouco Evoluídos. Com toda esta riqueza em água e com um clima propício, apresenta uma flora rica em espécies florestais diferentes.

À escala regional podemos dizer que a região onde se localiza a concessão está inserida na mancha de Mosaico Floresta-Savana. Na área da concessão nos espaços cobertos por solo vegetal, cuja espessura varia entre 0,5 e 1,5 m, predominam as espécies arbóreas tais como o embondeiro e cactos-candelabro, nos espaços cobertos por solo residual resultante da alteração do gnaisse e outras rochas afins, predominam arbustos de pequeno e médio porte e nas depressões desenvolvem-se tufos de vegetação herbácea.

Figura 6. Vegetação interna na área da pedreira. Fonte: Autor 2017.

2.1.7. Vias de comunicação

O acesso para área em estudo é feito pelas vias rodoviárias, a mais usada que é de fácil acesso.

Figura 7. Vias de comunicação a pedreira, estrada nº 312.Fonte: Autor 2017.

2.1.8. Economia e cultura da Província

A maior parte da população do Bengo é do grupo étnico-linguístico Ambundu e a principal actividade económica da população é a agricultura de subsistência a caça, a pecuária e a pesca, sendo que no Ambriz o camarão e a lagosta já têm algum peso na economia da província. As fábricas e as grandes indústrias encontram-se desactivadas ou em fase de recuperação. A língua nacional mais falada na província é o kimbundu (MED, 2015).

2.2 Enquadramento Geológico

2.2.1 Geologia da Região

Havendo pouca informação geológica disponível em "Carta de recursos Minerais de Angola à escala 1/1.000.000" e "Avaliação das potencialidades de duas áreas para a produção de inertes para a indústria de construção – região do porto Quipiri – Caxito – Angola, Relatório preliminar, elaborado pela Geoware em 2005, foi efectuado um reconhecimento geológico e geotécnico de superfície e ensaios geofísicos, na região de forma a reconhecer e validar as ocorrências litológicas, com maior significado espacial e valor económico (Lopes, 2006).

Da análise da Carta de Recursos Minerais de Angola, retira-se que na região onde se insere a concessão no sentido Oeste (mar) para Este (interior) se passa do Complexo Cenozóico (tons amarelos; areis e argilas) para o Mesozóico (tons verdes; areias e calcários) e deste para o Arcaico (tons rosas; gnaisses e afins), o que do ponto de vista geotécnico significa de forma geral a passagem de litologias mais recentes e menos competentes, para litologias mais antigas e mais competentes (Lopes, 2006).

À escala regional os gnaisses e as rochas afins apresentam-se frequentemente sob formações mais recentes meso-cenozóicas, situação que também se confirma na área da concessão, embora de forma localizada (Lopes, 2006). Geologia da pedreira do Úcua

da análise mais restrita da área da concessão 80 há, foi possível confirmar a ocorrência de importantes afloramentos que correspondem na sua esmagadora maioria a rochas antigas do arcaico, evidenciando predominantemente metamórficas com destaque para rochas gnáissicas, que evidenciam o zonamento característico deste tipo de formação, em forma de bandas alternadas de minerais de cor clara (quartzo, feldspato e moscovite) e minerais de cor escura (biotita). No contacto com os gnaisses encontram-se xistos, micaxistos e pontualmente quartzitos. Foi também observado na plataforma aplanada mais elevada a ocorrência de materiais do tipo cascalheira, embora de reduzida espessura (Lopes, 2006).

De acordo com a carta geológica de Angola na escala 1:1000000, na região da pedreira do Úcua afloram as formações de idade Pré-Câmbrica do complexo granítico-migmatito afectado pela orogenia Limpopo-liberiana. Essas formações estão identificadas na carta referida. Na área de exploração o maciço rochoso apresenta aspecto compacto, cor cinzenta esverdeada, com zonas esbranquiçadas em proporções muito variáveis.

O grão particularmente no componente félsico (claro) da rocha é fino e localmente são visíveis zonas de coloração rosada, atribuídas a presença de um mineral. Componentes málficos: anfíbola (em grande quantidade), granada, esfena, alguma piroxena e minerais opacos-

componentes félsicos: feldspato calco-sodico (albite) / alcalino (sem maclas evidentes e muito provavelmente também albite/ oligóclase) e algum quartzo-rocha metamórfica da fácies anfibólica-anfibolito.

Figura 8. Maciço rochoso da pedreira do Uca. Fonte: Autor 2017.

O levantamento geológico e geotécnico de superfície, conjugado com os resultados dos ensaios geofísicos, permitiram delimitar três grandes massas com velocidades de propagação superiores a 3000 m/s a profundidades compreendidas entre os 0 e os 7 m, cujo conjunto assume a configuração de U, formando uma depressão central.

Relativamente à compartimentação do maciço, podemos dizer que este evidencia variadíssimas superfícies de ruptura, nomeadamente falhas de pequena extensão com aparente movimento subvertical diaclases que terão a sua origem no arrefecimento brusco da massa mineral aquando da sua génese e da posterior descompressão derivada pela erosão das camadas de cobertura e ainda superfícies de cisalhamento e esmagamento resultantes da acção dos movimentos tectónicos a que o maciço terá sido sujeito.

2.2.2 Classificações Geológicas

Quando se pretende fazer o estudo de uma dada formação interessada num problema de engenharia mineira é corrente iniciá-lo por uma classificação geológica.

Reconhece-se que esta classificação não é absoluta para fins de engenharia, mas atribuísse-lhe utilidade. Embora certos autores (cada vez mais raros) menosprezem o seu papel, chegando ao ponto de propor o seu abandono o certo é que continua a utilizar-se sistematicamente em trabalhos de Geologia de Engenharia a classificação geológica dos terrenos, em virtude da sua

informação implícita. Como exemplo do que se afirma poder-se-á referir o caso de maciços calcários, ou constituídos por outras rochas solúveis, em que a simples designação alerta para a possibilidade de ocorrência de situações, tais como fenómenos de dissolução ou outros problemas idênticos, que poderão ser de muita importância em determinadas obras de construção civil. (Alberto, Flavio 2006).

Conforme é conhecido aqueles fenómenos poderão estar na origem da formação de vazios nos maciços, por vezes de grandes dimensões (cavernas), que estão na origem de fenómenos de subsidência e de colapsos da superfície dos terrenos (Figura 9), ou ditar comportamentos hidráulicos típicos associados à permeabilidade em grande que se processa através da rede de descontinuidades.

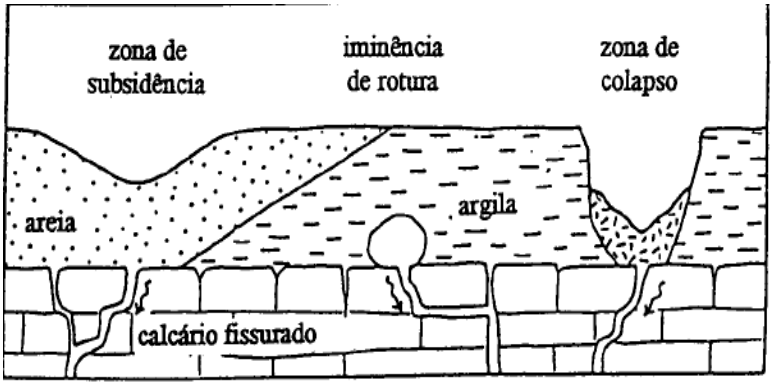


Figura 9. Corte esquemático representativo dos fenómenos de subsistência e de colapso associados ao maciço de calcário.

2.2.3. Caracterização geomecânica do maciço rochoso

A Caracterização geomecânica do maciço rochoso tem como finalidade a obtenção de parâmetros geotécnicos para que seja possível a sua aplicação em projetos de obras de engenharia. Estes parâmetros definem o comportamento das rochas ante a escavação e permite tomar medidas para sua estabilização. Para isto primeiro se realiza a análise das particularidades geológicas das rochas, fazendo uma análise das classificações de parâmetros geológicos de vital importância bem como parâmetros geomecânicos.

As características de qualidade de maciços rochosos são fundamentalmente consequência do seu estado de alteração e de fracturação. A ocorrência de água percolando nos maciços atua também com frequência na respetiva estabilidade. Importa desde já referir que se vai fazer uma abordagem sobre as descontinuidades para assim possibilitar o desenvolvimento do sistema proposto para a realização da classificação. (Alberto e Flavio, 2006).

As descontinuidades são sem dúvida o principal condicionante do comportamento de um maciço e o parâmetro fundamental que tem em conta a caracterização geomecânica do maciço rochoso. Sem elas o maciço se comportaria como uma rocha intacta dependendo apenas das

características intrínsecas do material, como a coesão e o ângulo de atrito. Mais na realidade a resistência a deformabilidade a estabilidade e a permeabilidade entre outras propriedades do maciço rochoso, estão muito mais associadas à natureza das descontinuidades do que a rocha propriamente dita, (Serra e Ojima, 1998).

Descontinuidade é um termo geral que engloba feições geológicas que interrompem a continuidade física do meio rochoso, como fraturas, falhas, contactos, foliações e xistosidades. Ela pode ser definida como qualquer superfície natural em que a resistência a tração é nula ou muito baixa (ISRM, 1978).

Os principais tipos de descontinuidades são as falhas e fraturas. As fraturas ou juntas caracterizam-se por ser um plano de quebra da continuidade da rocha sem movimentação relativa significativa entre os blocos. Um conjunto de fraturas com a mesma orientação e origem forma uma família. A falha é um plano onde ocorreu deslocamento de um bloco em relação ao outro.

Segundo Gabriels (1990), qualquer pessoa que esteja a trabalhar com estudo de rocha independentemente da escala de utilização irá ter que lidar com descontinuidades, seja fraturas ou falhas. Segundo o autor as descontinuidades representam a parte mais fraca do corpo rochoso e é o local onde todos os tipos de processos geológicos (geomecânicos, termal e mecânico) podem interagir.

A orientação de uma descontinuidade é a designação dada à atitude da descontinuidade no espaço, definida pela direção de mergulho ou azimute da linha de maior pendente do plano da descontinuidade, sendo medida no sentido horário a partir do Norte, e pelo mergulho da linha mais inclinada em relação à horizontal. A direção do plano da descontinuidade corresponde ao ângulo entre a direção norte e a linha de intersecção entre o plano que contém a descontinuidade e o plano horizontal, e forma um ângulo reto com a direção do mergulho. A Figura 10 esquematiza a representação espacial do que foi referido. (Alberto e Flavio, 2006).

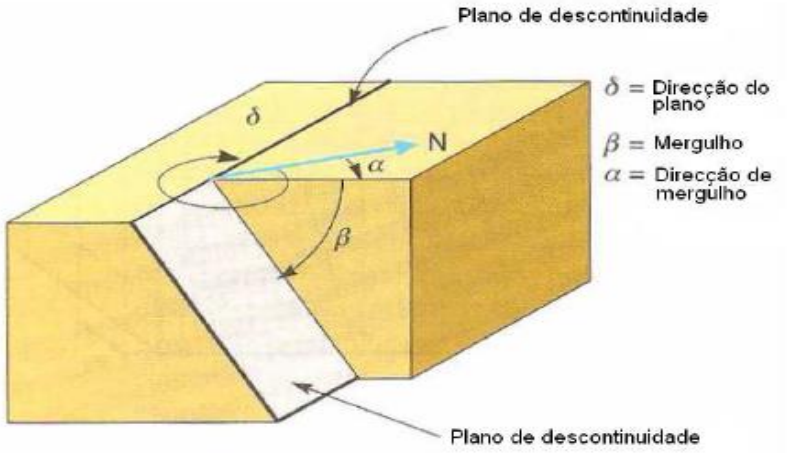


Figura 10. Definição da orientação da descontinuidade (Adaptada de Vallejo et al, 2004).

Número de famílias: um conjunto de descontinuidades com a mesma orientação e origem caracteriza uma família de fraturas. Quando ocorre mais de uma família elas são numeradas de acordo com o grau de importância para o estudo. O conjunto de famílias de um determinado local define um sistema de fratura.

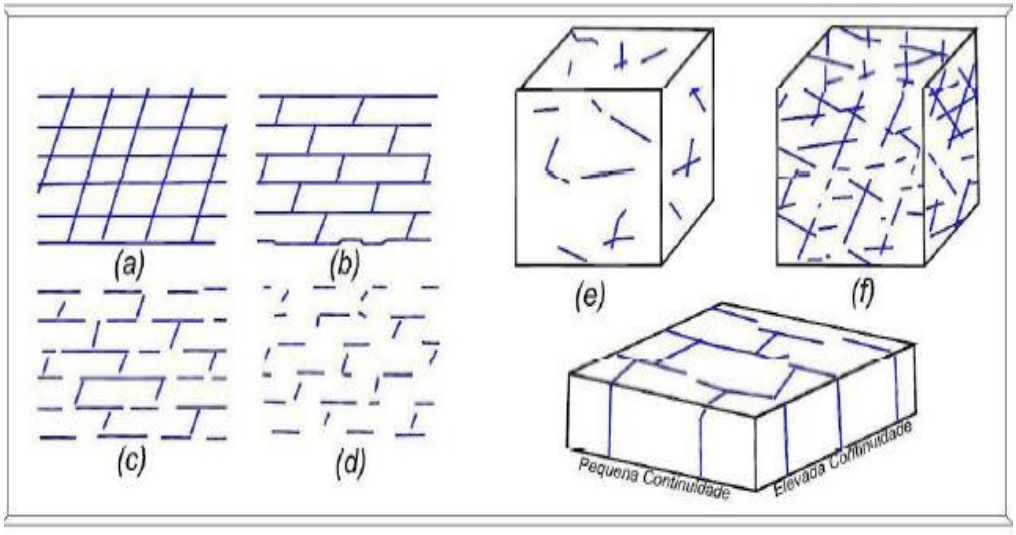


Figura 11. Representações simples e blocos diagramas para exemplificar a continuidade relativa das famílias das descontinuidades (modificado de Oliveira1986).

Persistência: segundo a ISRM (1978), a persistência implica na extensão ou dimensão de uma descontinuidade em um plano e pode ser quantificada observando-se o comprimento do traço da descontinuidade em uma superfície exposta do maciço. As descontinuidades podem ter os seus traços acabando em outras descontinuidades ou terminando na própria rocha. De acordo com Serra e Ojima (1998), a persistência tem especial influência na resistência ao cisalhamento dos maciços rochosos com importância decisiva em certas situações de talude e fundações de

barragens. A ISRM sugere a terminologia apresentada na Tabela 8 (ver anexo), para a classificação da persistência das descontinuidades.

A alteração das paredes das descontinuidades: a alteração do maciço rochoso não ocorre de forma homogênea. Ela ocorre inicialmente nas áreas afloradas do maciço e pelas descontinuidades por onde há a possibilidade de percolação de água. A descrição da alteração das paredes é dada pelo grau de alteração da rocha e pela espessura que a alteração apresenta.

Rugosidade: a rugosidade dos planos de uma descontinuidade é de maneira geral caracterizada pelas ondulações e irregularidades dos planos. De acordo com Serra Júnior e Ojima (1998), a rugosidade influencia especialmente a resistência ao cisalhamento sobretudo quando se trata de descontinuidades não preenchidas, conferindo um incremento ao ângulo de atrito até um nível de tensões a partir do qual se verifica a rutura. A rugosidade é quantificada de acordo com seu perfil geométrico, com forme a (figura 12).

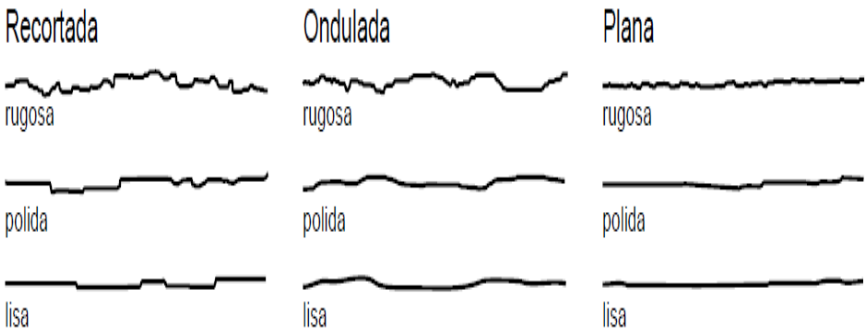


Figura 12. Perfís de rugosidade (Barton et al, 1973 apud Serra e Ojima 1998).

Abertura: a abertura corresponde à distância perpendicular que separa as duas paredes de uma descontinuidade, onde o espaço entre elas pode ser preenchido por ar, água ou outro material de preenchimento como se pode observar na figura 13. A ISRM (1978) sugere a terminologia apresentada na Tabela 9 (ver anexo), para a classificação da abertura de descontinuidades.

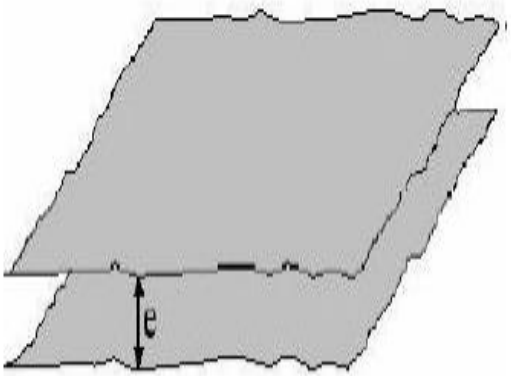


Figura 13. Abertura de uma fratura (Telies et al, 2005).

Preenchimento: preenchimento o termo usado para designar o material presente entre as paredes de uma descontinuidade. O tipo de preenchimento encontrado tem papel importante no comportamento do maciço rochoso, principalmente com relação à resistência ao cisalhamento e a permeabilidade.

Segundo Serra e Ojima (1998), a caracterização do preenchimento deve conter a espessura, a caracterização dos seus constituintes (granulação, mineralogia, textura, cor), e outras informações que se mostram relevantes (ver a figura 14).

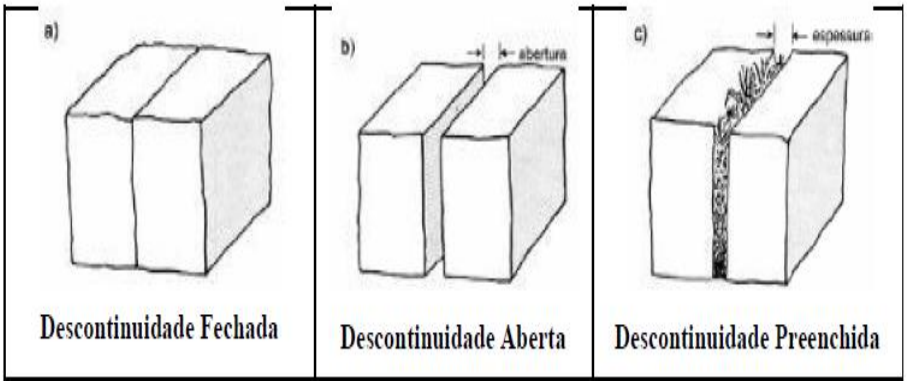


Figura 14. Representação esquemática dos tipos de abertura das descontinuidades (modificado de oliveira, 1986).

Espaçamento: segundo Magalhães e Cella (1998), o espaçamento refere -se à quantidade de descontinuidade por unidade de medida. Por definição (Brown, 1981 apud Magalhães e Cella, op. Cit), o espaçamento é considerado como a distância perpendicular entre duas descontinuidades de uma mesma família, geralmente se referindo à média de espaçamento de famílias. A terminologia proposta pela ISRM é dada pela Tabela 10 (ver em anexo).

Grau de fraturamento: o grau de fraturamento expressa a quantidade de fraturas por metro linear de maciço utilizado principalmente na descrição de testemunhos, ele difere do espaçamento por não estar relacionado à distância perpendicular entre fraturas de uma mesma família, mas reflete a quantidade de pedaços em que o maciço ficou fragmentado.

Guidicini et al. (1972) propõe a classificação da Tabela 11 (Ver em anexo), para determinar o grau de fragmentação.

2.2.4. Classificação geomecânica do maciço rochoso

Os maciços rochosos como meios descontínuos que são, apresentam um comportamento mecânico complexo que de uma forma simplificada pode ser estudado e categorizado em função da sua aptidão para distintas aplicações.

Com este objetivo foram desenvolvidas classificações geomecânicas que permitem caracterizar o maciço rochoso, de forma rápida e pouco dispendiosa através das suas propriedades, quer por observação direta, quer por amostras retiradas das sondagens realizadas in situ, com a atribuição de um índice de qualidade.

A classificação do maciço rochoso segundo a sua qualidade é de grande benefício, pois é muito complexo obter informações relevantes sobre o seu comportamento, nomeadamente no que respeitam às características hidrogeológicas e estados de tensões.

Por conseguinte, as classificações geomecânicas são um ponto de partida para perceber quais as limitações do maciço rochoso. Assim serão apresentadas as principais características dos sistemas de classificação mais relevantes, os procedimentos para a sua utilização e as situações de aplicação. São recomendáveis pelo menos dois métodos de classificação porque diferentes sistemas de classificação podem apresentar diferentes perspectivas nos diversos parâmetros (Hoek, Kaiser, e Bawden, 2000).

As propriedades mais complexas dos maciços em particular a sua anisotropia e o seu comportamento ao longo do tempo não podem ser suficientemente descritos por um só valor.

Todos os fatores e a sua interação devem ser considerados, dado que a determinação das propriedades do maciço rochoso não é suficiente. Um método de identificar um fator que inter-relaciona com outro é através de uma matriz de interações. Nos sistemas de classificação representados matricialmente considera-se que cada parâmetro é composto de duas partes: o peso do parâmetro e a avaliação do maciço rochoso. (Alberto e Flavio, 2006)

Estas classificações atribuem pesos aos parâmetros relativos às características do maciço, sendo posteriormente obtido um índice geomecânico que resulta de aplicação de expressões de cálculo associados ao sistema empírico utilizado.

Permitem normalmente dividir o maciço em determinadas classes de comportamento a que estão associadas nomeadamente, soluções construtivas e suportes bem como certos parâmetros geomecânicos.

A classificação geomecânica serve para classificar os maciços através da observação direta das características geológica e geotécnica, ensaios realizados in situ e ensaios laboratoriais. O objetivo é sistematizar o conjunto de elementos geotécnicos que interessa caracterizar num determinado maciço desde o ponto de vista geomecânico.

Assim serão apresentadas as principais características dos sistemas de classificação mais relevantes, os procedimentos para a sua utilização. Considerou-se para o âmbito do trabalho uma descrição sintética destes sistemas de classificações. (Alberto e Flavio, 2006).

2.2.4.1. Classificação de *Bieniawski*

O sistema de classificação introduzido por *Bieniawski* ou sistema RMR, publicado inicialmente em 1979, traduz a qualidade do maciço rochoso através de um valor compreendido entre 0 a 100, crescendo em qualidade. À medida que um maior número de casos práticos foi sendo examinado, o sistema sofreu contínuos melhoramentos, nomeadamente em 1989. No entanto e apesar desses contínuos melhoramentos a base do sistema de classificação RMR permanece igual.

A classificação aqui descrita é referente a versão de 1989 (Bieniawski, 1989). O sistema é baseado na atribuição de pesos a 6 parâmetros que o autor considerou contribuírem mais significativamente para o comportamento do maciço rochoso. O somatório do peso de cada um destes 6 parâmetros estudados individualmente constitui o índice RMR que traduz a qualidade do maciço dividido em 5 classes propostas pelo autor como se apresenta pela

Tabela 13 em anexo. Os parâmetros a considerar são:

- Resistência à compressão uniaxial da rocha intacta;
- RQD ("Rock Quality Designation");
- Espaçamento das descontinuidades;
- Condição das descontinuidades;
- Influência da água;
- Orientação das descontinuidades.

Nas Tabelas 13, 14, 15, 16 e 17 dos anexos, encontram-se os 5 primeiros parâmetros agrupados em cinco grupos cada, sendo que cada parâmetro tem um peso diferente na classificação global do maciço, pois cada parâmetro contribui de modo diferente para o comportamento do maciço, correspondendo um valor maior a uma melhor qualidade do maciço rochoso. Contudo é de salientar que o peso relativo ao espaçamento das descontinuidades apenas avalia a descontinuidade que apresente as condições mais desfavoráveis. O peso referente à presença de

água, apresentado na Tabela 15 em anexo, contabiliza a influência da pressão de água ou o fluxo de água na estabilidade da escavação, medida segundo a maior tensão principal ou por observação.

As metodologias para caracterização e classificação geomecânica de maciços rochosos mais conhecidas e utilizadas, que serviram de base para o desenvolvimento da presente tese estão sintetizadas a seguir.

A condição das descontinuidades refere-se a detalhes como a rugosidade das superfícies das descontinuidades, a separação ou continuidades, desagregação da parede rochosa ou plano de fraqueza e o material que preenche. Na avaliação deste parâmetro é possível a utilização da Tabela 17 em anexo, sempre que exista uma descrição detalhada das juntas. Assim o valor atribuído ao peso das descontinuidades é o somatório dos cinco parâmetros característicos presentes na Tabela 17 em anexo. Caso não haja valores disponíveis para a utilização dessa relação recorre-se à Tabela 16 em anexo, escolhendo assim uma descrição mais próximo possível da realidade, (Alberto e Flavio, 2006).

2.2.4.2. Classificação de Barton

A classificação introduzida por Barton et al. (1974) segue o mesmo princípio que o sistema de classificação RMR, sendo atribuídos valores a seis parâmetros sistema considerados importantes pelo autor para a caracterização do comportamento do maciço rochoso. São os seguintes (Almaguer, 2001):

- Índice RQD (ver Tabela 18 em anexo);
- Número de famílias de descontinuidades, Jn (ver Tabela 20 em anexo);
- Rugosidade mais desfavorável de uma família de descontinuidades, Jr (ver Tabela 21 em anexo);
- Grau de alteração das paredes das descontinuidades ou preenchimento, Ja (ver Tabela 23 em anexo);
- Influência da água subterrânea, Jw (ver Tabela 22 em anexo);
- Stress Reduction Factor, SRF (ver Tabela 24 em anexo).

Posteriormente é definido um índice de qualidade Q, (Quality Index) que varia entre 0.001 a 1000 numa escala logarítmica e que é determinado pelo produto de três quocientes apresentados pela expressão 1. O sistema Q é por sua vez dividido em 9 categorias de qualidade do maciço representado na Tabela 19 (ver anexo).

$$Q = \frac{RQD}{Jn} \times \frac{Jr}{Ja} \times \frac{Jw}{SRF} \quad (1)$$

É de salientar que os três quocientes apresentados na expressão (1), correspondem a três aspetos relativos ao maciço rochoso:

RQD/Jn - Definido pelos dois primeiros parâmetros correspondentes da estrutura global do maciço, o seu quociente representa uma medida das dimensões dos blocos. Este tem um valor variável entre 200 e 0,5;

Jr/Ja - Indica a resistência ao corte da descontinuidade mais desfavorável caracterizada pela sua rugosidade e estado de alteração. Quociente é crescente com o aumento da rugosidade e diminui com o aumento do grau de alteração;

Jw/SRF - Este representa o estado de tensão do maciço rochoso. O parâmetro SRF caracteriza o estado de tensão do maciço, enquanto que Jw é a medida da pressão de água, que tem um efeito adverso na resistência ao escorregamento das descontinuidades.

A aplicação deste sistema é mais complexa que o sistema proposto por Bieniawski (1989), como tal é incluído nas Tabelas o intervalo das classes dos cinco novos parâmetros utilizados, o valor do índice RQD já foi mencionado anteriormente (Barton et al, 1974). É de referir que contrariamente ao sistema proposto por Bieniawski (1989), Barton et al. (1974) consideraram que a orientação das descontinuidades tem um papel menos relevante no comportamento do maciço. Os parâmetros Jn, Jr, e Ja são segundo o autor, os que mais contribuem para o seu comportamento. Contudo a orientação das descontinuidades está implícita nos parâmetros Jr e Ja, isto porque são aplicados à descontinuidade mais desfavorável. (Almaguer, 2001)

2.2.4.3. Classificação GSI ("Geological Strength Index")

A criação desta classificação geomecânica, desenvolvida por Hoek (1994) e Hoek et al. (1995), está relacionada com o critério generalizado de Hoek- Brown para os maciços rochosos e a estimativas dos seus parâmetros resistentes.

Com esta classificação dos maciços rochosos pretende-se estimar a diminuição da sua resistência estrutura com diferentes condições geológicas. Na avaliação do índice geológico de resistência - GSI - são tidos em conta diversos aspetos do maciço rochoso, como é o caso da sua qualidade em função do grau e das características de fracturação, da sua geológia, do tamanho dos blocos e alteração das descontinuidades. Através da Figura 17 em anexo, é possível estabelecer um intervalo de variação do índice geológico de resistência, visto ser mais aconselhado do que a escolha de um valor médio.

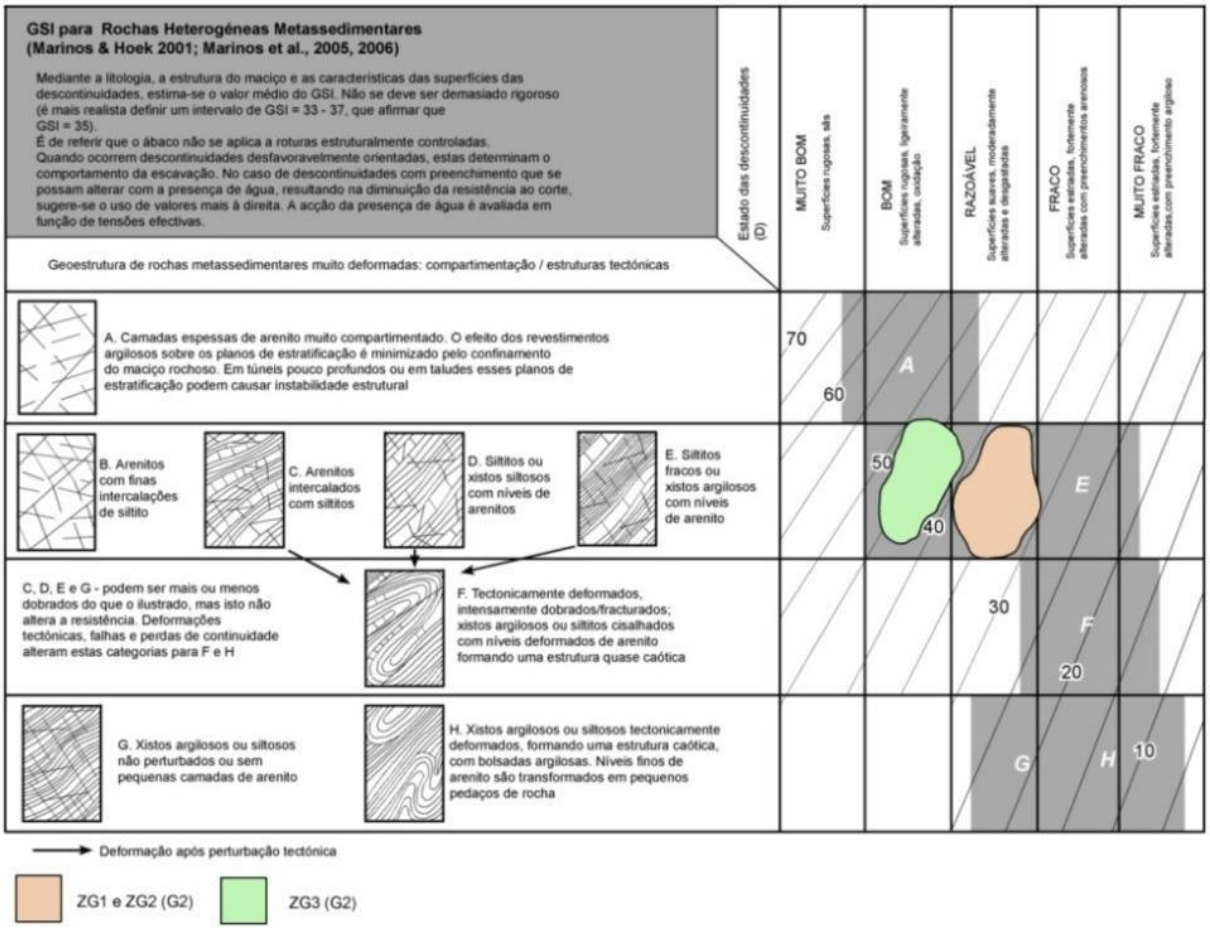


Figura 15. Estimativo do índice GSI para maciços rochosos heterogéneos como o flysh (Marinos e Hoek, 2000).

2.2.4.3.1. Determinação do tamanho de bloco natural

Para o desenho do desmonte de rochas com explosivos, tem uma importância de primeira ordem, determinar ou valorizar o tamanho dos fragmentos naturais que conformam um maciço de rochas condicionadas pelas fissuras:

O número de fissuras que interceptam uma unidade de volume do maciço rochoso se denomina contagem volumétrica de fissuras (Jv).

$$J_v = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3} + \frac{1}{S_4} \qquad (2)$$

Onde:

S1; S2; S3; S4 – espaçamento médio entre as fissuras (m).

O mesmo (contagem volumétrica de fissuras) pode determinar-se, contando todas as fissuras observadas dentro de uma área conhecida, assumindo que as fissuras apresentam uma distribuição uniforme, Jv é encontrado através do cálculo do número de fissuras pela unidade da área, N1 multiplicando-o por um fator K1.

$$Jv = K1 * N1. \qquad (3)$$

O fator K1 variará com a distribuição das fissuras.

Se a distribuição for uniforme nas três dimensões, o fator terá os valores (K1=1,15 – 1,5), dependendo da orientação da superfície com respeito aos planos de fissuras. Para distribuição não uniforme K1 terá maior intervalo de variação. Em condições mais comuns, encontrou-se que K1=1,25 – 1,35, mas por estimação recomenda-se tomar um valor K1 = 1,3.

Nos casos em que aparecem ou ocorrem fissuras irregulares, contam-se todas as fissuras observadas numa unidade de área.

Jv pode obter-se também mediante observações das amostras testemunhas, já sejam o RQD ou frequência de fissuras.

Para a frequência de fissuras N2 (número de fissuras por metro de perfuração), a transformação da medição linear a tridimensional será:

$$Jv = k2 * N2. \quad (4)$$

O fator K2 varia desde 1,65-3, para distribuição uniforme das fissuras em dependência da orientação da verruma. Com respeito as famílias de fissuras determinaram-se que um fator médio K2 = 2; cobre as distribuições de fissuras mais comuns. Se a verruma perfuradora está orientada de forma paralela ou perpendicular a uma família de fissuras predominante, o fator K2 terá maior intervalo que o indicado antes e deve ser ajustado para cima (por excesso) ou para baixo (por defeito) respetivamente, segundo a situação concreta.

Para RQD: É importante ter-se em conta que uma interpretação incorreta do RQD pode dar uma correlação falsa entre RQD e Jv.

Entre Jv e o tamanho de blocos naturais existe uma correlação linear, embora estes variam de acordo ao grau de fissuração e como Jv depende do padrão de fissuração, o tamanho dos blocos deve ser ajustado tanto pelos ângulos entre as diferentes famílias de fissuras, como pela forma do bloco.

Existe um nomograma para a determinação do volume dos blocos para as três formas principais:

- Cúbica
- Alongada (paralelepípedo)
- Plana

O diagrama dará o volume (V0) dos blocos para o caso em que as fissuras se interceptam 90º, uma com as outras. Quando se interceptam com outros ângulos, o volume deve ser ajustado.

Desta forma, tem-se:

$$V = V_0 \times \frac{1}{\sin \alpha} \times \frac{1}{\sin \beta} \times \frac{1}{\sin \gamma} \quad (5)$$

Onde:

α, β, γ - são ângulos entre as famílias de fissuras.

2.3. Matéria-prima

O gnaisse representa a matéria-prima mineral extraída na pedreira do úcua, estas rochas a nível do depósito se caracterizam por evidenciar um bandeamento alternado, predominando o quartzo nas bandas de cores claras e biotita nas de cor escura.

A massa mineral existente no depósito é heterogénea, prevalecendo o gnaisse e existindo em menor quantidade xistos e quartzo. Esta massa estende-se por uma área longa ultrapassando a área de concessão pelo que se tornou difícil determinar a forma do depósito.

Da conjugação dos dados adquiridos a partir dos ensaios efectuados sobre as amostras recolhidas em afloramentos reforçam o uso deste gnaisse como material de construção adequado, com base as suas características físico-mecânicas semelhantes aos descritos na bibliografia científica (Lopes, 2006).

Em seguida apresentam-se as propriedades físico-mecânicas do gnaisse:

Tabela 1. Propriedades físico-mecânicas do gnaisse (Lopes, 2016).

PROPRIEDADES	VALORES
Densidade (kg/m3)	2650
Porosidade (% volume)	0,4-0,2
Conteúdo de água (% peso)	0,1-0,6
Resistência a compressão (kg/cm2)	1600-2800
Resistência a percussão (kg/cm2)	6-12
Coeficiente de empolamento	1,37

III. CARACTERIZAÇÃO MINEIRO TECNICA E GEOMEANICA DA PEDREIRA DO ÚCUA.

3.1. Métodos de Exploração

Realiza-se a exploração do jazigo pelo método de lavra por encosta, variante da lavra por bancadas e como o próprio nome sugere é desenvolvido segundo bancos ou degraus. Que têm uma altura de 10 m, uma largura de 6 m e um ângulo de inclinação de aproximadamente 87º.

Para se chegar à fase de lavrar o jazigo, são realizados trabalhos preparatórios na área de exploração visando facilitar o acesso à massa mineral. Entre estes destacam-se: O desmatamento; Decapeamento; Aberturas de vias de acesso. Na realização destes trabalhos usam-se os seguintes equipamentos: Bulldozers, motoniveladora, escavadoras, pá carregadora etc.

Após o trabalho de desenvolvimento segue-se o desmonte por explosivos, a carga feita pela escavadora o transporte e descarga do material por caminhões.

A exploração é feita a céu aberto obedecendo as seguintes etapas:

3.1.1. Remoção de terras de cobertura

3.1.2. Desmonte

Este processo é empregado para romper a compacidade da rocha, por meio de substâncias explosivas Riogel e Anfo, (ver figura 16) tornando possível a sua remoção. Uma operação de desmonte pode ser realizada com dois diferentes objectivos, quais sejam a obtenção de bens minerais e a abertura de espaços para fins diversos, o primeiro caso constitui o principal objectivo a qual a pedreira do Úcua faz o desmonte.

Figura 16. Riogel Kupula encartuchado, Anfo a Granel.Fonte:WWW.aborgesdiniz.pt.

O material Gnaisse é desmontado com a finalidade de passar por um processo de cominuição e posteriormente ser comercializado à terceiros. Está operação é executada com recurso a uma perfuratriz e um compressor.

3.1.3. Extração

A extração propriamente dita decorre a céu aberto em flanco de encosta seguindo a direcção de desmonte SW, por degraus direito com altura média de 6-7 metros e de cima para baixo. Este processo inicia-se com perfuração vertical da rocha, segundo o diagrama de fogo previamente dimensionado.

Posteriormente é executado o seu carregamento e consequente rebentamento. O passo seguinte consiste na carga e transporte da pedra resultante do desmonte com explosivos para a central de britagem e classificação, onde irá ser submetida a um processo de fragmentação e classificação por tamanho. Quando necessário previamente ao carregamento e transporte com caminhões para a britadeira, se utiliza uma escavadora equipada com martelo demolidor hidráulico, para fragmentar os blocos de maiores dimensões.

Figura 17. Descarga do material na Britadeira. Fonte: Autor 2017.

3.1.4. Britagem e Classificação

A central de britagem e classificação trabalha segundo uma sequência de três estágios de moagem, procedendo-se a uma primeira classificação antes do primeiro estágio de fragmentação, onde são removidas as terras provenientes da frente de pedreira daí os resíduos inertes que se produzem.

O material é fragmentado num britador de maxilas sendo conduzido a um pré-stock. Seguidamente procede-se ao segundo estágio de fragmentação através de um moinho cónico sendo conduzido à classificação que possibilita a stockagem de todo o agregado britado inferior a 22 mm que é classificado em 3 lotes com as seguintes dimensões 0/4 mm, 0/16mm e 16/22 mm. O Agregado que tiver dimensão superior a 22 mm é sujeito a mais um estágio de fragmentação recorrendo a um moinho impactor, voltando ao círculo de classificação acima referido. Este círculo também oferece a possibilidade de produção de agregado britado não classificado, quando se procede apenas a recolha do material com granulometria extensa 0/32mm.

IV. ANÁLISE E RESULTADOS

4.1 Introdução

A alteração de uma rocha é um processo causado pela ação das águas, anidrido carbónico e oxigénio. O efeito da alteração não fica limitado a superfície, mas se estende até a profundidade dependendo da presença ou não de canais que permitem o fluxo de água e a comunicação com a atmosfera. A alteração da mesma resulta em decréscimo da resistência do ponto de vista de engenharia, razão pela qual é necessário ter um conhecimento das características do material em estudo. (Lemos e Victor, 2008).

A rocha metamórfica tipo Gnaisse que predomina a área em estudo, apresenta textura fanerítica fina a média e coloração acinzentada, superficialmente com algumas porções escuras devido à percolação de águas meteóricas. Sua condição de alteração é rocha sã e de boa consistência sem evidência de alteração mineral. Apresenta fraturamento em diversas direções compondo duas ou mais famílias de descontinuidades. Ocorrem também em alguns locais diques quartzo-feldespáticos pós-tectônicos cortando o maciço, (Pedro ,2006).

O maciço rochoso da Pedreira do Úcua é um maciço constituído por rochas gnaisses fissurados, com variação dos seus principais parâmetros tais como: Espaçamento, abertura, rugosidade, orientação, humidade.

Para o estudo geotécnico de campo e recolha das informações necessárias, o segundo horizonte da pedreira foi subdividido em quatro ramos, tendo em conta as diferenças estruturais. A altura dos bancos varia entre 15 à 20 metros. A divisão em ramos permitiu considerar variações importantes dos parâmetros das descontinuidades, como as diferenças de altitude e espaçamento por exemplo. Os parâmetros das descontinuidades necessários ao cálculo dos índices geomecânicos foram levantados em cada troço.

4.1.2. Classificação do maciço rochoso de acordo a sua resistência e arranque

A resistência pode ser definida como a força que um dado material oferece quando submetido a determinados esforços (pressão, choques).

As rochas Úcua, podem ser classificadas segundo a sua resistência pelo critério de classificação de Deere e Miler (1963). Assim temos em tabela 2 (Pedro, 2007).

Tabela 2.- Classificação das rochas de acordo a sua resistência.

Maciços rochosos		
	Resistência a compressão (Mpa)	Classificação
Gnaisse preservado, muito resistente, fracamente fissurado.	73	Resistência média.

Tabela 3.Classificação das Formações da Úcua Tendo em Conta o Arranque.

Rochas	Categoria de dureza	Método de escavação
Tufo-graveliticos, arenitos tofáceos e aleurolitos tofáceos. Tufos kimberliticos e brechas tofáceas.	Fraca	Escarificação
Gnaisse meteorizado pouco resistente.	Média	Escarificação
Gnaisse relativamente preservado resistente fissurado com intercalações de quarzo.	**Medianamente Dura**	**Desmonte com explosivo**
Gnaisse preservado muito fracamente fissurado.	**Dura**	**Desmonte com explosivo**

4.1.3. Classificação das rochas de acordo o seu fissuramento

As descontinuidades são estrutura geológica que interrompe a continuidade física dos maciços rochosos. O termo engloba todas as estruturas como falhas, fissuras, contato entre duas rochas, etc.

A caracterização das descontinuidades de um maciço rochoso deve levar em conta uma grande variedade de parâmetros. São as descontinuidades as que condicionam as propriedades geotécnicas de grande número de terrenos (maciços rochosos), conferindo-lhes um comportamento em termos de deformabilidade, resistência ao corte.

A análise do grau das fissuras que apresenta o maciço se faz com vista a determinar o tamanho de bloco natural formado pelas diferentes famílias de fissuras ou descontinuidades.

De acordo com a sua magnitude se classificam em primeira, segunda e terceira ordem.

- **Primeira ordem:** suas dimensões variam entre 10-9 e 10-5m,

aparece no interior dos cristais em dependência das condições, surgimento e desenvolvimento destas.

- **Segunda ordem**: suas dimensões variam entre 10-4 e 10-1m, aparece entre um e outro cristal.

OBS: As fissuras destas duas primeiras ordens surgem no processo de diagéneses dos sedimentos ou de cristalização dos magmas. Sua orientação geralmente é caótica.

- Terceira ordem: apresenta longitudes consideráveis que vão desde alguns milímetros até centímetros. Surgem nos processos de: metamorfismo, esfriamento, intemperismo das superfícies desnudadas, tectonismo, assim como a realização do trabalho no maciço. Todas as fissuras de terceira ordem ao cortar-se, divide, mas rochas em blocos de forma mais ou menos regular. As fissuras tectónicas comummente formam um sistema bem definido de várias famílias de fissuras quase perpendiculares entre si.

As fissuras de terceira ordem exercem uma influência substancial nos processos de: desmonte, fragmentação, deslocamentos, deslizamentos e derrubamentos. Pelo grau em que se revelam, classificam-se em: abertas, fechada.

Podem estar preenchidas com outras substâncias ou não. A figura 18 abaixo mostra como as fissuras afetam as rochas.

Figura 18. Rocha fissurada da zona em estudo. Fonte: Autor 2017

4.1.4. Características das descontinuidades

Ao estudar as fissuras de terceira ordem num determinado maciço rochoso, devem considerar-se as seguintes características:

- Orientação das fissuras (direção de mergulho);

- Tamanho das fissuras (consistência ou comprimento e abertura);
- Natureza das fissuras (rugosidade, carácter da parede e seu preenchimento);
- Espaçamento das fissuras (o número das fissuras na área);
- Condições defluxo;
- Número de famílias;
- Tamanho do bloco.

As influências destes parâmetros sobre as fissuras valorizam-se de forma quantitativa por alguns dos índices de fissuras (abertura, quantidade, etc.) por unidade de consistência ou comprimento, área ou volume de rocha por isso os índices quantitativos de fissuras se dividem em: lineares, planos e volumétricos.

Uma das dificuldades para a elaboração de um sistema para caracterizar o grau de fissuras é a sua estrutura tridimensional. (Pismenniy e Kovalenko, 2008).

As metodologias consultadas explicam que, quando a fissura está formada por famílias de fissuras e se podem realizar as observações nas superfícies, como espaçamento individual para cada uma das famílias de fissuras, este varia dentro de certos intervalos de limites. Calculando o conteúdo volumétrico das fissuras (Jv) do menor e maior espaçamento, podendo encontrar para cada família o mínimo e o máximo grau de fissuras.

De acordo com as características da zona da mina onde se levou a cabo a investigação, as reduzidas e escassas bibliografias consultadas (sobre o jazigo ou grau de fissuras Úcua), se referem aos primeiros trabalhos realizados no mesmo.

Quanto aos estudos do grau de fissuras desde o ponto de vista geomecânico de todas as formações que constituem a zona perspectiva e analisada na época, sem definição nem sequer um grau de detalhe marcado estruturalmente;

Aspeto este importante a considerar neste caso e aos trabalhos relacionados com as classificações geomecânicas aplicadas na definição do critério de rotura do maciço em questão.

No caso do Úcua motivo da presente investigação a sua localização está associada a uma área semi-montanhosa com algumas elevações de drenagem superficial que podem ser circulares, com predomínio para a direção su-sudoeste, unindo-se as descontinuidades locais. (Pismenniy e Kovalenko, 2008).

4.1.5. Processamentos dos dados medidos no campo com o uso do Software DIP 5.0

Para o tratamento dos dados relativos as orientações das descontinuidades são convenientes fazer a representação dos planos a traves dos respetivos polos. A partir destas representações pode-se proceder a análise das concentrações dos polos das descontinuidades e determinar as orientações mais representativas das famílias de descontinuidades. Desta feita o processamento

foi realizado aplicando as técnicas de projeção estereográfica, onde se utilizou o software Dip. Versão 5.0 (Hook e Brown, 2000), que consiste em processar os dados medidos no campo e desta forma obter-se o comportamento das fissuras nos maciços. Esta representação é efetuada traçando curvas que vão delimitando áreas de idêntica densidade de ocorrência dos polos (curvas de Iso densidade). As cores identificam as áreas com diferentes concentrações de polos, de acordo com a legenda. A traves das diferenças de cor é possível definir quais as famílias mais importantes (Kullberg e Silva, 1981; Lisle e Leyshon, 2004) e (Vieira, 2001).

4.1.6. Análise dos dados medidos no campo.

No levantamento efetuado no campo procedeu-se a definição das características como: a continuidade, abertura, rugosidade, material de preenchimento, orientação das fissuras (direção do mergulho), espaçamento, número de famílias, estado de alteração de cada malha de descontinuidade etc. Também foi possível determinar a altura do talude, o ângulo, a longitude ou comprimento.

- A persistência mais comum das descontinuidades é entre 50 cm a 3 m, pelo que, pode ser classificado como contínua;
- As descontinuidades apresentam uma abertura variável, isto é, entre (1-4) cm e 5 mm fechadas;
- Quanto à rugosidade determinou-se que as superfícies das descontinuidades são rugosas e irregulares no primeiro e quarto troço, onduladas e lisas no segundo e terceiro troço;
- O material de preenchimento está compreendido entre 4 cm e com espessura <5 mm;
- O grau de alteração da superfície das descontinuidades foi classificado como ligeiramente alterado devido a meteorizarão;
- Quanto ao número de famílias, constatou-se que todos os troços apresentam quatro famílias ou sistemas fissuras e a separação entre estes sistemas é de 5 cm a 1m.
- O tipo de material que preenche as aberturas é: melonite que é o material de rocha matriz que resulta do movimento entre as paredes das descontinuidades;

Relativamente a presença de água na totalidade do afloramento que constitui os quatro troços do talude, não se verificaram situações de percolação de água, designadamente ao longo das superfícies de descontinuidades húmidas durante ou imediatamente após o período de maior precipitação.

Tendo em consideração o levantamento efetuado ainda que estimado nas piores condições possíveis, apresenta-se seco ao longo de todos os troços.

As informações recolhidas no campo foram analisadas e processadas por troço e efetuada a comparação entre os parâmetros bem como a determinação da qualidade da rocha com a aplicação das classificações geomecânicas do maciço rochoso segundo Bieniawski e Barton (1979).

A seguir se faz a avaliação e processamento dos dados medidos no campo por troço analisado, e obtidos os diagramas de contorno e de círculos máximos, com o uso das projeções estereográficas. Com o objetivo de obter o número de famílias de descontinuidades, seus parâmetros de orientação e a formação de blocos e cunhas.

Tabela 4. Características das descontinuidades do primeiro Troço (1) recolhidos no campo.

No	Família	Abertura (m)	Distância (cm)	Tipo de Material	Persistência (m)	Superfície	Observação
1	80/180	0,05	12,56	Gnaisse	2,81	Rugosa	Contínua
2	88/192	0,05	14	Gnaisse com água	1,34	Rugosa	Contínua
3	23/248	0,5	10	Gnaisse meteorizado	12,5	Plana	Limite de contacto
4	29/296	0,7	0	Gnaisse	0	Plana	Sistema de falha e Limite de contacto
Média		0,33	9,14	Gnaisse meteorizado	4,16	Rugosa-Planar	Contínuo e limite de contacto

Tabela 5. Análises das descontinuidades do primeiro Troço (1) recolhidos no campo.

Análises das descontinuidades do primeiro Troço (1) recolhidos no campo	
PARÂMETROS	TROÇO 1
Espaçamento entre fissuras (cm)	5 e 10
Separação entre sistemas (cm)	10 a 50
Abertura entre descontinuidades	1 a 4cm e 5 mm fechada
Superfície	Rugosas e irregulares;
Preenchimento (cm)	4
Tipo de material	milonita
Altura do talude (m)	10
Longitude ou Comprimento (m)	20

4.1.7. Caracterização das descontinuidades do Primeiro troço

O resultado obtido a traves do software DIP, permite analisar a orientação das descontinuidades quanto ao mergulho (Dip) e direcção do mergulho (Dip direction).

Neste troço pode-se observar que o maciço apresenta várias famílias de descontinuidades, onde a maior concentração de medições feitas encontra-se para o caso do mergulho (Dip) em ângulos abruptos, quase verticais (800-850) e para a direção do mergulho (Dip direction) no terceiro e quarto, se agrupam desde 2200 a 3000. Na Figura 21 e mostra-se o diagrama obtido através do software DIP. 5 Como resultado do tratamento das medições do conjunto de descontinuidades. Na figura pode-se ver a concentração de polos nas direções NW e NE, pelo que perpendicular ao polo pode-se obter os planos de fissuras, para isto obteve-se os diagramas de círculos máximos.

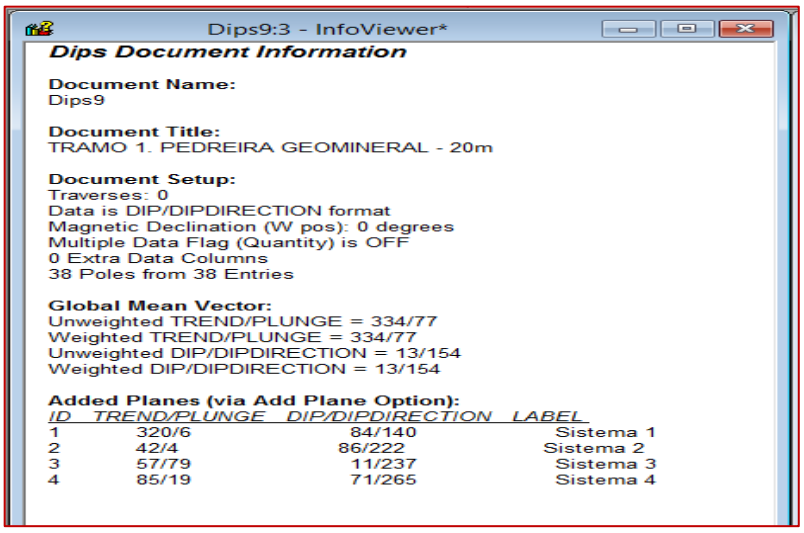


Figura 19. Informação processado no software DIP. 5. Relativo ao primeiro troço.

Segundo a análise do processamento das descontinuidades neste troço pode-se dizer que: apresenta quatro famílias de descontinuidades que formam blocos e cunhas, com as seguintes direções: (84/140) º; (86/222)0; (11/237)0; (71/265)0.

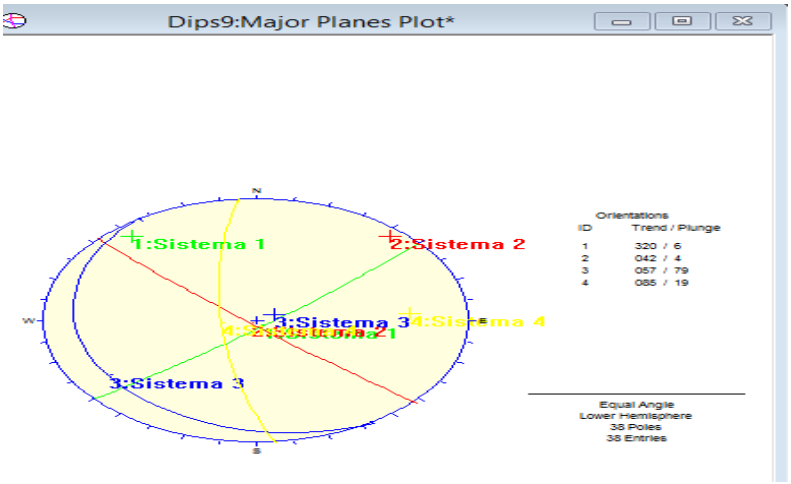


Figura 20. Projeção dos círculos máximos das quatro famílias de descontinuidades no primeiro troço.

4.1.8. Aplicação da classificação do maciço rochoso pelo sistema Q de Barton para o primeiro troço (1).

Cálculo do RQD:

Segundo Palmstron, o RQD pode ser estimado a partir da contagem volumétrica de juntas (J_v) , que deve ser calculado pelos espaçamentos entre juntas. Neste caso será calculado o RDQ pela seguinte expressão:

$$RQD = 115 - 3{,}3 * Jv \qquad (6)$$

O troço possui quatro famílias de descontinuidades com espaçamento entre fissuras que varia de 10 a 50 cm, logo:

$$J_v = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3} + \frac{1}{S_4}, \qquad (7)$$

Onde: $S_1,\ S_2, S_3, S_4;$ São espaçamentos entre famílias de descontinuidades.

$S \in [\![10;50]\!],\ S_1 = 0.10\ m;\ S_2 = 0{,}23\ m;\ S_3 = 0{,}36\ m\ S_4 = 0{,}50\ m;$

Substituindo os valores na fórmula tem-se:

$$J_v = \frac{1}{0{,}10} + \frac{1}{0.23} + \frac{1}{0.36} + \frac{1}{0.50} = 19.13 fissuras/m^3$$

Sendo o valor de J_v Obtido, pode-se calcular o RQD:

$$RQD = 115 - 3{,}3 * Jv$$

$$RQD = 115 - 3{,}3 * 19{,}13$$

$$RQD = 51{,}87\%$$

4.1.9. Definição dos parâmetros de Barton em função das características das descontinuidades.

Os parâmetros de classificação podem ser estimados de acordo as Tabelas que se encontram em anexo (Tabelas 18 a 24). O valor do índice Q pode variar de 0,001 a 1000, (Barton, et al, 1974).

Neste troço as características das fissuras são:

1. O primeiro troço apresenta quatro famílias ou sistemas de fissuras;
2. As superfícies são rugosas e irregulares;
3. Paredes duras e compactas, isto é, relativamente ao contacto entre paredes das descontinuidades;
4. Para as escavações secas ou caudal afluído pequeno isto é <5l/min localmente,
5. Zonas singulares de cortes em rochas competentes (profundidade de escavação$\leq 50m$).

Segundo as características das descontinuidades anteriormente descritas, Barton oferece uma qualificação para obter finalmente o Índice Q. ver tabela 5.

Tabela 6. Descrição dos parâmetros e os valores calculados.

Parâmetros Da classificação de Barton	Descrição segundo Barton para o maciço da Úcua	Valores obtidos
RQD	Representa o grau de fraturamento do maciço rochoso o a qualidade do maciço	0,5187
Jn	Representa o número de famílias de descontinuidade ou sistema de fraturas; para este troço existem 4 famílias.	15
Jr	Representa a rugosidade das descontinuidades ou fraturas; para este troço as superfícies são rugosas e irregulares.	3
Já	Representa alteração das paredes das descontinuidades ou fraturas; neste troço as paredes são duras e compactas.	0,75
Jw	Representa o caudal. Neste troço considerou – se que as escavações são secas ou com fluxo pequeno isto é <5 l/ min.	1
SRF	Stress Redution Factor; zonas singulares de corte em rochas competentes (profundidade de escavação ≤ 50m).	5
Jv	Parâmetro volumétrico que corresponde ao número total de fraturas por metro cúbico.	19,13fissuras/m3

Com estes valores pode-se calcular o índice Q, dada pela expressão:

$$Q = \frac{51,87}{15} \times \frac{3,0}{0,75} \times \frac{1,0}{5,0} = 2,8\% \qquad (8)$$

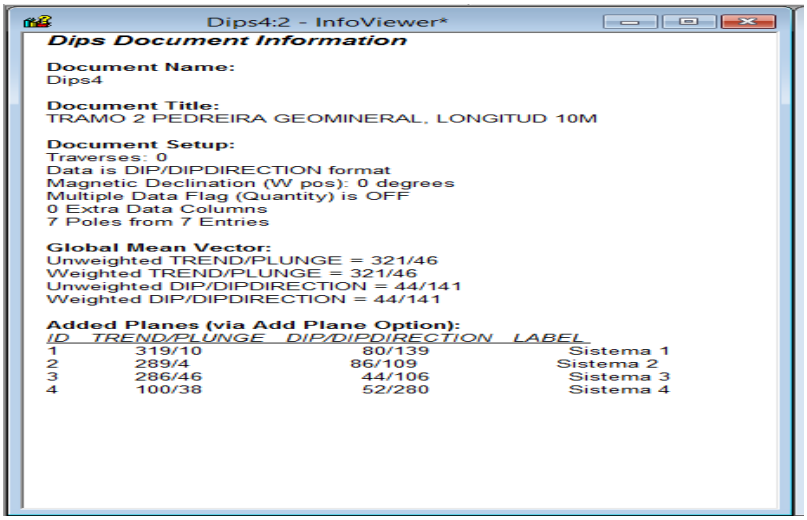
O valor do Q obtido significa que o maciço rochoso possui qualidade Pobre, cujo intervalo de variação, segundo Barton está entre $Q \in [\![1,0;\ 4,0]\!]$.

4.1.10. Dados das descontinuidades do segundo Troço (2) recolhidos no campo.

Tabela 7. Descrição dos parâmetros e os valores calculados.

Dados das descontinuidades do segundo Troço (2) recolhidos no campo	
PARÂMETROS	TROÇO 2
Espaçamento entre fissuras (cm)	8 e 40
Separação entre sistemas(cm)	10 a 50
Abertura entre descontinuidades	1 a 4cm e 5 mm fechada
Superfície	Contínuas, onduladas e lisas
Preenchimento (cm)	10
Tipo de material	milonita
Altura do talude (m)	10
Longitude ou Comprimento (m)	20

No segundo troço (2) conforme as análises feitas o maciço apresenta várias famílias de descontinuidades em que a maior concentração das medições feitas, encontra-se para o caso do mergulho quase vertical (49º) e a sub-horizontal (73º e 85º). Relativamente à direção do mergulho, nota-se uma concentração das descontinuidades subvertical (91º) e as sub-horizontais que se agrupam desde 133º-175º para 217º-260º. Ver figura 3.4 e 3.5.



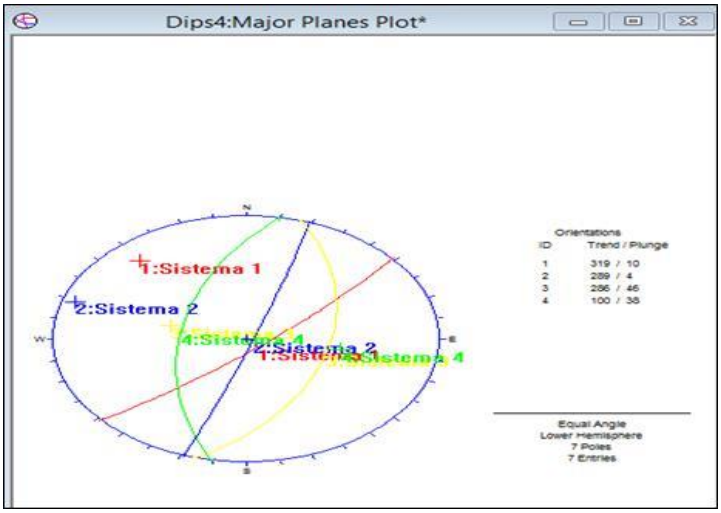


Figura 21. Projeção estereográfica e as quatro descontinuidades. Fonte: Autor 2017.

Segundo a análise do processamento das descontinuidades neste troço pode-se dizer que: apresenta quatro famílias de descontinuidades que formam blocos e cunhas, com as seguintes direções: (80/139)0; (86/109)0; (44/106)0; (52/280)0.

3.7.4. Aplicação da classificação do maciço rochoso pelo sistema Q de Barton para o segundo troço (2).

Cálculo do RQD

Sabendo que RQD é calculado pela expressão de Palmstron como se pode observar, então:

$RQD = 115 - 3{,}3 * J_v$;

mas antes se determina o J_v Pela seguinte fórmula:

$$J_v = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3} + \frac{1}{S_4}, \qquad (10)$$

Onde: S_1, S_2,S_3,S_4São espaçamentos entre famílias de descontinuidades.

$S \in [\![0{,}08; 0{,}40]\!]$, $S_1 = 0{,}08\ m;\ S_2 = 0{,}18\ m;\ S_3 = 0{,}28\ m\ S_4 = 0{,}40\ m$;

Substituindo os valores na fórmula temos:

$$J_v = \frac{1}{0{,}08} + \frac{1}{0{,}18} + \frac{1}{0{,}28} + \frac{1}{0{,}40} = 24{,}2\ \frac{Fissuras}{m^3}$$

Então:

$$RQD = 115 - 3{,}3.J_v \Rightarrow RQD = 115 - 3{,}3 \times 24{,}2$$

$RQD = 35{,}14\%.$

4.1.11. Definição dos parâmetros de Barton em função das características das descontinuidades do segundo troço.

4.1.11.1. Cálculo do volume do bloco no Primeiro (1) troço e bloco 1

Ângulos diedros entre sistemas de fissuras: S3 –S4; S4- S3; S1 –S2; S2- S1.

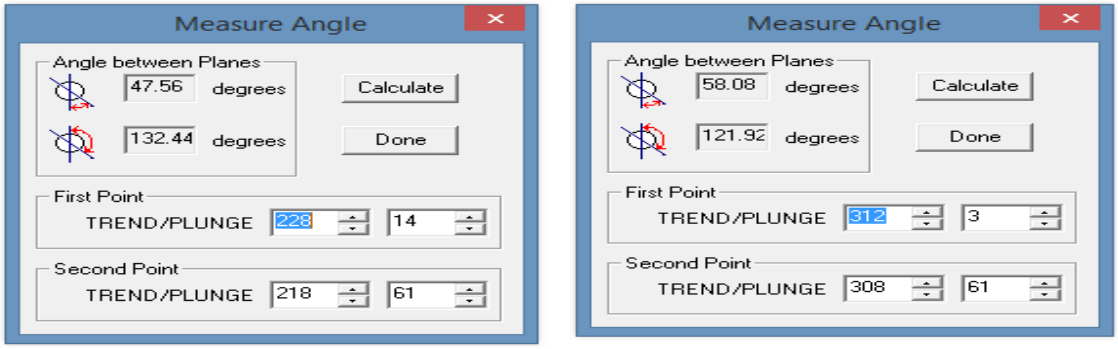


Figura 22. Ângulos diedros entre os planos S1 – S2 e S2-S1.

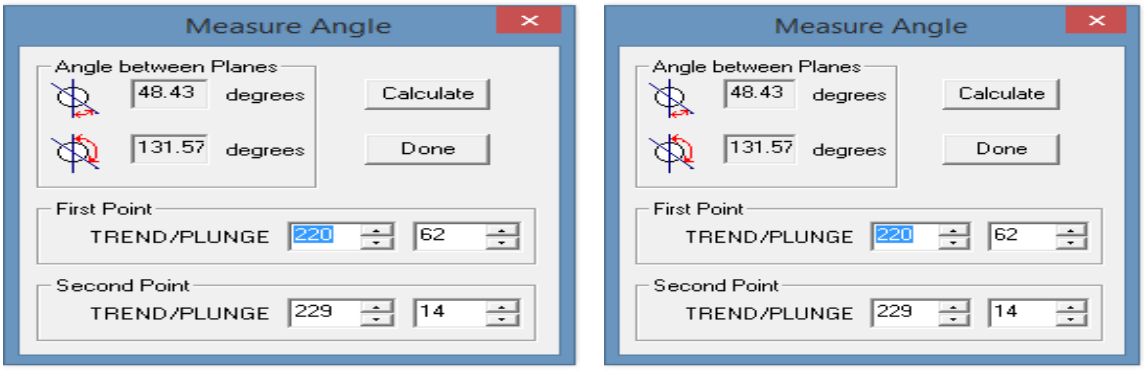


Figura 23. Ângulos diedros entre os planos S3 - S4 e S4 - S3.

1. **Espaçamento entre sistemas.**

S1=0,08m; S2=0,18m; S3=0,28m; S4=0,40m.

2. **Espaçamento médio** $= \frac{(0,08+0,18+0,28+0,40)}{4} = 0,23m$

3. **Fórmula para o cálculo do volume do bloco.**

$$Vb = \frac{S1 \times S2 \times S3 \times S4}{\sqrt{1-(\cos S3S4)^2-(\cos S4S3)^2-(\cos S1S2)^2-(\cos S2S1)^2-2*\cos S3S4*\cos S1S2*\cos S2S1}} \quad (11)$$

Onde:

S3S4 - Ângulos diedros entre os planos S3 e S4.

S4S3- Ângulos diedros entre os planos S4 e S3.

S1S2 - Ângulos diedros entre os planos S1 e S2.

S_2S_1 – Ângulo diedro entre os planos S2e S1

4. **Valores dos ângulos diedros.**

S3S4$= 58{,}08°$

S4S3$= 47{,}56°$

S1S2$= 82{,}49°$

$S_2S_1 = 48{,}43°$

$$Vb = \frac{0{,}10 \times 0{,}23 \times 0{,}36 \times 0{,}54}{\sqrt{(1-(\cos 58{,}08)^2-(\cos 47{,}56)^2-(\cos 82{,}49)^2-(\cos 48{,}43)^2-2*\cos 58{,}08*\cos 47{,}56*\cos 82{,}49*\cos 48{,}43)}}$$

$$Vb = \frac{0{,}0045}{\sqrt{(1-(-1{,}92)-0{,}619)}} = 0{,}0029m^3$$

$Vb = 0{,}0029m^3.$

As descontinuidades classificam-se como moderadamente afastadas, com espaçamento médio de 0,235m, estando entre o rango de variação de 200-600 mm, o maciço rochoso encontra-se medianamente fraturado, com camadas medianamente espessas segundo a ISRM (ver tabelas 10 e 27 em anexo), e possui tamanho do bloco pequeno segundo Palmstrom 1995, (ver tabela 27 no anexo). Cálculo do volume do bloco segundo a ISRM no primeiro (1) troço e cunha 1.

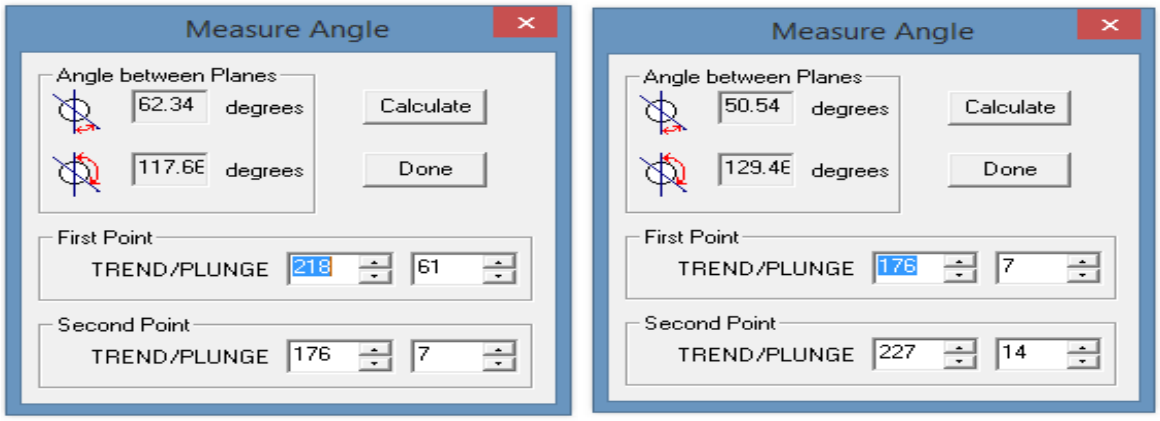


Figura 24. Ângulos diedros entre os planos S3S4 e S4S3.

1. **Espaçamento entre sistemas**

S1=0,10m; S3=0,23m; S4=0,36m.

2. **Espaçamento médio** $= \frac{(0{,}10+0{,}23+0{,}36)}{3} = 0{,}23m.$

3. **Fórmula para o cálculo do volume do bloco.**

$$Vb = \frac{S1 \times S2 \times S4}{\sqrt{1-(\cos S3S4)^2-(\cos S1S3)^2-(\cos S4S3)^2-2*\cos S3S4*\cos S1S3*\cos S4S3}}$$

Onde:

S3S4 - Ângulos diedros entre os planos S3 e S4.

S1S3- Ângulos diedros entre os planos S1 e S3.

S4S3- Ângulos diedros entre os planos S4 e S3

Valores dos ângulos diedros entre sistemas:

S3S4=46,56°

S1S3=63,32°

S4S3=50,54°

$$Vb = \frac{0{,}10 \times 0{,}23 \times 0{,}54}{\sqrt{1 - (\cos 46{,}56)^2 - (\cos 63{,}32)^2 - (\cos 50{,}54)^2 - 2 * \cos 46{,}56 * \cos 63{,}32 * co\square 50{,}54}}$$

$$Vb = \frac{(0{,}10 \times 0{,}23 \times 0{,}54)}{\sqrt{(1 - (-0{,}9468) - 0{,}3223)}} = 0{,}0065m^3$$

$$Vb = 0{,}0065m^3.$$

O maciço rochoso possui tamanho de bloco pequeno segundo Palmstrom 1995, (ver tabela 27 no anexo).

4.1.11.2. Cálculo do volume do bloco no segundo (2) troço.

1. cunha 1: Ângulos diedros entre sistemas de fissuras: S3-S4; S3-S4; S1-S2.

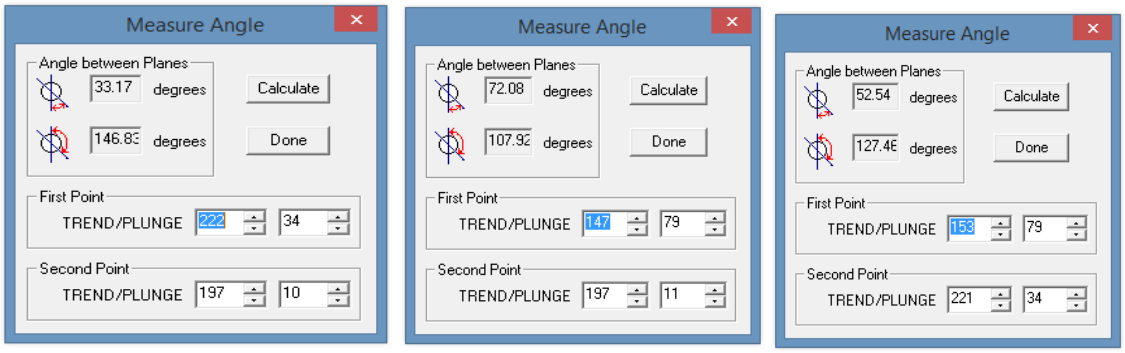


Figura 25. Ângulo diedros entre os planos S1-S2, S2-S4, S1-S4.

Fórmula para o cálculo do volume do bloco.

$$Vb = \frac{S1 * S2 * S3}{\sqrt{1 - (\cos S3 * S4)^2 - (\cos S3 * S4)^2 - (\cos S1 * S2)^2 - 2 * \cos S3 * S4 \cos S1 * S2}}$$

Onde:

$S1; S2; S3 -$ Espaçamento entre sistemas.

$Vb -$ Volume do bloco.

S3S4 - Ângulos diedros entre os planos S3 e S4.

S3S4 - Ângulos diedros entre os planos S3 e S4.

S1S2 - Ângulos diedros entre os planos S1 e S2

$$Vb = \frac{0{,}1 \times 0{,}23 \times 0{,}36}{\sqrt{1 - (\cos 58{,}08)^2 - (\cos 47{,}56)^2 - (\cos 82{,}43)^2 - 2.\cos 58{,}08.\cos 47{,}56.\cos 82{,}49}}$$

$Vb = 0{,}0064 m^3$.

O maciço rochoso possui tamanho de bloco pequeno segundo Palmstrom 1995, (ver tabela 27 no anexo).

Cálculo do volume do bloco segundo a ISRM no segundo (2) troço e cunha 2.

Cunha 2: Ângulos diedros entre sistemas e fissuras da Cunha 2: S3-S1, S2-S3, S1-S2.

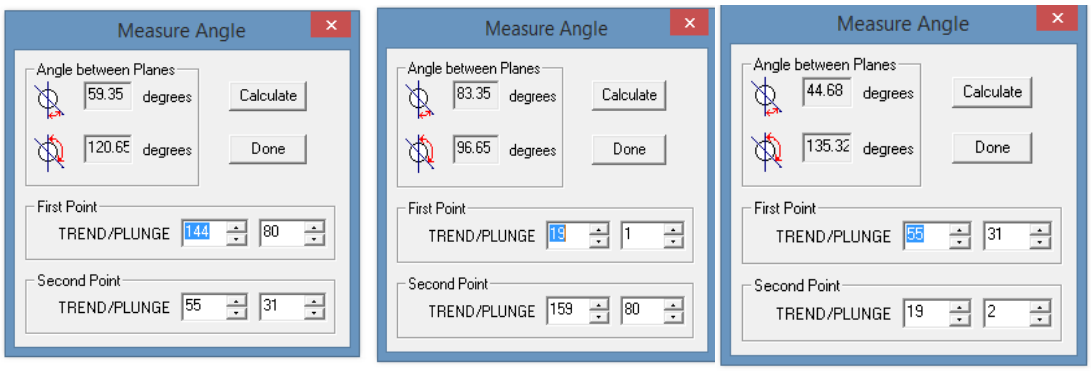


Figura 26. Ângulos diedros entre os planos S3-S1, S2-S3, S1-S2.

1. **Espaçamento entre sistemas de fissuras:**

S1$= 0,08m;\ S2 = 0,18m;\ 0,40m.$

2. **Espaçamento médio** $= \frac{(0,08+0,18+0,40)}{3} = 0,22m$
3. **Fórmula para o cálculo do volume do bloco.**

$$Vb = \frac{S1 \times S2 \times S3}{\sqrt{1-(\cos S1S2)^2-(\cos S2S4)^2-(\cos S1S4)^2-2*\cos S1S2*\cos S2S4*\cos S1S4}}$$

Onde:

S1S2- Ângulos diedros entre os planos S1 e S2.

S2S4 - Ângulos diedros entre os planos S2 e S4.

S1S4 - Ângulos diedros entre os planos S1 e S4.

4. Valores dos ângulos diedros entre sistemas:

S1S2=33,17°

S2S4=54,52°

S1S4=72,08°

$$Vb = \frac{0,08 \times 0,18 \times 0,40}{\sqrt{1-(\cos 33,17)^2-(\cos 54,52)^2-(\cos 72,08)^2-2*\cos 33,17*\cos 54,52*\cos 72,08}}$$

$$Vb = \frac{(0,08 \times 0,18 \times 0,40)}{\sqrt{(1-(-1,084)-0,2766)}} = 0,0043m^3.$$

As descontinuidades classificam-se como moderadamente afastadas, com espaçamento médio de 0,22 m, estando entre o rango de variação de 200-600 mm, o maciço rochoso encontra-se

medianamente fraturado, com camadas medianamente espessas segundo a ISRM (ver tabelas 10 e 27 em anexo), e possui tamanho de bloco pequeno segundo Palmstrom 1995, (ver tabela 20 em anexo).

Tabela 8. Resultados dos cálculos para o tamanho do bloco natural por troços.

Espaçamento (m)		Planos de descontinuidades		Ângulos diedros (°)		RQD por troço (%)		Qualidade por Troço (%)		Volume do bloco (vb, m3)		Jv Fissuras / m3		Tamanho e forma do bloco 1 e 2
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
84/140	80/139	0.08	S1S2	82,49	46,56	51, 9	35,1	2,8 Pobre	0,31 Qualidade Muito pobre	0,0029	0,0065	19,1	24,2	**Bloco pequeno e alaongado**
86/222	86/109	0.18	S2S1	48,43	63,32									
11/237	44/106	0.28	S3S4	46,56	98,08									
71/266	52/280	0.40	S4S3	47,56	50,54									
		0.23												

CORRELAÇÃO ENTRE A CONTAGEM VOLUMÉTRICA DE FISSURAS E O TAMANHO DE BLOCO

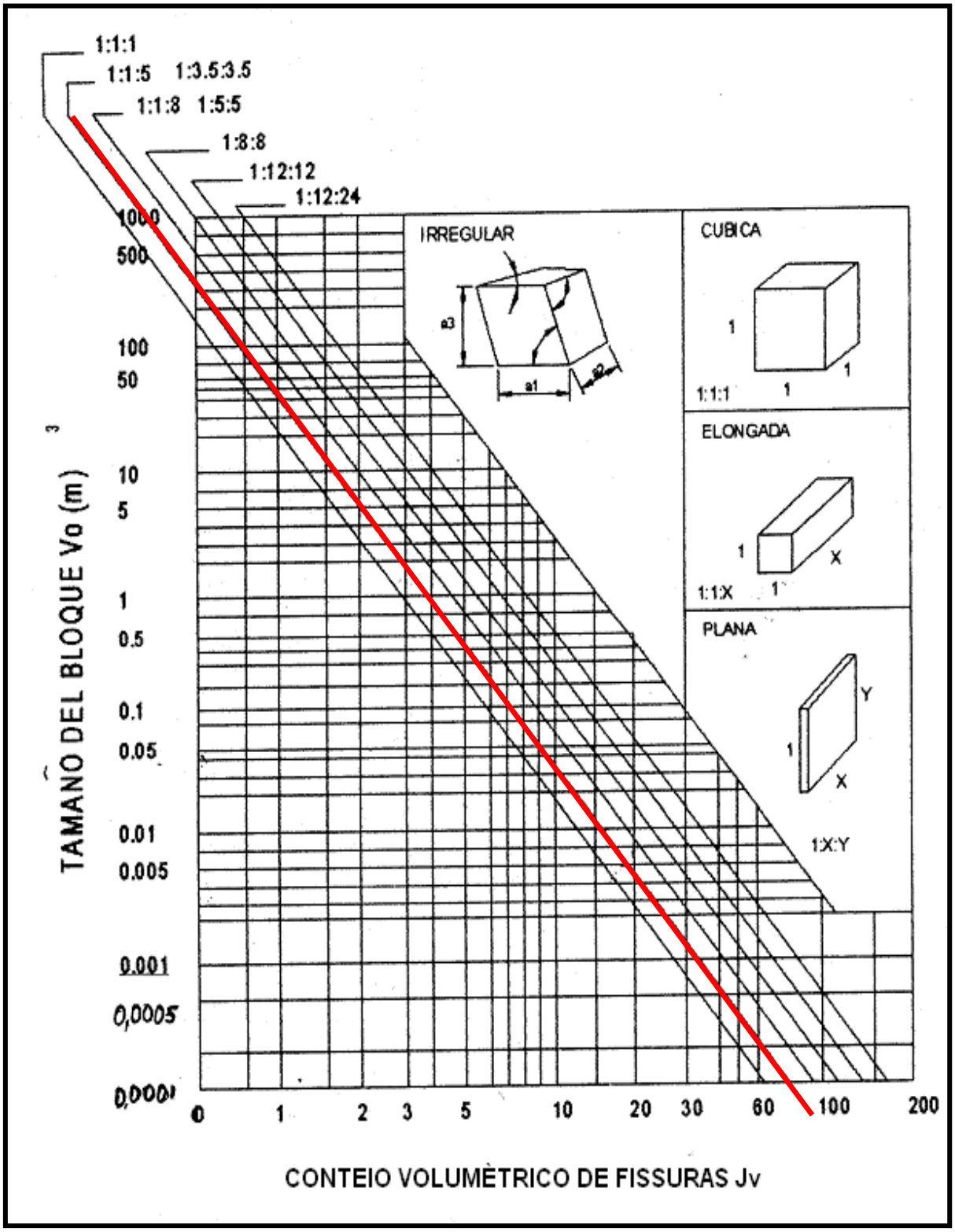


Figura 27. Correlação entre a contagem volumétrica de fissuras e o tamanho de bloco. Fonte: Nomograma Adaptado pela professora Matos, 2017.

Com o valor de Jv entra-se pela linha vertical para cima, na coincidência dos dois (Jv e a relação da forma que corresponde a relação alongada) neste caso se busca no eixo (Y) e se determina o tamanho de bloco natural que é de 0,0045 m3.

FORMA DO TAMANHO DE BLOCOS NATURAIS PROPOSTO PARA A ÚCUA

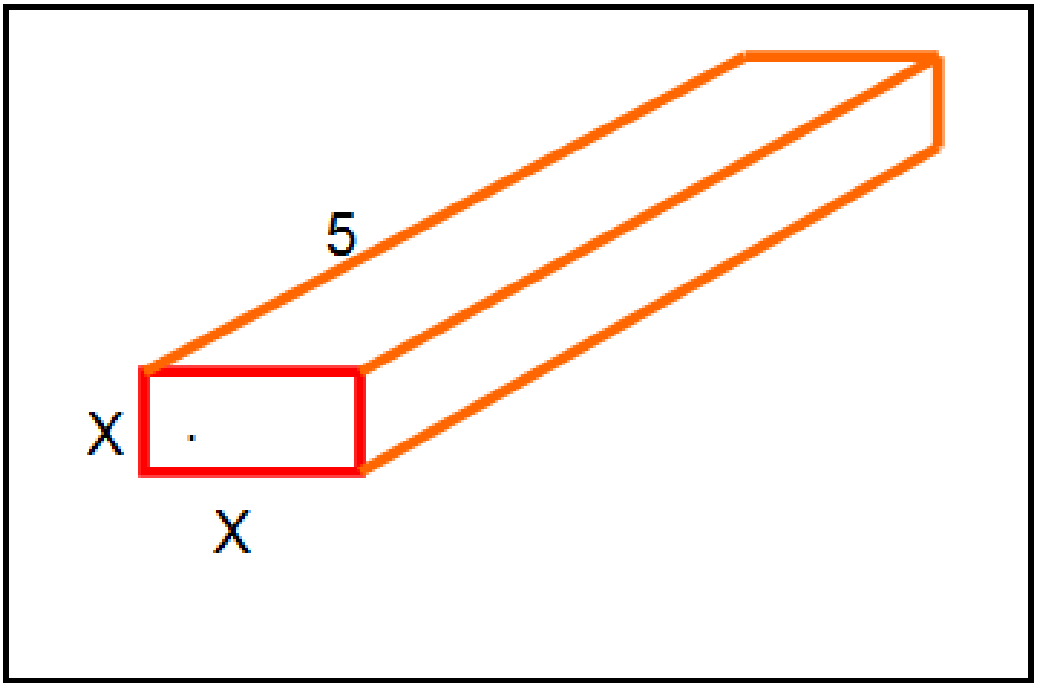


Figura 28. Forma do bloco da pedreira do Úcua. Fonte: Autor 2022.

Tamanho pequeno e alongado, correspondente a relação 1:1:5.

V. CONCLUSÃO

- Os resultados da investigação, levaram-nos a concluir o seguinte:
- Com a investigação realizada ampliou-se o conhecimento geomecânico do maciço rochoso da Pedreira do Úcua.
- Os estudos sobre o grau de fissuras demonstram que o maciço da Pedreira do Úcua está afetado principalmente por quatro famílias de fissuras, com direção predominante nordeste-Sudeste.

- As descontinuidades no troço 1 e 2, classificam-se como moderadamente afastadas, com espaçamento médio de 0,235m e 0,22m estando entre o rango de variação de 200-600mm o maciço rochoso encontra-se medianamente fraturado, com camadas medianamente espessas segundo a ISRM e possui tamanho de bloco pequeno segundo Palmstron ,1995.

- O valor médio do volume de bloco natural do Troço 1 é de 0,0064m3 e do Troço 2 é de 0,0043m3, com forma predominante alongada, correspondente a proporção de 1:1:5.

- Com esses dados seria possível determinar a orientação espacial das tensões principais no maciço e planificar melhor o plano de fogo para o mesmo.

RECOMENDAÇÕES

Realizar um projeto de desmonte das rochas da área estudada para verificar a proposta do tamanho de bloco natural.

Recomenda-se determinar as deformações in situ, com a utilização de técnicas mais modernas como sensores elétricos que dariam uma maior precisão e um maior número de dados.

Continuar com esta investigação e incorporar a recomendação anterior (2) a este estudo e a outros jazigos do país.

REFERêNCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alberto, D. e Flávio, C.: Escavabilidade das formações Kimberlíticas da Mina de Catoca e perspectivas de uso de explosivo. Universidade Agostinho Neto, Faculdade de Engenharia, Departamento de Minas, Trabalho de Fim de Curso, Luanda, 2006.

Almaguer, Y.: Análisis de estabilidad de taludes a partir de la evaluación geomecánica del macizo serpentenítico de Moa. Tesis de Maestría. ISMM.2001.

Azevedo, S. e Oliveira, L.: Lavra de minas a céu aberto, 1995.

Bieniawski, Z.T. Engineering rock mass classifications. John Wiley & Sons inc., New York, N.Y. 1989.

Cartaya Maday, P. Caracterización geomecánica de los macizos rocosos. Tesis Doctoral. ISMMM, 2001.

Jordá L. y M. Romana Ruiz: Aplicación de la clasificación SMR a los taludes en materiales calcáreos de la región central de la Comunidad Valenciana. IV Simp. Nac. sobre taludes y laderas inestables (Granada), 1997.

Lana, M.S. e Gripp, M.F. Um Procedimento para Identificação dos Mecanismos de Ruptura em Taludes Rochosos. Revista da Escola de Minas, 52(4): p245-249. 1999.

Lemos, C. e Victor, S.: Estudo da Estabilidade dos Taludes da Mina de Catoca, Universidade Agostinho Neto, Faculdade de Engenharia, Departamento de Minas, 2008.

Neto, P.A.: Apontamentos de Operações Mineiras I, Universidade Agostinho Neto, Faculdade de Engenharia, Departamento de Minas.

Neves de Margarida, D. M.: Caracterización geomecánica del Yacimiento La Inagua. Tesis de Maestria. ISMMM, 2002.

Otaño Noguel, J.: Acción de la explosión en las rocas ligadas. Diplomado de voladuras, módulo 3, UNL, Loja, Ecuador, 1998.

Otaño Noguel, J.: Fragmentación de rocas con explosivos. Editorial Félix Varela, La Habana, 1998.

Pedro Alexandre, A.M.: Metodologia para Projectos de Fragmentação de Rochas com Explosivos. 3as Jornadas Científico-Técnica da Sociedade Mineira de Catoca, Lunda-Sul, 2007.

Pismenniy A.V. e Kovalenko A.: Argumentação técnica económica, elaboração da estratégia de exploração da Chaminé de Catoca. Editora Cidade De Mirniy, 2008.

Rufino E., Dieguez Y. e Saturnino E, Análise de estabilidade de taludes na Pedreira do Úcua combinando as técnicas de geoprocessamento. Trabalho de Fim de Curso, UAN, 2018.

Vieira Reis, D.: Operações Mineiras. Universidade Federal de Ouro Preto. Editora UFOP, Minas Gerais, 2001.

ANEXOS

Tabela 9.Classificação da persistência (ISRM, (1978).

Número de fraturas por metros	Determinação
<1	Persistência muito baixa
01 - 3	Persistência baixa
03 - 10	Persistência média
10 - 20	Persistência alta
>20	Persistência muito alta

Tabela 10. classificação de abertura de descontinuidades (ISRM, 1998).

Abertura	Descrição	
< 0.1 mm	Muito apertada	Fechadas
0.1-0.25 mm	Apertada	
0.25-0.5 mm	Parcialmente aberta	
0.5-2.5 mm	Aberta	Abertas
2.5-10 mm	Moderadamente larga	
>10 mm	Larga	
1-10 cm	Muito larga	Afastadas
10-100 cm	Extremamente larga	
>1 m	Cavernosa	

Tabela 11. classificação de espaçamento (ISRM, 1978).

Espaçamento (mm)	Descrição
< 20	Espaçamento extremamente fechado
20 - 60	Espaçamento muito fechado
60 - 200	Espaçamento fechado
200 - 600	Espaçamento moderado
600 - 2000	Espaçamento aberto
2000 - 6000	Espaçamento muito aberto
> 6000	Espaçamento extremante aberto

Tabela 12. Grau de fraturamento (Guidicini et al, 1972a).

Siglas	Número de fraturas por metros	Denominação
F1	<1	Ocasionalmente fraturado
F2	01 - 5	Pouco fraturado
F3	06 - 10	Medianamente fraturado
F4	11 - 20	Muito fraturado
F5	>20	Extremamente fraturado

Tabela 13. Classificação RMR (Bieniawski, 1989).

Valor RMR	Classe	Descrição
81 - 100	I	Maciço rochoso muito bom
61 - 80	II	Maciço rochoso bom
41 - 60	III	Maciço rochoso razoável
21 - 40	IV	Maciço rochoso fraco
< 21	V	Maciço rochoso muito fraco

Tabela 14. Pesos relativos à resistência à compressão simples (Bieniawski, 1989).

Descrição de qualidade	Compressão Uniaxial, σ (Mpa)	Carga Pontual (Mpa)	Pesos
Excepcionalmente resistente	>250	>10	15
Muito Resistente	100 a 250	4 a 10	12
Resistente	50 a 100	2 a 4	7
Medianamente Resistente	25 a 50	1 a 2	4
Fraco	5 a 25	Ver compressão uniaxial	2
Muito fraco	1 a 5		1
Excepcionalmente fraco	< 1		0

Tabela 15. Pesos relativos ao espaçamento das descontinuidades (Bieniawski,1989).

Descrição	Espaçamento	Peso
Muito afastadas	> 2 m	20
Afastadas	0,6 a 2 m	15
Moderadamente afastadas	200 a 600 mm	10
Próximas	60 a 200 mm	8
Muito próximas	< 60	5

Tabela 16. Pesos referentes à condição das descontinuidades (Bieniawski, 1989).

Descrição	Peso
Superfícies muito rugosas, não continuas sem separação, paredes de rocha não alteradas	30
Superfícies ligeiramente rugosas, separação < 1mm, paredes ligeiramente alteradas	25
Superfícies ligeiramente rugosas, separação< 1mm, paredes muito alteradas	20
Superfícies polidas ou enchimento com espessura< 5 mm ou seja continuas com separação 1 – 5 mm	10
Enchimento mole com espessura > 5 mm ou juntas continuas com separação > 5 mm	0

Tabela 17. Peso devido à influência da água (Bieniawski, 1989).

Caudal por 10m de comprimento do túnel	Relação pressão da água vs tensão principal máxima	Condições gerais	peso
Nenhum	0	Completamento seco	15
< 10l/min	< 0.1	Água intersticial	10
10 a 25l/min	0.1 a 0.2	Húmido	7
25 a 100l/min	0.2 a 0.5	Escorrimentos	4
>125l/min	< 0.5	Entrada de água	0

Tabela 18. Diretrizes para a classificação das condições das descontinuidades (Bieniawski, 1989).

Comprimento da descontinuidade	< 1 m	1 a 3 m	3 a 10 m	10 a 20 m	> 20 m
Peso	6	4	2	1	0
Separação (abertura)	Nenhuma	< 0.1 mm	0.1 a 1.0 mm	1 a 5 mm	> 5 mm
Peso	6	5	4	1	0
Rugosidade	Muito rugosa	Rugosa	Ligeira	Quase lisa	Lisa
Peso	6	5	3	1	0
Enchimento	Nenhuma	Duro < 5 mm	Duro > 5 mm	Mole < 5 mm	Mole > 5 mm
Peso	6	4	2	2	0
Grau de alteração	Não alteradas	Ligeira	Moderada	Muito	Decompostas
Peso	6	5	3	1	0

Tabela 19. Pesos relativos ao RQD (Bieniawski, 1989).

RQD (%)	Peso
90 - 100	20
75 - 90	17
50 - 75	13
25 - 50	8
< 20	3

Tabela 20. Classificação do maciço rochoso baseado no índice Q (Barton et al., 1974).

Q	Classificação
400.0 a 1000.0	Excepcionalmente bom
100.0 a 400.0	Extremamente bom
40.0 a 100.0	Muito bom
10.0 a 40.0	Bom
4.0 a 10.0	Mediano
1.0 a 4.0	Pobre
0.1 a 1.0	Muito pobre
0.01 a 0.1	Extremamente pobre
0.001 a 0.01	Excepcionalmente pobre

Tabela 21. Índice do conjunto de descontinuidades do maciço (Barton et al, 1974).

Parametros		Valores
Índice de número de famílias		Jn
A	Nenhumas ou poucas descontinuidades presentes	0.5 a 1
B	Uma família de descontinuidades	2
C	Uma família mais descontinuidades dispersas	3
D	Duas famílias de descontinuidades	4
E	Duas famílias mais descontinuidades dispersas	6
F	Três famílias de descontinuidades	9
G	Três famílias de descontinuidades dispersas	12
H	Quatro famílias ou mais, descontinuidades dispersas, maciços muito fraturados	15
I	Rocha esmagada, tipo terroso	20

Nota: 1. Nas intersecções de descontinuidades aplicar 3 _ Jn; 2. Nas extremidades das juntas utilizarem 2Jn.

Tabela 22. Índice de rugosidade das descontinuidades (Barton et al, 1974).

Parametros		Valores
Índice de rugosidade		Jr
A) Contacto entre as paredes de rochas das descontinuidades B) Contacto entre as paredes de rochas antes de 10 cm de escorregamento		
A	Juntas descontinuas	4
B	Descontinuidades rugosas, irregulares, onduladas	3
C	Descontinuidades suaves e onduladas	2
D	Descontinuidades polidas e onduladas	1.5
E	Descontinuidades rugosas ou irregulares, planas	1.5
F	Descontinuidades lisas, planas	1
G	Descontinuidades polidas, planas	0.5
C)Não há contacto entre as paredes de rocha no escorregamento		
H	Zona contendo minerais argilosos e suficientemente espessa	1.0
I	Zona esmagadas contendo areias de modo a impedir o contacto entre as paredes	1.0

Nota: 1. As descrições das alíneas a) e b) referem-se a escalas de amostragem de pequena e média dimensão, respectivamente; 2. Adicionar 1,0 se o espaçamento médio da família de descontinuidades mais relevante for maior que 3 m; 3. Jr igual a 0,5 pode ser usado para descontinuidades polidas e planas contendo lineações, se essas lineações estiverem orientadas na direcção de menor resistência.

Tabela 23. Condições hidrogeológicas (Barton et al, 1974).

Descrição do parâmetro		Valores	
Índice de fluxo de água		Jw	Pressão de água aproximado (Mpa)
A	Escavações secas ou caudal afluído pequeno, i.e., < 5l/min localmente	1	< 0.1
B	Caudal médio ou pressão elevada que ocasionalmente arraste o preenchimento das descontinuidades	0.66	0.1 a 0.25
C	Caudal médio ou pressão elevada em rochas competentes sem preenchimento	0.5	0.25 a 1
D	Caudal ou pressão elevada, com considerável arrastamento do preenchimento das descontinuidades	0.3	0.25 a 1
E	Caudal excepcionalmente elevado ou pressão explosiva, decaindo com o tempo	0.2 a 0.1	> 1
F	Caudal excepcionalmente elevado ou pressão continua, sem decaimento	0.1 a 0.05	> 1

Nota: 1. Os factores nos casos C a F são estimados para condições naturais; o parâmetro Jw deverá ser aumentado caso sejam efectuados drenagens; 2. Os problemas especiais relacionados com a formação de gelo não são considerados.

Tabela 24. Grau de alteração das descontinuidades (Barton et al, 1974).

Parâmetros		Valor	
Índice de alteração		Ja	$\emptyset_{r(°)}$
a) Contacto entre as paredes de rocha das descontinuidades			
A	Paredes duras, compactas, preenchimento impermeáveis	0.75	-
B	Paredes não alteradas, somente com leve descoloração	1	25 a 35
C	Paredes ligeiramente alteradas, com partículas arenosas e rochas desintegradas não brandas	2	25 a 30
D	Paredes com partículas siltosas ou areno-argilosas	3	20 a 25
E	Redes com partículas de matérias moles ou de baixo ângulo atrito	4	8 a 16
b) Contacto entre as paredes de rochas das descontinuidades antes de 10 cm de escorregamento			
F	Paredes com partículas de areia e rochas desintegradas	4	25 a 30
G	Descontinuidades com preenchimento argiloso sobre consolidado (continuo, mas < 5 mm de espessura)	6	16 a 24
H	Descontinuidade com preenchimento argiloso subconsolidado (continuo, mas < 5 mm de espessura)	8	12 a 16
I	Descontinuidade com enchimento argiloso expansivo (continuo < 5 mm de espessura)	8 a 12	6 a 12
c) Não há contacto entre as paredes de rocha das descontinuidades			
J	Zonas ou bandas com rochas desintegradas ou esmagadas com argila (ver G, H e I para condições do material argiloso)	6.8 ou 8 a 12	6 a 24
K	Zonas ou bandas siltosas ou areno-argilosas, com pequena fracção de argila	5	-
L	Zonas continuas de argila (ver G, H e I para condições do material argiloso)	10,13,13 a 20	6 a 24

Nota: Os valores de ângulo de atrito residual (_r) devem considerar-se como um guia aproximado das propriedades mineralógicas dos produtos de alteração.

Tabela 25. Factor de redução de tensões, SRF (Barton et al, 1974).

Descrição do parametro		Valores		
Stress Reduction		SRF		
a)Zonas de fraqueza intersectando as escavações, o que pode causar a descompressão do maciço rochoso durante a abertura destas				
A	Zonas de fraquezas frequentes, contendo argila ou rocha decomposta quimicamente; maciço rochoso envolvente muito descomprimido (todas as profundidades)	10		
B	Zonas de fraqueza individuais, contendo argila ou rocha decomposta quimicamente (profundidade da escavação ≤ 50m	5		
C	Zonas de fraqueza individuais, contendo argila ou rocha decomposta quimicamente (profundidade da escavação > 50 m)	2.5		
D	Numerosas zonas de corte em rocha competente, sem argila; rocha envolvente descomprimida (todas as profundidades)	7.5		
E	Zonas individuais de corte em rocha competente, sem argila (profundidade da escavação ≤ 50 m)	5		
F	Zonas individuas de corte em rocha rígida, sem argila (profundidade da escavação > 50 m)	2.5		
G	Juntas abertas, rocha muito fracturada e descomprimida (todas as profundidades)	5		
b) Rocha competente, problemas de tensões na rocha			σ_c/σ_1	σ_t/σ_i
H	Tensões baixas, próximo da superfície	2.5	> 200	> 13
I	Tensões médias	1	200 a 10	13 a 0.66
J	Tensões altas, estrutura rochosa muito fechada (usualmente favorável para a estabilidade; pode ser desfavorável para a estabilidade das paredes)	0.5 a 2	10 a 5	0.66 a 0.33
K	Explosões moderadas de rochas (rocha maciça)	5 a 10	5 a 2.5	0.33 a 0.16
L	Explosões intensas de rochas (rocha maciça)	10 a 20	< 2.5	< 0.16
c)Rocha esmagada: plastificação de rochas incompetentes sob a influência de altas pressões de rocha				
M	Pressão, moderada da rocha esmagada	5 a 10		
N	Pressão, elevada da rocha esmagada	10 a 20		
d) Rochas expansivas: actividade química expansiva devida a presença da água				
O	Pressão de expansão moderada	5 a 10		
P	Pressão de expansão elevada	10 a 15		

Nota: 1. Reduzir o índice SRF de 25 a 50 % se as zonas de corte influenciar a escavação sem a atravessarem; 2. No caso de maciços rochosos contendo argila, é conveniente obter o índice SRF para as cargas de descompressão.

Anexo 1. - Valores do constante mi param a rocha intacta, por grupo de rochas. Note-se que os valores entre parênteses são estimativas (HOEK, 2007)

Tabela 26.Fundações e obras geotécnicas.

Tipo de Rocha	Classe	Grupo	Textura			
			Grossa	Média	Fina	Muito Fina
SEDIMENTAR	Clástica		Conglomerado * (21±3) Brecha / (19±5)	Arenito / 17±4	Siltito / 7±2 Grauvaca / (18±3)	Argilito / 4±2 Folhelho / (6±2) Marga / (7±2)
	Não-Clástica	Carbonatas	Calcário Cristalino (12±3)	Calcário Esparítico (10±2)	Calcário Micrítico (9±2)	Dolomita / (9±3)
		Evaporíticas		Gipsita / 8±2	Anidrita / 12±2	
		Orgânica				Calcário Biogênico 7±2

Tipo de Rocha	Classe	Grupo	Textura			
			Grossa	Média	Fina	Muito Fina
METAMÓRFICA	Não-foliada		Mármore / 9±3	Hornfels / (19±4) Metarenito / (19±3)	Quartizito / 20±3	
	Levemente foliada		Migmatito / (29±3)	Anfibolito / 26±6		
	Foliada **		Gnaisse / 28±5	Xisto / 12±3	Filito / 7±3	Ardósia / 7±4
ÍGNEA	Plutônica	Ácida	Granito / 32±3	Diorito / 25±5		
			Granodiorito / (29±3)			
		Básica	Gabro / 27±3 Norito / (20±5)	Dolerito / (16±5)		
	Hipabissal	Porfirito / (20±5)			Diabásio / (15±5)	Peridotito / (25±5)
	Vulcânica	Lava		Riolito / (25±5) Andesito / 25±5	Dacito / (25±3) Basalto / (25±5)	Obsidiana / (19±3)
		Piroclásticas	Aglomerado / (19±3)	Brecha / (19±5)	Turfa / (13±5)	

* Conglomerados e brechas podem apresentar uma ampla extensão de valores de mi dependendo da natureza do material cimentante e do grau de cimentação, assim eles podem ter limites de valores similares a arenito até valores usados para sedimentos de granulação fina.

** Estes valores são para amostras de rocha intacta ensaiadas na direção normal do acamamento ou da foliação. Os valores de mi serão significativamente diferentes caso a ruptura ocorra ao longo do plano de fraqueza.

Tabela 27: Pesos para as condições das descontinuidades, JCond89 (Bieniawski, 1989).

CONDIÇÃO DAS DESCONTINUIDADES	SUPERFÍCIES MUITO RUGOSAS. NÃO PERSISTENTES. FECHADAS. PAREDES SEM ALTERAÇÃO	SUPERFÍCIES POUCO RUGOSAS. ABERTURA <1 MM. PAREDES LEVEMENTE ALTERADAS	SUPERFÍCIES POUCO RUGOSAS. ABERTURA <1 MM. PAREDES MUITO ALTERADAS	SUPERFÍCIES ESTRIADAS OU PREENCHIMENTO <5 MM. OU ABERTURA DE 1-5 MM. PERSISTENTES	PREENCHIMENTO >5 MM. OU ABERTURA >5 MM. PERSISTENTES
PESOS	30	25	20	10	0
Recomendações para a classificação da condição das descontinuidades.					
PERSISTÊNCIA	<1 M	1-3 M	3-10 M	10-20 M	>20 M
PESOS	6	4	2	1	0
ABERTURA	NENHUMA	<0,1 MM	0,1-1,0 MM	1-5 MM	>5 MM
PESOS	6	5	4	1	0
RUGOSIDADE	MUITO RUGOSA	RUGOSA	POUCO RUGOSA	SUAVE	ESTRIADAS
PESOS	6	5	3	1	0
PREENCHIMENTO	NENHUM	DURO, <5 MM	DURO, >5 MM	MOLE, <5 MM	MOLE, >5 MM
PESOS	6	4	2	2	0
ALTERAÇÃO	NÃO-ALTERADA	POUCO	MODERADA	ALTAMENTE	DECOMPOSTA
PESOS	6	5	3	1	0

FUNDAÇÕES & OBRAS GEOTÉCNICAS • 49

Tabela 28. Tamanho do bloco em dependência do valor de variação do volume do bloco segundo Palmstron 1995.

Tamanho do bloco	Vb (m3)
Extremadamente pequeno	> 0,00001m3
Muito pequeno	0,00001 m3 - 0,0002 m3
Pequeno	0,0002 m3 - 0,01 m3
Médio	0,01 m3 - 0,2 m3
Grande	0,2 m3 - 10 m3
Muito grande	10 - 200 m3
Extremadamente grande	< 200 m3