



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Gestão da segurança dos taludes de escavação da pedreira da Milhária, Valongo

Joaquim Manuel Martins Fernandes Dias



isep Instituto Superior de
Engenharia do Porto

P. PORTO

2018

(página propositadamente em branco)



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Gestão da segurança de taludes de escavação da pedreira da Milhária, Valongo

*Excavation slope safety management from Milhária quarry,
Valongo*

Joaquim Manuel Martins Fernandes Dias

1840508

*Projeto apresentado ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente**, realizada sob a orientação do Doutor Agostinho Mendonça, Professor Adjunto Convidado do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.*

(página propositadamente em branco)

Júri

Presidente

Doutor **João Paulo Meixedo dos Santos Silva**

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor **José António Simões Cortez**

Professor Catedrático Aposentado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Engenheiro de Minas Consultor, Multisequência Unipessoal Lda, Porto

Doutor **António Agostinho Martins Mendonça**

Professor Adjunto Convidado, Instituto Superior de Engenharia do Porto

*A tese de **mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente** (MEGG) foi apresentada e defendida em prova pública, pelo licenciado **Joaquim Manuel Martins Fernandes Dias**, no Auditório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Geotécnica (ISEP) em 19 de Novembro de 2018 mediante o júri nomeado, em que foi atribuída, por unanimidade, a classificação final de **17 (dezassete) valores**, cuja fundamentação se encontra em acta. Todas as correções pontuais determinadas pelo júri, e só essas, foram efectuadas.*

*Aos meus Docentes no ISEP.
Aos presentes e, sobretudo, aos ausentes....*

“Live as if you were to die tomorrow. Learn as if you were to live forever”
Gandhi

(página propositadamente em branco)

Agradecimentos

Pelo presente trabalho, são devidos agradecimentos aos que, de alguma forma, colaboraram para que esta tese se tornasse uma realidade, contribuindo, generosa e desinteressadamente, com o seu tempo, conhecimentos partilhados e compreensão.

Em particular, apraz-me destacar:

- ✓ Professor Doutor Agostinho Mendonça (ISEP): Pela oportunidade e disponibilidade para a realização deste trabalho, pela orientação exigente e rigorosa, pela acessibilidade e simpatia demonstradas e pelo investimento e confiança em mim depositados numa imensa colaboração sempre demonstrada na supervisão e revisões do presente projeto, o meu mais profundo agradecimento.
- ✓ Professor Doutor António Simões Cortez: Pela forma sábia e serena como sempre me transmitiu o seu conhecimento acumulado quase 60 anos de experiência na pedreira da Milhária, abrindo o acesso aos seus arquivos pessoais que se revelaram uma fonte inesgotável de dados técnicos e às inestimáveis recomendações que muito contribuíram para o avanço do trabalho efetuado e sua concretização.
- ✓ Administração da Empresa de Lousas de Valongo (ELV), nas pessoas dos Srs Teotónio Pereira e Rui de Matos: Pelo acolhimento, sugestões e facilidades concedidas para a execução deste trabalho.
- ✓ Ao colega Tiago Vieira da ELV: Pelo acompanhamento, interesse e disponibilidade sempre demonstrado no desenrolar de todas as minhas visitas à pedreira da Milhária e pela cedência desinteressada de notas pessoais e elementos técnicos recolhidos ao longos dos anos.
- ✓ Aos funcionários da ELV pelo acolhimento caloroso, colaboração nas pesquisas e informações prestadas ao longo das visitas efetuadas à pedreira e demais instalações.
- ✓ Aos Eng^{os} João Sousa e Paulo Pita e Dra Ana Bela Amorim da Divisão de Pedreiras Norte da Direção Geral de Energia e Geologia: pelo interesse e apoio demonstrado na pesquisa e aquisição dos demais conhecimentos geológico-geotécnicos, de elevada importância, para a concretização deste trabalho.
- ✓ Ao LGMC|ISEP, nas pessoas do Eng^o José Fernandes e Eng^a Isilda Cruz pela disponibilidade e prestável colaboração, sempre que solicitados.
- ✓ À minha Esposa e Filhos, pela motivação e impulso que sempre deram, acompanhando cada passo nos avanços que se foram realizando, sempre com compreensão, interesse e carinho neste meu devaneio serôdio, apesar de os privar de alguns momentos familiares.

(página propositadamente em branco)

Palavras-chave

Hasteal, geomecânica mineira, análise de risco, segurança, mitigação de risco.

Resumo

O presente projeto pretende abordar a importância de um estudo de geomecânica mineira no apoio à realização e estabilização de taludes/hasteais e sua otimização em explorações de maciços rochosos a céu aberto, focando-se num caso particular de uma exploração de ardósia numa zona de antigos poços de pedreiras subterrâneas que, pela sua particularidade e complexidade, merecem esta atenção. O presente trabalho envolveu um estudo geológico-geotécnico realizado na área de exploração que engloba cerca de 2 hectares e mais de uma dezena de antigas pedreiras subterrâneas. Neste âmbito, foi realizado um trabalho de levantamento exaustivo da geometria dos taludes e descontinuidades intrínsecas ao maciço, bem como as interações com as antigas pedreiras que vão desvendando a sua real geometria e dimensão à medida que avançam os trabalhos de superfície, pelo que sempre têm que ser tidas em conta, quer pelo aspeto económico, para o cálculo de reservas, quer pelas questões técnicas, nomeadamente as interações e implicações com a exploração decorrente, mormente a estabilidade dos taludes que se vão ampliando.

Foram, assim, determinadas as características mais relevantes do maciço rochoso para aplicação das classificações geomecânicas, englobando uma significativa amostragem das descontinuidades existentes, obtendo-se a partir daí um panorama geral da qualidade do maciço rochoso intercetado pelas escavações das antigas pedreiras nas diferentes zonas.

Os dados dos levantamentos de campo levaram à criação de uma base de dados que, através da aplicação das classificações geomecânicas Q-System, RMR e GSI, e conjuntamente com outros dados experimentais e os resultados das análises numéricas dos hasteais e o mapeamento do risco a eles associado (obtido por meio de uma metodologia especificamente desenvolvida para o caso em estudo) bem como todos os trabalhos de campo, laboratório e gabinete, têm como corolário a proposta de um conjunto de medidas e procedimentos expeditos de suporte à gestão da segurança deste género muito especial de estrutura geotécnica.

(página propositadamente em branco)

Keywords

Side-wall, mining geomechanics, risk analysis, safety, risk mitigation.

Abstract

The present project intends to address the importance of a mining geomechanical study in aiding the construction, and stabilization of slopes/side-walls and its role in optimizing explorations of open rocky massifs, focusing on the very particular case of slate exploration in former underground mining areas which, because of their particularity, and complexity, deserve this attention. The present work involved a geological-geotechnical study carried out in the exploration area that covers about 2 hectares and over a dozen of old underground quarries. An exhaustive survey of the geometry and intrinsic discontinuities to the mass was carried out, as well as the evaluation of its interactions with the old quarries that unveil their real geometry and dimension as the surface works advance, which is why they always have to be taken into account, both for the economic aspect, for the calculation of reserves, and for the technical issues, namely the interactions and implications with the resulting exploitation, especially the stability of the slopes that are being created.

Thus, the most relevant characteristics of the rock mass for the application of the geomechanical classification were determined, including a significant sampling of the existing discontinuities, obtaining from there a general outlook on the quality of the rock massif intercepted by the excavations of the old quarries in the different zones.

Data from the field surveys led to the creation of a database. That, through the application of the Q-System, RMR and GSI geomechanical classifications, and together with other experimental data and the results of the numerical analyses of the slopes and the charting of their associated risk (obtained through a methodology specifically developed for the case study) as well as all field work, laboratory and cabinet work, translate into the proposal of a set of measures and expedited procedures which support the security management of this unique genre of geotechnical structure.

(página propositadamente em branco)

Índice

1. Introdução.....	3
1.1. Enquadramento.....	3
1.2. Objetivos	4
1.3. Metodologia e estrutura do trabalho	5
2. Apresentação de caso: Pedreira da Milhária	9
2.1. Enquadramento geral.....	9
2.2. Enquadramento geográfico.....	10
2.3. Enquadramento geológico	10
2.3.1. Regional.....	10
2.3.2. Geologia local - Formação Valongo.....	12
2.3.3. Características Físico-Químicas e Mecânicas da ardósia de Valongo	13
2.4. Enquadramento histórico.....	13
2.5. Produtos resultantes	16
2.6. Pedreira da Milhária.....	18
2.6.1. Introdução	18
2.6.2. Evolução da exploração da pedreira	20
2.6.3. Efeitos da exploração	25
2.6.4. Modelos 3D da pedreira.....	26
3. Estabilidade de taludes em rocha	31
3.1. Introdução.....	31
3.1.1. Quedas de rochas e dimensionamento de taludes.....	31
3.1.2. Causas das quedas de rochas	32
3.2. Dimensionamento de taludes	34
3.2.1. Avaliações preliminares	34
3.2.2. Dimensionamento.....	37
3.3. Abordagem determinística e probabilística na análise de estabilidade de taludes.....	39
3.4. Tipos de rutura em taludes	41
3.4.1. Rutura do tipo planar	41
3.4.2. Rutura plano-circular.....	41
3.4.3. Rutura circular	43
3.4.4. Rutura em cunha	43
3.4.5. Tombamento.....	43

3.5.	Caraterização e classificação geomecânica de maciços rochosos	43
3.5.1.	Caraterização dos maciços rochosos.....	43
3.5.2.	Caraterização das descontinuidades num maciço rochoso	43
3.5.2.1.	Génese, propriedades e famílias das descontinuidades	43
3.5.2.2.	Atitude das descontinuidades	47
3.5.2.3.	Persistência das descontinuidades.....	48
3.5.2.4.	Espaçamento das descontinuidades	48
3.5.2.5.	Rugosidade das descontinuidades	49
3.5.2.6.	Resistência das paredes das descontinuidades	50
3.5.2.7.	Preenchimento das descontinuidades	51
3.5.3.	Técnica de Scanline	51
3.5.4.	Representação das descontinuidades.....	53
3.5.4.1.	Método das Rosetas.....	53
3.5.4.2.	Projeção Hemisférica.....	53
3.6.	Caraterização dos taludes da Pedreira da Milhária	55
4.	Análise de risco.....	59
4.1.	Introdução.....	59
4.2.	Critérios de aceitação do projeto e análise de risco	61
4.3.	Classificação dos riscos.....	64
4.3.1.	Conceitos gerais	64
4.3.2.	Principais Riscos dos trabalhos em pedreiras	66
4.3.3.	Prevenção e mitigação do risco.....	68
4.4.	Análise do risco dos taludes da pedreira da Milhária	69
5.	Caraterização dos taludes da pedreira da Milhária	73
5.1.	Introdução.....	73
5.2.	Programa de trabalhos.....	74
5.2.1.	Introdução	74
5.2.2.	Metodologia	74
5.3.	Trabalhos de campo	75
5.3.1.	Levantamento topográfico.....	75
5.3.2.	Levantamento dos elementos geométricos da pedreira	75
5.3.3.	Aquisição de outra informação	75
5.3.4.	Trabalhos de campo e laboratório	76
5.3.4.1.	Martelo de Schmidt.....	76
5.3.4.2.	“Tilt test”	80

5.3.4.3.	Ensaio de compressão simples (uniaxial)	84
5.4.	Ficha de classificação de taludes (frentes da pedra)	87
6.	Análise da estabilidade dos taludes da pedra da Milhária	91
6.1.	Considerações iniciais	91
6.2.	Classificações geomecânicas	91
6.2.1.	Resistência à compressão simples	91
6.2.2.	Ângulo de atrito interno das descontinuidades	91
6.2.3.	Grau de fraturação	91
6.2.4.	GSI – índice de resistência geológico	92
6.2.5.	Coesão	93
6.3.	Modelação numérica	93
6.3.1.	Parâmetros de projeto	93
6.3.2.	Modelação numérica em programa dedicado de cálculo automático	95
6.3.2.1.	Programas da Rocscience, considerações prévias	95
6.3.2.2.	DIPS v7.0.....	96
6.3.2.3.	SWEDGE v6.0.....	99
6.3.2.4.	Análise Determinística do talude em estudo	102
6.3.2.5.	Análise Probabilística do talude em estudo	103
6.4.	Análise de risco.....	105
6.4.1.	Introdução e metodologia desenvolvida.....	105
6.4.2.	Avaliação do risco de queda de rochas nos taludes da pedra da Milhária.....	108
7.	Conclusões.....	113
7.1.	Introdução.....	113
7.2.	Resumo dos resultados dos estudos geológicos realizados.....	113
7.3.	Análise por modelagem numérica	114
7.4.	Análise de risco.....	115
7.5.	Taludes da pedra da Milhária	115
7.5.1.	Introdução	115
7.5.2.	Soluções de estabilização e de proteção de maciços rochosos	116
7.5.2.1.	Saneamento de elementos instáveis num hasteal ou talude	116
7.5.2.2.	Sistemas de drenagem	116
7.5.2.3.	Pregagens	117
7.5.2.4.	Redes de aço	118
7.5.2.5.	Ancoragens.....	119
7.5.2.6.	Barreiras flexíveis	120

7.5.3.	Propostas para o caso concreto (mitigação de risco)	121
7.5.3.1.	Medidas do Grupo 1.....	122
7.5.3.2.	Medidas do Grupo 2.....	123
7.6.	Sugestões para pesquisas futuras	123
8.	Referências bibliográficas	127
9.	ANEXOS	139

Índice de figuras

FIGURA 2.1 VISTA DE SATÉLITE DO LOCAL DE INTERESSE (GOOGLE EARTH, 2017).	9
FIGURA 2.2 SEDE E FÁBRICA DA EMPRESA DE LOUSAS DE VALONGO.	9
FIGURA 2.3 ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO REGIONAL DA ZONA DE VALONGO.....	10
FIGURA 2.4 ÁREA GEOLÓGICA DE INTERESSE - ANTICLINAL DE VALONGO.....	11
FIGURA 2.5 SOLETOS EM CONSTRUÇÃO MODERNA (HTTPS://WWW.VMZINC.PT/AS-NOSSAS- SOLUCOES/FACHADA/VMZ-ADEKA).	17
FIGURA 2.6 CORTE DE ARDÓSIA COM LÂMINA COM CORRENTE DE PASTILHAS DIAMANTADAS (ELV, DO AUTOR).	18
FIGURA 2.7 CICLO SIMPLIFICADO DE OPERAÇÕES NUMA LOUSEIRA.....	19
FIGURA 2.8 ABERTURA DE CORTE E VALA MANUAL EM EXPLORAÇÃO SUBTERRÂNEA.....	21
FIGURA 2.9 ESQUEMA DE PEDREIRA SUBTERRÂNEA DE ARDÓSIA (SANTA BAIA, VALONGO).	22
FIGURA 2.10 CORTES DE PEDREIRAS DE ARDÓSIA NUM COUTO MINEIRO (SANTA BAIA, VALONGO).	22
FIGURA 2.11 ELV, 1937, PRODUÇÃO DE PEDRA CLIVADA (ARQUIVO MUNICIPAL DE VALONGO).	23
FIGURA 2.12 BRAÇO DE MÁQUINA KORFMAN DE CORTE POR CORRENTE DE PASTILHAS (ELV – AUTOR)....	24
FIGURA 2.13 ESCOMBREIRA DA PEDREIRA DA MILHÁRIA (WWW.GOGGLE EARTH.COM).	24
FIGURA 2.14 VISTA GERAL DO HASTEAL EM CONSIDERAÇÃO (MONTAGEM DO AUTOR).	25
FIGURA 2.15 DETALHE DA ATUAL EXPLORAÇÃO DA ELV (AUTOR).	26
FIGURA 2.16 MODELAGEM DA PEDREIRA DA MILHÁRIA - TALUDE OBJETO DE ESTUDO.	26
FIGURA 2.17 SECÇÃO TRANSVERSAL PELO EIXO DO POÇO CENTRAL DA ESCAVAÇÃO.	27
FIGURA 2.18 FRATURAÇÃO POR DESCOLAMENTO XISTENTE E SUBSIDÊNCIA NA PEDREIRA DA MILHÁRIA..	27
FIGURA 3.1 PROCESSO DE UM PROJETO DE TALUDES DE MINA A CÉU ABERTO (ADAPTADO DE READ E STACEY, 2009).	38
FIGURA 3.2 PRINCIPAIS TIPOS DE RUTURA COM OS RESPETIVOS ESTEREOGRAMAS REPRESENTATIVOS.....	42
FIGURA 3.3 CONCEITO DE FAMÍLIA E SISTEMA DE DIACLASES (ADAPTADO DE LOCZY & LADEIRA, 1980). ...	45
FIGURA 3.4 TIPOLOGIAS DE FALHA EXISTENTES.....	46
FIGURA 3.5 REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS PROPRIEDADES GEOLÓGICO/GEOTÉCNICAS DAS DESCONTINUIDADES.....	47
FIGURA 3.6 ATITUDE DE UMA DESCONTINUIDADE (ADAPTADO GONZALEZ DE VALLEJO ET AL., 2002).	47
FIGURA 3.7 CLASSIFICAÇÃO PARA A RUGOSIDADE DAS DESCONTINUIDADES (ADAPTADO DE ISRM, 1981). 50	
FIGURA 3.8 TIPOLOGIAS DAS ABERTURAS DAS DESCONTINUIDADES (ADAPTADO DE ISRM, 1981).....	50
FIGURA 3.9 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE DESCONTINUIDADES POR RECURSO AO MÉTODO DAS ROSETAS	53
FIGURA 3.10 INTERCEÇÃO DO PLANO COM A ESFERA DE REFERÊNCIA (ADAPTADO DE WYLLIE & MAH, 2004).....	54

FIGURA 3.11 PROJEÇÃO ESTEREOGRÁFICA DE UM CÍRCULO MAIOR SEGUNDO O PLANO EQUATORIAL (ADAPTADO DE	54
FIGURA 3.12 REPRESENTAÇÃO DA INTERCEÇÃO DE DOIS PLANOS E RESPECTIVA PROJEÇÃO ESTEREOGRÁFICA (ADAPTADO	55
FIGURA 4.1 ANÁLISE DE RISCOS QUALITATIVA 2D (ADAPTADO DE PROGEO, 2007).....	64
FIGURA 4.2 ANÁLISE DE RISCOS QUALITATIVA 3D (PROGEO, 2007).	65
FIGURA 4.3 COMPARAÇÃO DO CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO AO RISCO COM ESTATÍSTICAS	66
FIGURA 5.1 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO DA PEDREIRA DA MILHÁRIA, 2016 (ELV).	76
FIGURA 5.2 MARTELOS DE SCHMIDT USADO NOS ENSAIOS (CONTROLS, DESCARREGANDO DADOS E PROCEC, NA PEDREIRA).	77
FIGURA 5.3 TILT TEST EM CAMPO E LABORATÓRIO (GEOLOGICAL ENGINEERING, VALLEJO & FERRER, 2011).	81
FIGURA 5.4 REALIZAÇÃO DE ENSAIO DE TILT-TEST NA PEDREIRA DA MILHÁRIA.	82
FIGURA 5.5 ENSAIOS DE COMPRESSÃO SIMPLES: A) CONTROLS PILOTO C50-56 UTILIZADA NOS ENSAIOS (LGMC ISEP); B) ASPETO DO EQUIPAMENTO DE CONTROLO DURANTE ENSAIO; C) ASPETO DA CONSOLA DIGITAL E IMPRESSORA DA PRENSA DE ENSAIO.	84
FIGURA 5.6 CUBO ANTES E APÓS ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES.....	85
FIGURA 5.7 CUBOS DE ARDÓSIA ENSAIADOS NO LGMC ISEP.....	86
FIGURA 5.8 FICHA DE CLASSIFICAÇÃO DE TALUDES.	88
FIGURA 6.1 CUNHA EM TALUDE; GEOMETRIA PLANAR TÍPICA (ADAPTADO DE HOEK E BRAY, 1981).....	94
FIGURA 6.2 EXEMPLO DE REPRESENTAÇÃO DE DESLIZAMENTO PLANAR (WWW.ROCSCIENCE.COM)	97
FIGURA 6.3 PLANOS MÉDIOS DAS FAMÍLIAS DE DESCONTINUIDADES DETERMINADOS NO PROGRAMA DIPS–PERFIL 1.	98
FIGURA 6.4 PLANOS MÉDIOS DAS FAMÍLIAS DE DESCONTINUIDADES DETERMINADOS NO PROGRAMA DIPS–PERFIL 2.	98
FIGURA 6.5 ESQUEMA CARACTERÍSTICO DE UMA CUNHA (WWW.ROCSCIENCE.COM).	100
FIGURA 6.6 SWEDGE – PORMENOR DA ANÁLISE DETERMINÍSTICA.....	102
FIGURA 6.7 CONFIGURAÇÃO DO SWEDGE PARA ANÁLISE PRETENDIDA	103
FIGURA 6.8 SWEDGE – PORMENOR DA ANÁLISE PROBABILÍSTICA	103
FIGURA 6.9 ANÁLISE DE RISCO - SECÇÕES AVALIADAS NA PEDREIRA DA MILHÁRIA.	108
FIGURA 7.1 ESTABILIZAÇÃO DE TALUDE ROCHOSO (HTTPS://WWW.DYWIDAG-SYSTEMS.PT/FILEADMIN).115	
FIGURA 7.2 ESQUEMA DE SISTEMA DE DRENAGEM DE PEDREIRA.	117
FIGURA 7.3 ESQUEMA DE PREGAGEM (HTTPS://WWW.DYWIDAG-SYSTEMS.PT/FILEADMI).....	118
FIGURA 7.4 REDES DE AÇO: CORTINA ATENUADORA (WWW.GEOBRUGG.COM).....	119
FIGURA 7.5 ESQUEMA DE ANCORAGEM (HTTPS://WWW.DYWIDAG-SYSTEMS.PT/FILEADMIN).	119
FIGURA 7.6 BARREIRAS FLEXÍVEIS:	120
FIGURA 7.7 PROPOSTA DE SOLUÇÃO MITIGADORA DE RISCO.....	122
FIGURA 7.8 POSSÍVEIS ÁREAS DE EXPLORAÇÃO FUTURA.....	123

(página propositadamente em branco)

Índice de Tabelas

TABELA 2.1 FATORES PRINCIPAIS CONDICIONANTES DA SELEÇÃO DO MÉTODO DE DESMONTE	20
TABELA 3.1 PARÂMETROS RFHS MODIFICADOS.	36
TABELA 3.2 DIFERENÇAS ENTRE ABORDAGEM DETERMINÍSTICA E ABORDAGEM PROBABILÍSTICA.....	41
TABELA 3.3 CLASSIFICAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES (ADAPTADO DE ISRM, 1981).....	44
TABELA 3.4 CLASSIFICAÇÃO DA CONTINUIDADE DAS DESCONTINUIDADES (ADAPTADO DE ISRM, 1981).....	48
TABELA 3.5. CLASSIFICAÇÃO DO GRAU DE FRACTURAÇÃO DE UM MACIÇO ROCHOSO (ADAPTADO DE ISRM, 1981).....	49
TABELA 3.6 CLASSIFICAÇÃO PARA A ABERTURA DAS DESCONTINUIDADES (ISRM, 1981).	51
TABELA 5.1 RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DE CAMPO COM MARTELO DE SCHMIDT.	78
TABELA 5.2 VALORES DOS ENSAIOS DE CAMPO - TIL TEST.	83
TABELA 5.3 RESULTADOS DOS TESTES DE CARGA UNIAXIAL, EM LABORATÓRIO.....	87
TABELA 6.1 VALORES DE GSI DETERMINADOS PARA A PEDREIRA DA MILHÁRIA.	92
TABELA 6.2 CLASSES DO MACIÇO ROCHOSO DE ACORDO COM O VALOR DO GSI OBTIDO.....	92
TABELA 6.3 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS UTILIZADOS NO PRESENTE PROJETO.	94
TABELA 6.4 PLANOS MÉDIOS DETERMINADOS NO DIPS A PARTIR DOS TRABALHOS DE CAMPO.	99
TABELA 6.5 ANÁLISE NUMÉRICA NO PERFIL 1 (SWEDGE V7.0).	104
TABELA 6.6 ANÁLISE NUMÉRICA NO PERFIL 2 (SWEDGE V7.0).	104
TABELA 6.7 PARÂMETROS DE TODAS AS CATEGORIAS E CLASSIFICAÇÃO DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE RISCO PROPOSTO PARA O CASO EM ESTUDO.	105
TABELA 6.8 CLASSIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS POR CATEGORIA.....	107
TABELA 6.9 CLASSES DE RISCO DE QUEDAS DE ROCHAS E MEDIDAS DE PROTEÇÃO PRECONIZADAS.....	108
TABELA 6.10 AVALIAÇÃO DE RISCO E CONTINGÊNCIA.	109

ANEXOS

1. Elementos históricos da pedraira
2. Elementos topográficos e modelações
3. Levantamento das descontinuidades
4. Esclerómetro.
5. Tilt test
6. Compressão uniaxial
7. Ficha de classificação
8. Modelações numéricas
9. Análise de risco
10. Redes de aço - Geobruigg

Lista de abreviaturas

CGX	Complexo Xisto Grauváquico
DSI	DYWIDAG-Systems International
ELV	Empresa de Lousas de valongo
ESR	Excavation Support Ratio
EU-OSHA	European Agency for safety and Health at work
FOSM	First-Order, Second Moment
GLE	Método do Equilíbrio-limite geral (Generalized Limit Equilibrium)
GSE	Geological Society Engineering Group
GSI	Geological Strength Index
ISRM	International Society for Rock Mechanics
IST	Instituto Superior Técnico
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
MRMR	Mining Rock Mass Rating
RFHS	Rockfall Hazard Rating System
RMi	Rock Mass Index
RMN	Rock Mass Number
RMR	Rock Mass Rating
RQD	Rock Quality Designation
RSR	Rock Structure Rating
SMR	Slope Mass Rating
ZCI	Zona Centro Ibérica

Simbologia – Alfabeto Latino

A	Área
c	Coessão
CV	Coefficiente de variação
D	Fator do grau de perturbação do maciço pela escavação
F	Estado de fraturação
fo	Fator empírico
FS	Fator de Segurança
HR	Raio hidráulico
Ja	Peso referente ao estado de alteração das superfícies de descontinuidade
Jn	Peso referente ao número de famílias de descontinuidade
Jr	Peso referente à descrição da rugosidade das superfícies de descontinuidade
Jw	Peso referente às condições hidrogeológicas do maciço rochoso
L	Comprimentos
m	Número de variáveis aleatórias
Mb	Constante de Hoek-Brown
N	Número de estabilidade
P	Perímetro
PF	Probabilidade de Falha
Q	Classificação geomecânica de Barton (Tunnelling Quality Index).
R	Ressalto ("rebound") de Schmidt
S	Classe de resistência à compressão da rocha
W	Grau de alteração

Simbologia – Alfabeto Grego

Υ	Peso volúmico
Λ	Frequência de fraturação
σ_v	Tensão vertical
σ_h	Tensão horizontal
σ_c	Resistência à compressão uniaxial da rocha
ν	Coefficiente de Poisson
ϕ	Ângulo de atrito
α	Quadrante da inclinação
β	Inclinação das descontinuidades
δ	Direção do plano

Capítulo I

Introdução

(página propositadamente em branco)

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A presente dissertação, insere-se na Unidade Curricular “Dissertação/Projeto” (no trabalho que agora se apresenta, optou-se pelo formato Projeto procurando ir de encontro às necessidades da indústria – particularmente a pedreira da Milhária explorada pela Empresa de Lousas de Valongo) do 2º ano do curso de Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente do Departamento de Engenharia Geotécnica (DEG) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

Este projeto foi desenvolvido em três fases distintas, porém sequenciais e complementares entre si:

- Numa primeira fase, fez-se a recolha bibliográfica da temática em estudo, com incidência na vertente histórica e aspetos técnicos da anterior exploração subterrânea;
- Na segunda desenvolveram-se, no local de interesse, trabalhos de aquisição de elementos, abrangendo a recolha e registo dos dados geológico-geotécnicos disponíveis, acessíveis e julgados convenientes ao projeto em estudo, sempre com o fito de concretizar o objetivo desta tese – assegurar um modelo de implementação da segurança dos hasteais da pedreira, na exploração a céu aberto existente;
- Finalmente, e numa última fase, desenvolveu-se todo um trabalho de gabinete que resultou no processamento dos dados recolhidos, na sua análise, avaliação e interpretação, de modo a aferir uma síntese modelada ao objetivo pretendido, assegurando um método coerente e eficaz de prever, resolver ou atenuar significativamente as atuais questões de segurança dos taludes na pedreira da Milhária.

Tendo sempre em mente a procura de soluções, cientificamente alicerçadas, para as questões que poderão surgir em resultado da atividade de exploração de ardósias a céu aberto da pedreira da Milhária, realizaram-se trabalhos de campo, na pedreira, no seu estado de desenvolvimento atual, e pesquisa histórica das explorações subterrâneas que a antecederam e que, em boa parte, coincidem espacialmente.

Esses trabalhos de campo resultaram na identificação e seriação das descontinuidades existentes no maciço rochoso e respetivas famílias prevaletentes no espaço de exploração atual e previsível, bem como o levantamento exaustivo das cavidades resultantes da anterior exploração pelo método subterrâneo, trabalhos esses realizados em estreita colaboração com a proprietária da pedreira e com o envolvimento ativo dos seus dirigentes e técnicos

Este trabalho tem a pretensão de contribuir, ainda que de forma modesta, para uma abordagem estruturada aos aspetos geomecânicos e geotécnicos essenciais a uma análise estrutural de estabilidade dos hasteais e bancadas resultantes do corrente método de desmonte que consiste no rebaixamento através de corte mecânico, por roçadora e/ou fio diamantado e consequente destacamento e desmonte de blocos por cunhas ou martelos hidráulicos.

Todo o estudo desenvolvido, teve como base a cartografia geológico-geotécnica do maciço rochoso de interesse nas várias frentes da pedra, procurando abordar sempre os aspetos orientativos propostos pela ISRM (1981), entre outros, essenciais à aplicação das classificações geomecânicas mineiras de Barton et al. (1974, 1977, 1980) e de Bieniawski (1973, 1976, 1979, 1984, 1989, 1993).

1.2. Objetivos

O projeto que aqui se desenvolve tem como base geral a definição de parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos essenciais à prossecução do trabalho que culminará numa proposta de metodologias conducentes à segurança, suporte e estabilidade dos hasteais resultantes da atividade extrativa de ardósia na pedra da Milhária.

Estes hasteais, resultantes do desmonte por bancadas no maciço rochoso, a céu aberto, apresentam, em algumas situações, problemas estruturais aparentes, resultantes quer da atividade exploratória, quer do facto de estarmos na presença de uma exploração de carácter único que se desenvolve sobre e entre um antigo conjunto de pedreiras subterrâneas o que acarreta um carácter de imprevisibilidade acrescido aos avanços que se vão fazendo no decorrer dos trabalhos de extração. Na realidade, à medida que se vão fazendo avanços, principalmente em profundidade, atingem-se as cavidades deixadas pela exploração local de ardósia no último século. Tal facto origina a instabilização do maciço rochoso uma vez que este está a ser cerceado dos pilares deixados para suporte dos terrenos. Conjugando esta realidade, que tem como consequência imediata o libertar de variadas tensões no maciço, com o intemperismo a que ficam sujeitas as paredes dos taludes assim expostos, temos desencadeados vários fatores que poderão, no limite, vir a causar instabilidade nos taludes e um consequente risco para atividade desenvolvida. Assim, é objetivo do presente trabalho a avaliação do risco inerente à exposição de grandes taludes, bem como, numa fase seguinte, o dimensionamento de medidas mitigatórias desse mesmo risco. Seguindo esta metodologia de base procura-se chegar a propostas técnicas de suporte a aplicar nas diferentes fases da exploração, assim como parâmetros geomecânicos subsequentes, avaliando suportes “definitivos” ou até “provisórios” (em consequência de previsíveis avanços das frentes de trabalho) com importância para as operações presentes nos ciclos de trabalho de exploração aplicados nesta pedra a céu aberto e à sua desejada estabilidade, assegurando níveis de segurança que salvaguardem quer os bens (todo o equipamento envolvido na exploração) quer,

essencialmente, a segurança e o bem estar dos trabalhadores envolvidos nas operações de extração.

1.3. Metodologia e estrutura do trabalho

Tomando por base o planeamento geral de uma exploração mineira, como definido na University of Tennessee, Center for Clean Products, (august 2009), dá-se um enquadramento geral deste projeto.

- Dados iniciais: - caracterização do maciço rochoso;
- Dados globais: - dimensionamento da exploração (bandas, pilares, ...);
- estado das tensões;
- planeamento do desmonte;
- Dados detalhados: - planeamento do suporte no desmonte;
- sustimento e reforço .

Para a realização deste estudo, recorreu-se a levantamentos geológico-geotécnicos na zona de interesse da Pedreira da Milhária, nomeadamente do campo atualmente em exploração ativa.

O trabalho divide-se em várias fases com os seguintes objetivos complementares:

- Cartografia geológico-geotécnica da zona de exploração com recurso ao levantamento topográfico existente e implantação das antigas pedreiras (embora, neste caso, de uma forma aproximada dada a inexistência verificada de informação fidedigna relativa a estas antigas explorações e seu desenvolvimento subterrâneo);
- Ensaios de resistência à compressão com *martelo de Schmidt*, e *prensa hidráulica uniaxial*, em laboratório, para estimativa da resistência do material rochoso (ardósia) nos diferentes pontos da pedreira;
- Atribuição das classificações geomecânicas *Q-System* e RMR estabelecendo uma correlação da última com o GSI, com uniformização de uma descrição qualitativa do maciço rochoso presente;
- Quantificação de alguns parâmetros geomecânicos do maciço ardósífero, nomeadamente tensões principais, coesão e ângulo de atrito;
- Correlação dos elementos por aplicação de suportes informáticos (Rocscience – Dips, Swedge, Rocfall), quer em termos determinísticos quer probabilísticos;
- Análise de risco associada aos taludes materializados na exploração;
- Propostas de segurança e/ou sustimento a atribuir aos hasteais estudados com base nos

elementos adquiridos e análises efetuadas;

- Dimensionamento de larguras mínimas admissíveis das bancadas face ao desenvolvimento da exploração em profundidade com proposta de medidas *genéricas*, baseada no estudo realizado para o risco inerente às frentes e trabalho (Swedge).

Para a concretização deste estudo, a totalidade dos trabalhos de campo e alguns dos ensaios foram realizados na pedreira da Milhária, pertencente à Empresa de Lousas de Valongo, situada em Campo, Valongo, e produtora de transformados de ardósia. Destinaram-se a avaliar e/ou confirmar os valores intrínsecos ao maciço rochoso em parâmetros como a resistência à compressão, o ângulo de atrito interno, entre outros. Seguidamente, utilizando os valores obtidos, desenvolveram-se análises e simulações recorrendo a suportes informáticos dedicados com vista a obter valores de parâmetros de segurança conforme condições simuladas para, em conclusão, se propor medidas de estabilização compatíveis com a segurança de pessoas e bens circulantes na pedreira.

Os dados recolhidos através dos trabalhos de campo foram analisados de modo a procurar entender os principais fatores que influenciam a queda de rochas com o objetivo de expandir as ferramentas disponíveis para outras pesquisas, corroborando as observações por recurso a métodos analíticos em gabinete.

Os resultados foram comparados com as atuais práticas de dimensionamento das bancadas de segurança e métodos de sustimento, com o objetivo de validar ou refutar os métodos atuais como técnicas adequadas ao dimensionamento da pedreira. Recorreu-se, para isso, a simulações em programas de análise numérica usando os programas de cálculo geotécnico Dips V7.0 e Swedge V6.0 da Rocscience para calcular a segurança dos taludes resultantes do atual método de exploração.

Este projeto apresenta um estudo relativo a questões que se equacionam sempre que são referidas quedas de rochas. Os diversos esforços de pesquisa quer de informações disponíveis na pedreira e na posse do seu diretor técnico, quer em outras entidades tais como a Direção Geral de Geologia e Energia (Norte), Museu da Lousa, Câmara Municipal de Valongo, resultaram na recolha de elementos que foram dando corpo a este trabalho. Coadjuvando-os com os trabalhos realizados em campo e, deste modo, projetando a partir da informação disponível e do contributo do trabalho desta tese, conclusões e recomendações de ação para os trabalhos a desenvolver futuramente.

Capítulo II

Apresentação de caso: pedreira da Milhária

(página propositadamente em branco)

2. Apresentação de caso: Pedreira da Milhária

2.1. Enquadramento geral

A presente dissertação tem aplicação prática ao estudo da estabilidade das bancadas resultantes da exploração de ardósia levada a cabo pela Empresa de Lousas de Valongo (ELV) na pedreira da Milhária na Freguesia de Campo – concelho de Valongo, distrito do Porto (Figura 2.1).



Figura 2.1 Vista de satélite do local de interesse (google earth, 2017).

A ELV labora continuamente desde 1865, sendo a sua sede atual junto à pedreira da Milhária, no lugar do mesmo nome (Figura 2.2).



Figura 2.2 Sede e fábrica da Empresa de Lousas de Valongo.

2.2. Enquadramento geográfico

A área em estudo localiza-se na atual União das freguesias de Campo e Sobrado, concelho de Valongo e distrito do Porto na província do Douro Litoral. A antiga freguesia de Campo foi uma freguesia do concelho de Valongo, com 11 km² de área (2012), 9 197 habitantes (2011) e com a densidade populacional de 836,1 hab/km², distando cerca de 2 km da sede do concelho e aproximadamente 12 km da cidade do Porto.

A freguesia de Campo, ao longo dos tempos, conheceu três fases importantes de desenvolvimento: a fase da exploração do ouro (a mais antiga, séc.I, AC); a fase da moagem e panificação (a partir do séc. XVI); e uma terceira fase com a exploração da ardósia. Destas atividades, as que mais caracterizam a zona é a manufatura do pão e o trabalho nas pedreiras de ardósia. A base económica da freguesia é a micro-empresa, de carácter familiar, havendo algumas pequenas e médias empresas instaladas no Parque Industrial de Campo. A exploração da ardósia, fruto da diminuição de explorações ativas e da modernização dos métodos de exploração tem vindo a perder peso na economia local, mantendo-se, no entanto, como uma das bandeiras da indústria do Concelho.

2.3. Enquadramento geológico

2.3.1. Regional

Geologicamente, em Portugal, as rochas mais antigas pertencem ao Maciço Ibérico ou Hespérico.

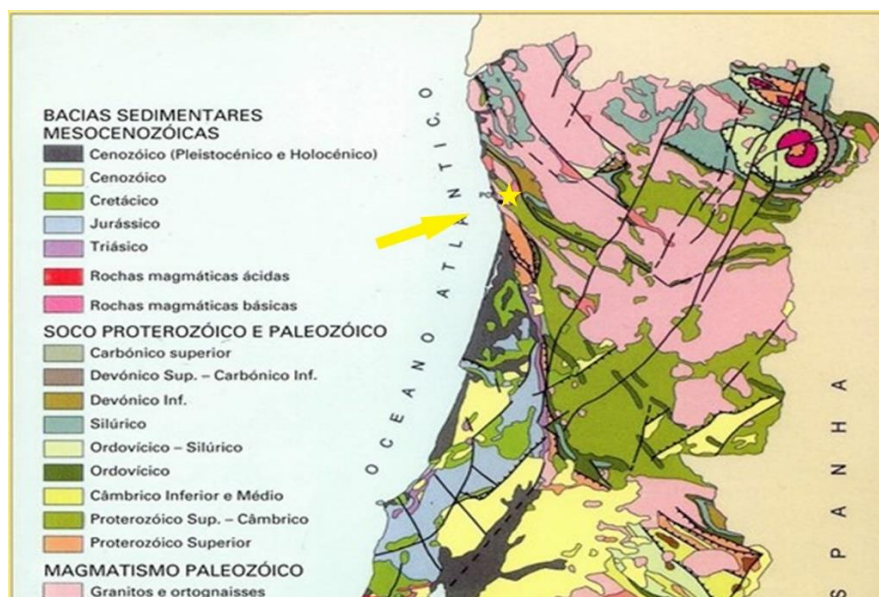


Figura 2.3 Enquadramento geológico regional da zona de Valongo (assinalada pela seta e estrela), segundo IGM.

Na Figura 2.3 é possível observar a divisão em zonas deste maciço, onde se pode verificar que a nossa área de interesse (jazidas ardosíferas do Anticlinal de Valongo), se enquadra na Zona Centro Ibérica (ZCI).

Esta zona, segundo Martinez Catalán et al. (2004), in Sa (2005), pode dividir-se em dois domínios: um primeiro domínio denominado de *Olho de Sapo* e um segundo domínio denominado de *Complexo Xisto-Grauváquico (CXG)*, segundo as características estratigráficas dos materiais infrajacentes ao Ordovícico inferior.

Do ponto de vista geológico, a zona de Valongo caracteriza-se por afloramentos de rochas metamórficas, resultantes de um metamorfismo regional e/ou de contacto, e intrusões granitoides (Ribeiro et al., 1979), enquadrando-se na estrutura da ZCI, que se inicia em Tabagon (próximo de Tui Espanha) e termina próximo de Tamames (Salamanca, Espanha). É uma estrutura estreita e alongada, com direção aproximada NW-SE, Anticlinal/Sinclinal, cujo flanco SW, em Portugal, é marcado por uma falha, à qual estão associados sedimentos carbónicos de natureza continental (sulco carbonífero Durico-Beirão, Sa & Gutierrez-Marco, 2006, Figura2.4).

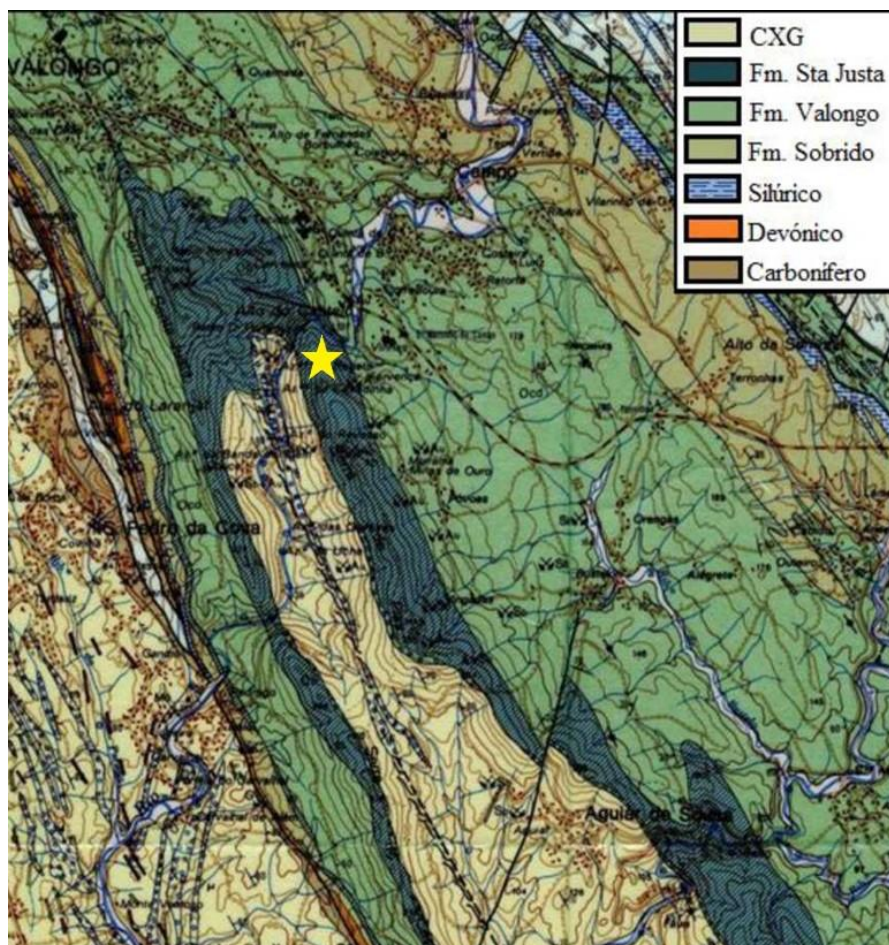


Figura 2.4 Área geológica de interesse - Anticlinal de Valongo (Pedreira da Milhária – estrela amarela – Adaptado de Sá & Gutiérrez-Marco, 2006)

Segundo Andrade (2006), a ZCI possui duas características principais: uma é a discordância generalizada do Ordovícico inferior sobre o CXG e outra é a abundância de rochas graníticas com idades quase exclusivamente hercínias.

A região de Valongo inclui-se numa megaestrutura geológica a que se dá o nome de “*Anticlinal de Valongo*”. Esta estrutura corresponde a uma grande dobra hercínica, com vários quilómetros de extensão e direção NW-SE, constituída basicamente por metassedimentos marinhos.

O sector de Campo, Valongo, do Anticlinal de Valongo, corresponde ao flanco NE de um sinclinal cujo eixo é quase vertical. Esta dobra é formada por materiais do Ordovícico e do Silúrico, e também do Carbónico continental, que se sobrepuseram aos primeiros, tectonicamente (Sa & Gutierrez-Marco, 2006).

Diversos autores referenciados por Soares (1999), fazem corresponder o ambiente sedimentar da Formação Valongo às zonas mais externas e mais profundas da plataforma centro-ibérica. Por esse motivo, esta unidade está representada por sequências essencialmente pelíticas que afloram em ambos os flancos do Anticlinal de Valongo. Estes maciços rochosos apresentam, de modo geral, um baixo grau de metamorfismo que originou xistos ardosíferos negros, de grão fino, explorados na pedreira do Milhária, estudada neste trabalho.

2.3.2. Geologia local - Formação Valongo

No Ordovícico médio, terá decorrido a deposição de materiais mais finos, como resultado da subida dos níveis médios das águas dos mares, que vieram a originar a Formação de Valongo. Esta formação, é constituída por ardósias e xistos argilosos escuros, homogéneos, e com uma espessura de cerca de 300m (Couto, 1993; Couto et al, 1997, in Sá 2005). Nestas rochas pode ser observado um importante conteúdo fóssil, conhecido mundialmente pelas trilobites de grandes dimensões, preservadas graças à natureza fina dos sedimentos (argila e silte) e às condicionantes paleoambientais verificadas nessa bacia de sedimentação (Sá & Gutiérrez-Marco, 2006).

Essa sedimentação de materiais não foi contínua, como se pode constatar pela existência de um nível de ferro oolítico com espessura máxima de 20 cm, que, de acordo com Sá & Gutiérrez-Marco (2006), marca uma lacuna estratigráfica que corresponderá ao término do Oretaniano inferior e à metade inferior do Oretaniano superior. Nesse intervalo de tempo, pouco superior a um milhão de anos, “*o ferro dissolvido nas águas continentais precipitou ao chegar ao mar, formando pequenas esférulas (oolitos), nucleadas em torno de grãos de areia por ação da ondulação e das suaves correntes de fundo*”.

2.3.3. Características Físico-Químicas e Mecânicas da ardósia de Valongo

Geralmente a ardósia é composta principalmente por minerais de quartzo (SiO_2) e moscovite ($(\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2)$) ou ilite ($((\text{K},\text{H}_3\text{O})(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,(\text{H}_2\text{O})])$), associada, muitas vezes, com biotite, clorite, hematite e pirite e, com muito menor frequência de apatite, grafite, caulino, magnetite, turmalina e/ou zircão, bem como feldspato. Ocasionalmente, como nas ardósias de tom lilás (p.e. do norte do País de Gales) ou no caso das ardósias cinzentas de Valongo, formam-se nódulos de redução ferrosa de núcleos de ferro, deixando uma textura manchada de tons verdes. Esses nódulos, por vezes, são deformados por um campo de esforço aplicado subsequentemente aos ovóides, que aparecem, assim, como elipses quando vistos num plano de xistosidade da formação em observação.

A ardósia proveniente dos depósitos de Valongo apresenta uma cor que vai do cinza azulado claro ao cinza muito escuro, de grão muito fino e clivagem muito bem definida. Como características mecânicas principais apresenta (médias, conforme ensaios disponíveis):

- Resistência mecânica à compressão: 656 kg/cm^2 ;
- Resistência mecânica à compressão após teste de gelividade: 494 kg/cm^2 ;
- Resistência mecânica a flexão: 2.580 kg/cm^2 ;
- Massa volúmica aparente: 2.829 kg/m^3 ;
- Absorção de água à Pressão Atmosférica Normal: 0,18%;
- Porosidade aberta: 1,24%;
- Coeficiente de dilatação linear térmica: $(8,0 \times 10^{-6})/^{\circ}\text{C}$;
- Resistência ao desgaste: 8,3 mm;
- Resistência ao choque - altura mínima de queda (cm): > 110 (altura máxima ensaiada);
- Descrição Macroscópica:
Xisto de cor cinzenta azulada a cinzenta escura, homogéneo, compacto, finamente granular, exibindo clivagem xistenta nítida.
- Observações:
Os Resultados dizem respeito a ardósias de mediana qualidade. A resistência aos ácidos (norma DIN 52206) é satisfatória. No final dos 25 ciclos de gelo/degelo os provetes não revelaram alterações sensíveis.

2.4. Enquadramento histórico

A exploração industrial da “Ardósia”, ou “Lousa”, como é localmente designada, em Valongo, começou em 1865, com a instalação de uma companhia inglesa no concelho – *The Vallongo Slate & Marble Quarries Company*. Esta instalação surge pela necessidade de “lastrar” os barcos que

transportavam o vinho do porto e carvão para e de Inglaterra, tendo surgido a oportunidade de o fazer com ardósia, que dada a sua excelente qualidade e acesso relativamente fácil ao rio Douro se tornou um material apetecível visto aliar um valor económica considerável à sua função de mero “lastro”.

Entre 1862 e 1867 esta companhia adquire “...*certas terras, pedras, rochas de lousas, direitos, gado em Valongo e a compra e aforamento (perpétuo ou por tempo determinado) de outras terras do mesmo reino...*” bens pertencentes a Nicholas Ennor e Francis Ennor.

Em 1865 é nomeado procurador geral da empresa Francis Ennor. E em 1872 uma nova procuração nomeia Charles Coverley “... *o verdadeiro e legal procurador*”.

A produção inicial destinava-se à exportação para Inglaterra (sede da empresa) e Estados Unidos, onde havia escritórios e armazéns de distribuição. Para exportação produziam-se soletos, pedras polidas, quadros escolares e, mais tarde, pedras para bilhares.

Em 1874 D. Luís (então Rei de Portugal) nomeia por alvará, a companhia inglesa, fornecedora da Casa Real. Era administrador da empresa Charles Ennor.

A exploração era feita em pedreiras a céu aberto, das quais se destacam Galinheiro, Vale de Amores e Susão. A Mina do Galinheiro foi a primeira a ser explorada, como consta da escritura de empraçamento feita a 15 de março de 1865 por 225\$000 réis à Câmara Municipal por Eduardo Ennor, membro da família Ennor. Era mestre e diretor da mina João Welch.

Mais tarde, “...*a Companhia comprou em 1889 a mina do Exmo. Sr. António Lopes dos Santos por 1700\$000 réis e a do Exmo. Sr. António Marques Paiva, por 5000\$000 réis, No Galinheiro empregam-se para cima de 300 operários, parte dos quase trabalham nas minas, e parte na fábrica, onde se labora e pule a pedra*”.

A Mina de Vale de Amores, começou a ser explorada em 1896, por José Seara e Francisco Seara e que mais tarde vêm a cedê-la à Companhia Inglesa, “*mediante um contracto em virtude do qual receberam aqueles senhores todos os anos metade dos lucros.*”

A Mina do Susão, começou a ser explorada em 1867, empregando na altura 25 trabalhadores.

A “Vallongo Slate” fazia ainda exploração e extração na região de Penafiel, concretamente na Serra da Boneca. No ano de 1875 foi cedida pela Câmara Municipal de Penafiel à Companhia Inglesa a concessão de um terreno na Serra da Boneca, para exploração de jazigos de lousa, sendo a mesma concessão aprovada pelo Conselho de Distrito.

Mais tarde a Junta de Paróquia de Sebolido, do Concelho de Penafiel fez arrendamento do mesmo terreno à firma Hastings. A partir de então desenrolou-se um processo judicial pela disputa do terreno, entre a Companhia Inglesa e a Hastings. Esta questão foi julgada em primeira instância a favor da “Vallongo Slate”, que continuou a sua exploração até meados do século XX.

Em “A Villa de Vallongo” livro editado na cidade do Porto em 1904, o Pe. Joaquim Alves Lopes do Reis (que veio também a editar a “Monografia de Vallongo”) descreve que “*a Companhia Inglesa The Vallongo Slate & Marble Quarries*” empregava mais de 300 trabalhadores (que terão chegado a um máximo de 1600 em vésperas da segunda guerra mundial) distribuídos por dez pedreiras equipadas com “tecnologia de ponta” à época da referência. Neste livro é possível verificar a distribuição geográfica das explorações, constatando-se que ocupava toda a faixa ardosífera em exploração desde sempre (desde o lugar do Susão até à Carvoreira).

Em todas as pedreiras estavam montadas grandes máquinas a vapor que facilitavam em muito a extração da lousa. A energia elétrica chega à “Vallongo Slate” nos anos 20, em ramal pago pela empresa.

Alguns anos depois a Companhia Inglesa fez um empréstimo à Câmara de Valongo (1924) para eletrificação da Vila, tendo depois havido por parte da Autarquia várias dificuldades no pagamento, nomeadamente com a Revolução de 1926 e a nomeação de uma Comissão Administrativa.

O ano de 1930 anuncia uma 2ª fase da empresa. Nesta época, foi saldado o empréstimo por troca da construção da estrada do Rio Ferreira–Póvoas, pela Câmara que a Companhia mandara construir.

É também em 1930 que se forma a Empresa das Lousas de Valongo, que adquire todo o ativo e passivo da “The Vallongo Slate & Marble Quarries Company”.

Nos finais dos anos 30 (1939), com a Segunda Guerra Mundial, a empresa atravessa uma crise económica grave fruto das medidas protecionistas, através de taxas de importação, dos vários governos de uma Europa destruída pela guerra.

Só a partir dos anos 50 do século XX, com a reconstrução da Europa, a economia volta a subir, tendo a partir de então, modificado o mercado. A lousa começou a ser utilizada também como uma rocha ornamental e de construção, nomeadamente em pavimentos, revestimentos, etc.

Em 1982 a Empresa de Lousas de Valongo foi definitivamente resgatada para o controlo do capital nacional pela empresária portuense Maria Eugénia Lencastre Ribeiro da Silva Nunes de Matos, matriarca da família que controla, presentemente, toda a empresa. Sob o impulso desta empresária e no qual colaboraram desde logo os seus filhos Rui de Matos e Ana Isabel e genro Teotónio Pereira (atuais administradores), as operações tiveram uma significativa evolução quer na extração quer na transformação. Introduziram-se novos métodos de exploração (a céu aberto) e equipamentos de corte e movimentação modernos com rendimentos muito superiores aos tradicionais. Por outro lado, no setor da transformação (“fábrica”) também se assistiu a uma grande evolução que permitiu que, por exemplo, cada máquina em 1945 necessitasse (em média) de 2 operários para o seu correto funcionamento, sendo que, em meados dos anos 80, já só era necessário um funcionário

para cada 5 máquinas. Caminhou-se, pois, para uma indústria altamente mecanizada tanto na extração como na transformação.

A ardósia de Valongo é conhecida pelas características específicas da região em que se situa (Valongo – Douro Litoral) e pela idade geológica das suas pedreiras (Landeiliano Superior, aproximadamente 450 milhões de anos).

Os produtos da ELV foram premiados em várias exposições mundiais históricas: na exposição mundial de Paris (1867), exposição de Viena (1873), exposição de Filadélfia (1876), Adelaide (1887), Lisboa (1888), Londres (1891), Porto (1897), Paris (1900), Rio de Janeiro, (1908).

Presentemente, a exploração da lousa em Valongo está restrita a duas empresas que foram, ao longo dos anos, sobrevivendo e adquirindo direitos e património das empresas que foram deixando a atividade. A Empresa de Lousas de Valongo é uma delas tendo, como já vimos, absorvido a atividade de muitas outras empresas dedicadas à exploração ardosífera na área de Valongo, das quais de destacam nos últimos anos as aquisições da “Companhia Portuguesa de Ardósias”, da “Fonseca, Costa e Cia, Lda” e da “Sociedade Lousífera do Outeiro, Lda”, todas elas anteriormente detidas por sociedades inglesas e holandesas. A sua produção é, maioritariamente, exportada (cerca de 4 mil toneladas por ano) para os mercados do norte da europa, sendo que, na atualidade e por força da forte concorrência de produtores emergentes da China e Brasil, essa produção passa maioritariamente por materiais de revestimentos uma vez que o tradicional mercado de mesas para bilhares está dominado pela concorrência referida através de uma agressiva política de baixos preços.

2.5. Produtos resultantes

Os romanos chamavam-lhe “*lapides lausiae*” que significa “pedra de lousa”. O termo ardósia é mais tardio, tendo-nos chegado, vindo do francês “*ardoise*” (no séc. XVIII). O uso desta rocha sofreu alguma quebra com a introdução de outros materiais sintéticos. É o caso dos tradicionais quadros de ardósia da sala de aula, nas escolas, ou dos tampos das bancadas dos laboratórios, hoje substituídos por outros materiais, produzidos artificialmente.

De aplicação muito frequente, no passado, em obras de construção civil, o avanço das tecnologias construtivas foi relegando as ardósias, substituindo-as pela telha, pelo tijolo e pelo betão. Porém, está-se hoje a assistir a um novo virar de atenção para estes materiais em determinados contextos culturais e de conceção arquitetónica (Figura 2.12).



Figura 2.5 Soletos em construção moderna (<https://www.vnzinc.pt/as-nossas-solucoes/fachada/vnz-adeka>).

A ardósia de Valongo desde sempre foi reconhecida como de excelência para a produção de mesas de bilhar. Tal facto deve-se a fatores naturais, na sua génese, que lhe deram características para ser uma pedra ideal para mesas de bilhar com a menor taxa de absorção de água (0,18%) e, sobretudo resistente à flexão, tornando-a notavelmente superior se comparada com outras pedras ou materiais.

A ardósia é ainda transformada numa diversificada gama pela produção de chapas de pedra cinza escura nos mais diversos tamanhos e acabamentos, a partir das quais profissionais altamente qualificados trabalham para um melhor atendimento às necessidades específicas do mercado, nomeadamente pedra em chapa, ladrilhos e soletos. Para além destes produtos, normalizados, poderão ainda ser produzidos, sob encomenda, pedras para jardins, pedras tumulares, cubos para pavimentação, etc, numa gama virtualmente infinita em que só a imaginação poderá ser limite.

Refira-se, a propósito, que atualmente a ELV se encontra a desenvolver, numa parceria com investigadores universitários (U. Minho), um novo material – *slatetec* – que mais não é que o aproveitamento dos resíduos resultantes da exploração, agregados com resinas sintéticas e moldado consoante as necessidades, podendo ter qualquer forma e cor.

Por outro lado, os aproveitamentos dos resíduos de ardósia poderão passar, futuramente, pela remineralização de solos agrícolas (há já extensos testes realizados quer nos EUA quer no Brasil, em que o pó de ardósia é usado, com vantagem, em detrimento de adubos químicos, mais poluentes e caros para o utilizador), componente para certas massas cerâmicas, agregados leves (por aquecimento e expansão –“Eurite”), agregados com polipropilenos, etc.

2.6. Pedreira da Milhária

2.6.1. Introdução

A indústria de extração de ardósia (lousa) é sem dúvida uma das grandes atividades da freguesia de Campo e Sobrado (até 2013, só Campo) em Valongo, que leva o nome da cidade do Porto a todo o mundo sendo a lousa conhecida internacionalmente com "Porto Slate" (inglês) ou "Portoschiefer" (alemão). Esta atividade, inicialmente desenvolvida na sede do concelho de Valongo está hoje apenas a ser trabalhada na freguesia de Campo e Sobrado, onde se encontram todas as explorações desta rocha. A ardósia, desde há muitos anos, é uma rocha ornamental destinada principalmente à exportação, porém, atualmente, começa também a ser muito procurada no mercado Português. Sendo a ardósia um material extremamente coerente, a sua exploração a céu aberto pode ser facilmente realizada pelos métodos clássicos de desmonte em bancadas. Assim e recorrendo a maquinaria pesada e moderna conseguem-se rendimentos substancialmente superiores aos do desmonte tradicional, característico da região, por poços e túneis.

Destinando-se o produto final a fins maioritariamente ornamentais, raramente se usam os explosivos para o desmonte. Tal uso tem-se restringido, cada vez mais (e com tendência a desaparecer por completo) à remoção de volumes estéreis sobrejacentes no maciço e, mesmo assim, com extremas cautelas, de modo e evitar ao máximo a transmissão de vibrações à rocha sã, devido à possibilidade de vir a causar mais compartimentação e conseqüente desaproveitamento da matéria prima presente na massa mineral.



Figura 2.6 Corte de ardósia com lâmina com corrente de pastilhas diamantadas (ELV, do autor).

Por esse motivo, presentemente, o desmonte realiza-se de forma a causar o mínimo de perturbação e consequentes danos ao maciço pelo que se tem vindo a generalizar o uso das roçadoras de cadeia e/ou corte por fio diamantado (Figura 2.6).

Depois de destacados os blocos por recurso a cunhas ou martelos hidráulicos, aproveitando a anisotropia física resultante da xistosidade, ou máquinas pesadas (pás carregadoras ou escavadoras de rastos) estes blocos, bem como os escombros resultantes, são retirados por recurso a gruas ou equipamento rolante (camiões ou dumpers), dependendo da dimensão da exploração.

A adoção deste método, tem vindo a baixar significativamente os custos de extração, relativamente aos poços e túneis, uma vez que dispensa, desde logo, meios de iluminação, ventilação e esgoto, permite o uso de equipamentos de maior rendimento e, adicionalmente, confere de um modo geral um melhor ambiente de trabalho para os trabalhadores envolvidos.

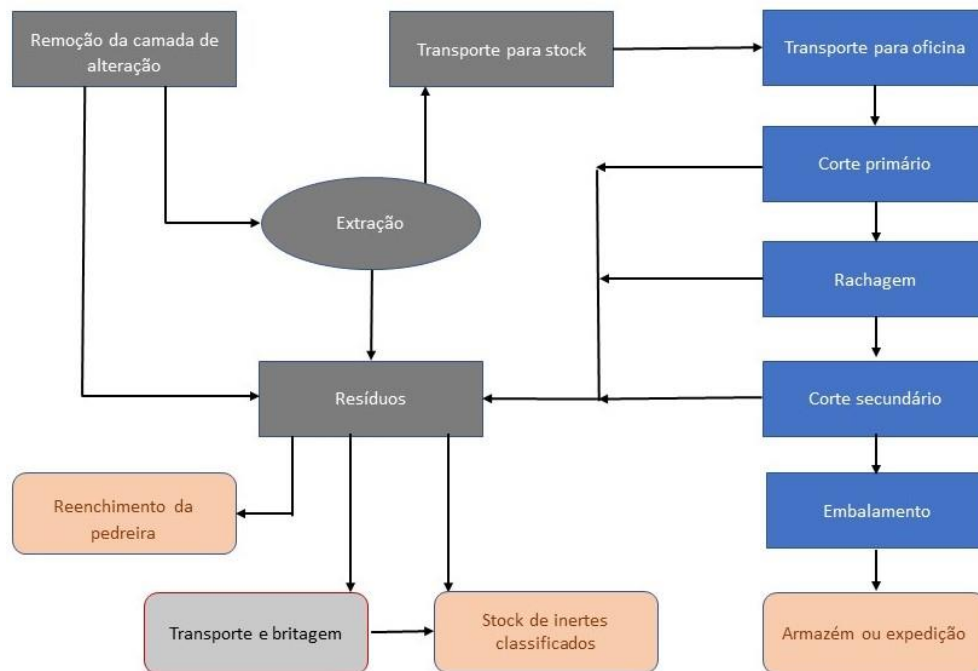


Figura 2.7 Ciclo simplificado de operações numa louseira
(Adaptado de: University of Tennessee, Center for Clean Products, August 2009).

No entanto, as diferenças entre os métodos de exploração variam nas operações unitárias. Estas são resultado dos diferentes aspetos geométricos, geomecânicos e geológicos do jazigo e do maciço encaixante, tornando a sua seleção dependente de inúmeros critérios de origem técnico-económica, englobados pelos elementos descritos na Tabela 2.1 (Brady & Brown, 2004; Galiza et al., 2011).

Tabela 2.1 Fatores principais condicionantes da seleção do método de desmonte

Seleção do método de lavra	
Fatores do maciço	Fatores técnico-económicos
Configuração geométrica do jazigo Distribuição e orientação Dimensões Teores e variações temporais Geomecânica	Recuperação e diluição consideradas Taxa de desenvolvimento e produção requeridas Custos Valor económico da ardósia e previsão da variação Impactos ambientais

No decurso das últimas décadas, o notável desenvolvimento da engenharia de geotécnica, em particular os avanços nos estudos de mecânica das rochas e de engenharia de maciços rochosos (“rock engineering”) permitiu avanços significativos nas técnicas de caracterização e de análise que possibilitam a decisão preliminar sobre a escolha do método de lavra (e.g., Terzaghi, 1946; Hoek & Brown, 1980; Brown, 1981; Wittke, 1990; Palmström, 1995; Brady & Brown, 2004; Hoek, 2007; Palmström & Stille, 2010).

2.6.2. Evolução da exploração da pedra

A extração da ardósia (ou lousa, como localmente preferem) é, atualmente, feita a céu aberto, embora ainda subsista alguma exploração por recurso ao método tradicional em poços e túneis, já antes mencionado.

No passado, não muito longínquo, os mineiros da ELV, trabalhavam no fundo dos poços abrindo a picão manual (ou martelo pneumático ligeiro) os denominados cortes (incisões verticais) e roço (incisão horizontal). Essas incisões que, em corte, apareciam sob a forma de “V” e com uma profundidade de até cerca de 30 cm (limitada pelo eventual desperdício e pelo peso do bloco a destacar) a partir das quais, recorrendo a cunhas e à força de marretas, eram “rachados” blocos (entre as 1,5 a 4 ton) que seguiam então para o processo de transformação onde, após criteriosa seleção, eram transformados em produtos finais serrados, clivados, amaciados, ... , que, após embalagem, seguiam para os clientes finais, incluindo uma forte componente de exportação, principalmente para os países do norte da Europa, tal como ainda hoje se verifica.



Figura 2.8 Abertura de corte e vala manual em exploração subterrânea (anos 50, Arquivo Municipal de Valongo).

A exploração de lousa pela ELV remonta a 1865, embora existam registos de explorações, muito rudimentares, e superficiais, em toda a zona de Valongo, antes dessa data. Foi, porém, a exploração subterrânea a utilizada de forma massiva até muito recentemente. Tal facto, resulta de que os meios disponíveis nessa época tornavam extremamente oneroso o desmonte e movimento de grandes massas de rocha, pelo que o acesso à melhor zona de pedra, no maciço, se fazia por meio de um poço conforme esquema apresentado na Figura 2.9.

Como se pode verificar, pelos corte e plantas desta figura, as pedreiras seguiam sensivelmente o mesmo desenvolvimento: Após a “boca” (poço que variava do 7 x 7m aos 10 x 10m), elemento que se destinava a ultrapassar com custos reduzidos a zona de alteração do maciço e a dar consistência à parte superior da pedreira e que variava em profundidade (normalmente entre os 10m e os 20m), o poço entrava na zona produtiva do maciço (pedra “sã”) onde sofria imediatamente um alargamento que era progressivo até ao final da exploração, conferindo a típica configuração de “garrafão” ou “garrafa de Dimple”. Estas explorações podiam atingir os 100 m de profundidade, ou mesmo mais, dependendo da qualidade da pedra encontrada. Refira-se, igualmente, que por questões de segurança, a dimensão máxima destas pedreiras (paralelamente à xistosidade) rondava os 15 m (como pode ser observado na Figura 2.9 que se refere à zona atualmente em exploração na Empresa de Lousas de Valongo), sendo que em comprimento (perpendicularmente à xistosidade) podiam ter a “dimensão possível” ou seja, era livre e somente condicionado por limites legais tais como, por exemplo, a proximidade de vias de comunicação (ver Anexo 1).

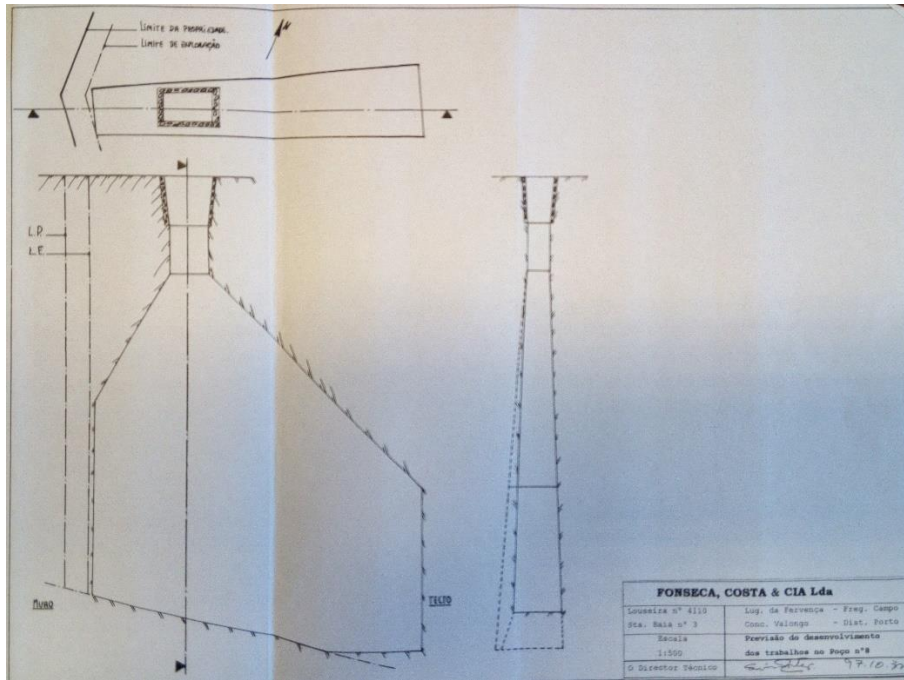


Figura 2.9 Esquema de pedra subterrânea de ardósia (Santa Baia, Valongo).

Este método tinha grande impacto na qualidade de vida dos mineiros uma vez que as condições de salubridade eram quase inexistentes. Por um lado, não havendo ventilação, o pó acumulava-se no fundo do poço (plataforma de trabalho) dando origem a um ar muito contaminado por partículas de sílica que originava a famosa doença silicótica (silicose).

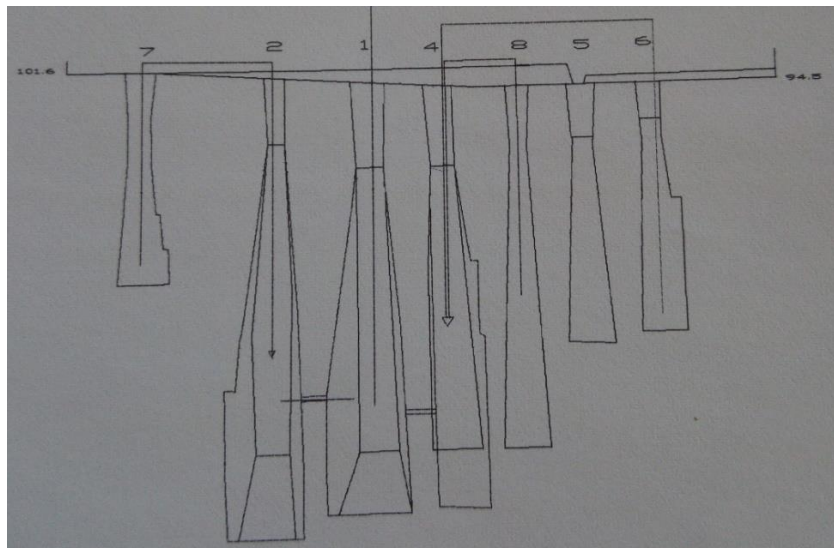


Figura 2.10 Cortes de pedreiras de ardósia em exploração subterrânea (Santa Baia, Valongo).

Por outro lado, as condições de iluminação, muito deficientes, eram, também elas, prejudiciais à saúde dos mineiros. Inicialmente usavam-se velas e archotes e, mais tarde, até ao advento da

iluminação elétrica, usava-se os gasómetros de acetileno que, por sua vez, também contribuíam para a poluição do ar no fundo das pedreiras. Adicionalmente, não existiam equipamentos de proteção individual, trabalhando cada um com a roupa que usava diariamente como pode ser observado na Figura 2.8, alusiva à exploração em meados do séc. XX.



Figura 2.11 ELV, 1937, produção de pedra clivada (arquivo municipal de Valongo).

Mesmo após a recuperação registada na década de cinquenta do século passado, a qual assentou primordialmente numa nova evolução tecnológica em que as antigas máquinas a vapor foram sendo substituídas por maquinaria elétrica, de menores dimensões, menor peso e mais elevado rendimento, no fundo dos poços as condições mantiveram-se, até ao início dos anos 60 em que, o recurso à ventilação forçada e o uso de martelos pneumáticos veio incrementar o rendimento das explorações e a melhoria das condições de salubridade para os mineiros.

Por essa altura, o recurso a martelos pneumáticos de alto rendimento (um marteleiro fazia o trabalho de 6 homens com o tradicional picão) o que gerava problemas graves com a poeiras. Essa questão começou a ser debelada ainda nos anos 60 com a introdução do fio de água no corte com martelo. Já em meados da década de 80, com a introdução das máquinas de serragem por correntes (inicialmente equipadas com pastilhas de corte amovíveis) e mais tarde, na década de 90, com corte a fio diamantado com água, foi resolvida a questão do pó que, assim, veio a diminuir para níveis residuais no interior das pedreiras.

Obviamente, estas evoluções tecnológicas trouxeram um aumento de rendimento global do ciclo extrativo que levou a uma enorme redução dos funcionários necessários nas pedreiras (passou-se, por exemplo, a ter 10 trabalhadores “de fundo” onde antes laboravam 50).



Figura 2.12 Braço de máquina Korfman de corte por corrente de pastilhas (ELV – autor).

Chegados a meados da década de 90, a ELV teve que se confrontar com a progressiva exaustão das reservas dos poços em exploração, à altura. Em virtude disso, e após estudadas as viabilidades de várias soluções, optou-se pela que propunha a exploração dos “pilares” deixados pelas antigas explorações, uma vez que estava assegurada a qualidade da pedra aí existente.



Figura 2.13 Escobreira da pedreira da Milhária (www.google earth.com).

Assim, deu-se início ao atual processo de exploração, a céu aberto, com recurso a maquinaria muito pesada (escavadoras de rastos, dumpers, ...), pelo que o rendimento das operações foi

exponencialmente incrementado, embora com o óbice de se explorar só a parte remanescente do maciço e haver lugar a um inusitado movimento de estéreis resultantes do entulhamento das antigas explorações (ver Figura 2.13).

E foi este novo método de exploração que está na origem do presente trabalho. De facto, a exploração a céu aberto teve como implicação direta o surgimento de taludes de considerável dimensão e com potenciais problemas de estabilidade geral.

É sobre a gestão, e controle de estabilidade, desses taludes que este estudo pretende dar o seu contributo.

2.6.3. Efeitos da exploração

A necessidade de avaliação da estabilidade local e global dos taludes é condicionada pela metodologia adotada na laboração atual, mas também pela metodologia seguida no passado sobretudo pela exploração subterrânea, ou seja, pela presença dos poços explorados no passado e que surgem no presente sob a forma de cavernas, à medida que a atual exploração progride em profundidade.



Figura 2.14 Vista geral do hasteal em consideração (montagem do autor).

Com efeito, na atual metodologia de exploração, fundamentada no elevado rendimento dos equipamentos disponíveis, nomeadamente o corte por fio diamantado e serragem por correntes e, sobretudo, na capacidade de transporte massivo de grandes tonelagens, origina-se um novo fenómeno que consiste no surgimento de hasteais (taludes) de exploração de dimensão significativa e a merecerem particular atenção, no que à estabilidade e segurança diz respeito.



Figura 2.15 Detalhe da atual exploração da ELV (autor).

Tal facto, como já referido, é ainda agravado pela presença das antigas explorações que, como pode ser observado na Figuras 2.14 e 2.15, interferem e condicionam os processos de exploração em curso, quer pela descontinuidade física, resultante da anterior atividade subterrânea, que condiciona o rendimento geral da operação quer, essencialmente, pelo fator instabilizante que induz ao tornar a frente dos taludes expostos “heterogénea”, uma vez que intercala zonas de pedra por explorar com as zonas exploradas que estão livres ou preenchidas por detritos, entulho ou mesmo blocos não aproveitados das explorações anteriores.

2.6.4. Modelos 3D da pedreira

Para uma melhor compreensão das questões abordadas neste projeto, relativas à pedreira da Milhária, e os efeitos da metodologia adotada na laboração atual, a céu aberto e no passado, (subterrânea), desenvolveu-se uma série de modelações 3D com base no levantamento topográfico disponível.

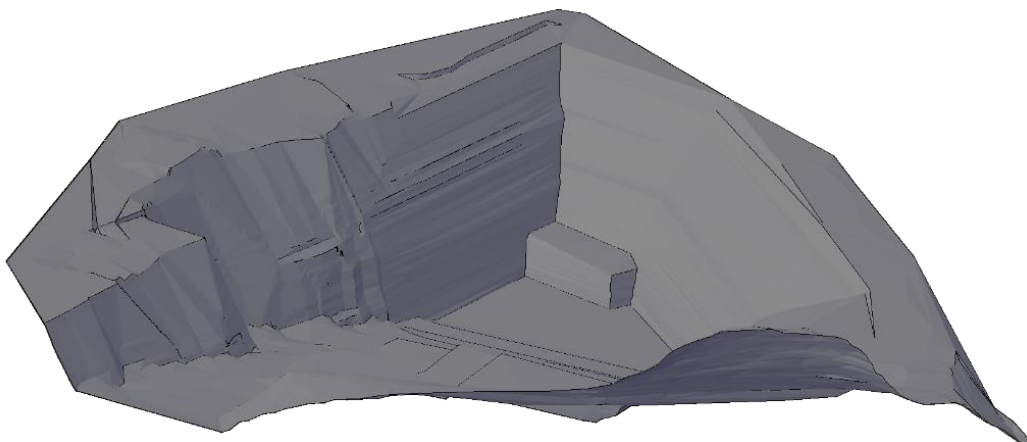


Figura 2.16 Modelagem da pedreira da Milhária - talude objeto de estudo.

Na Figura 2.16, apresenta-se um exemplo dessas modelações. Por outro lado, na Figura 2.17 representa-se a interpretação dos dados disponíveis relativamente ao poço central à escavação. Estes elementos poderão ser igualmente consultados no Anexo 2.

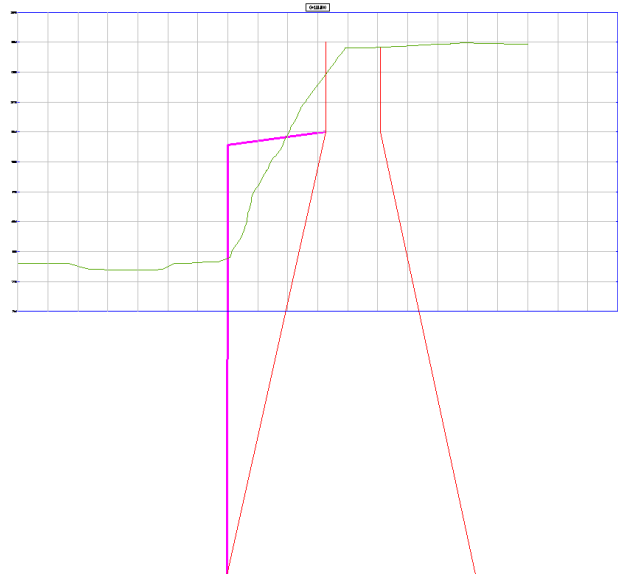


Figura 2.17 Secção transversal estimada pelo eixo do poço central da escavação.

Nos Capítulos seguintes é implementado um programa de trabalhos com vista à gestão da exploração destes taludes da pedreira com base numa ponderação entre a avaliação da estabilidade e a análise do risco dos mesmos, procurando minimizar os riscos que poderão resultar de situações como a da Figura 2.18.



Figura 2.18 Fraturação por descolamento existente e subsidência na pedra da Milhária.

(página propositadamente em branco)

Capítulo III

Estabilidade de taludes em rocha

(página propositadamente em branco)

3. Estabilidade de taludes em rocha

3.1. Introdução

3.1.1. Quedas de rochas e dimensionamento de taludes

Considerando a qualidade geral dos maciços ocorrentes nas pedreiras, as quedas de rochas são um problema constante, provavelmente o mais comum, e de maior risco nas explorações mineiras de superfície e muito em particular nas pedreiras de rocha ornamental.

Condições naturais combinadas com os métodos de exploração podem ocasionar blocos de rocha cineticamente livres. Quando o “involucro” de forças em redor de um bloco é alterado pela pressão da água dos poros, congelamento da água intersticial, raízes da vegetação existente ou outros fenómenos, o bloco resultante pode cair da parede (talude/hasteal) representando um perigo iminente para trabalhadores e equipamentos (Hoek, Analysis of Rockfall Hazards, 2007). Por esse motivo, o projeto de pedreiras geralmente prevê bancadas de segurança que são “degraus” horizontais deixados nas paredes das explorações de superfície, sempre que estas atingem dimensões “críticas”, de forma a proporcionar que as quedas de rochas que possam surgir sejam detidas ou minoradas as suas consequências salvaguardando os recursos humanos e materiais circulantes nas zonas mais baixas das explorações, nomeadamente nas bancadas de trabalho (Figura 3.1).

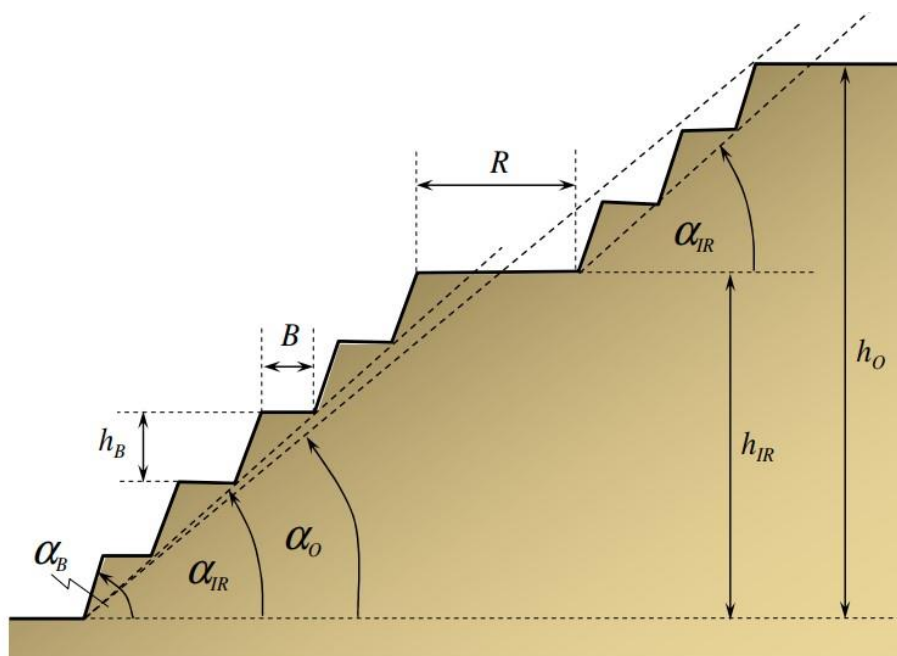


Figura 3.1. Corte lateral de uma exploração mineira de superfície, adaptado de Duncam, C. W. e Christopher, W. M. 2004.

Também designados como bancos de captura, esses “terraços” são deixados em intervalos regulares à medida que se vai aprofundando a exploração. Entretanto, têm-se estabelecido regras gerais, historicamente seguras para estes dimensionamentos. As empresas produtoras pretendem criar condições de segurança para os intervenientes do processo de exploração, mas não se podem dar ao luxo de deixar material vendável num “banco de captura” excessivamente conservador. Assim, por forma a otimizar a produção poderão ser implementadas eventuais medidas estabilizadoras alternativas, ou complementares, aos referidos terraços.

Igualmente importantes são as preocupações de segurança que as quedas de rochas ocasionam. No nosso país este problema põe-se com particular acuidade visto muitas explorações de recursos minerais se desenvolverem em altura (seja em flanco de encosta como é comum nos granitos a norte, seja em “cratera” como é comum nos calcários, a sul, ou, no caso vertente a céu aberto e em profundidade, nas ardósias de Valongo) originando, deste modo, taludes (hasteias) de alturas consideráveis, que se poderão vir a instabilizar pelos motivos já referidos, ou outros.

Infelizmente, este problema ocorre numa escala global. Por exemplo, a Associação Espanhola de Produtores de Agregados, ANEFA, relata que mais de 20% dos incidentes em pedreiras são causados por quedas de rochas, que é a maior causa de mortes (Alejano, Pons, Bastante, Alonso & Stockhausen, 2007). A causa de um único ferimento ou fatalidade é digna de estudo, mas o aumento do risco de quedas de rochas, claramente merece uma investigação. Em resultado desses considerandos, numerosos investigadores realizaram projetos de pesquisa que visam lançar luz sobre a questão como um todo, bem como as questões específicas relacionadas a quedas de rochas.

É neste enquadramento que surge esta tese tendo como objetivo a melhoria da segurança e a eficiência da exploração em curso na pedreira da Milhária.

3.1.2. Causas das quedas de rochas

Geralmente, assume-se que dois fatores são pré-requisitos para uma queda de rochas: um bloco de rocha cinematicamente livre e uma mudança nas forças aplicadas a esse bloco.

Antes que uma queda de rochas possa ocorrer, o bloco deve estar livre para se separar da restante massa rochosa. Previamente à exploração propriamente dita, descontinuidades naturais e movimentações desempenham o papel inicial na criação desses blocos (Giani, 1992; Rossmannith & Uenishi, 1997; Hoek, Rippere e Stacey, 2000). Durante as operações de exploração, as vibrações (resultantes de rebentamentos, circulação de máquinas pesadas, etc), prolongam as descontinuidades existentes e criam novas fraturas no maciço rochoso, o que pode gerar mais blocos potencialmente instáveis (Zou & Wu, 2001; Hagan & Bulow, 2000). No caso de uso de explosivos, numa explosão de produção descontrolada com uma face livre, a rocha “*in situ*” pode

ser danificada a uma distância de 1-1,5 vezes a altura da face na massa rochosa, se não mais (Hoek & Karzulovic, 2000). Além disso, o maciço rochoso pode estar sujeito a mais de uma explosão devido às múltiplas bancadas usadas numa exploração de superfície. No lado positivo, o uso de técnicas de detonação controladas reduzirá a quantidade de cunhas induzidas por explosões ou outras vibrações apreciáveis, o que melhorará a estabilidade e poderá conduzir a uma inclinação mais favorável (Harries, 1982). Embora, normalmente, esse não seja o caso das ardósias (em que se procura minimizar ou mesmo abolir o uso de explosivos) os restantes fatores são integralmente aplicáveis (vibrações resultantes de quedas de blocos, circulação de maquinaria pesada, uso de martelos demolidores, pequenos abalos de terra, intemperismos, raízes de árvores,...).

Mesmo com blocos que estão livres para se movimentar, as quedas de rochas não ocorrerão a menos que as forças que atuam sobre o bloco mudem de modo a causar instabilidade (Call & Savely, 1990; Hoek, 2007). Esses motivos de desencadeamento de quedas de blocos são aparentemente infinitos em ambientes de exploração de maciços rochosos. A causa mais comum e importante é a água, e vários estudos apontam para que a maioria das falhas pode ser atribuída à presença de água (Pantelidis, 2009). Mais especificamente, Hoek (2007) apresenta inúmeras causas. O aumento da pressão da água intersticial devido a precipitação pluviométrica, escoamento ou simples percolação do lençol freático pode forçar a queda de um bloco da parede da bancada. A vegetação que cresce nas fraturas dos taludes pode empurrar os blocos, bem como alavancá-los quando essa vegetação é agitada pelo vento. Com o tempo e contínuos ciclos de congelamento e descongelamento, lentamente vão-se alargando descontinuidades e cunhas cada vez mais abertas podendo forçar blocos soltos à queda. O desgaste físico e químico também leva ao enfraquecimento da rocha, criando instabilidade. A perda do material de suporte abaixo de um bloco também pode causar uma queda de rochas. Essa causa levou ao estudo de blocos “chave”, que são blocos que permitem o movimento de outros blocos quando removidos da parede. Identificar e proteger esses “blocos chave” é importante para a estabilidade da parede. Rossmanith e Uenishi (1997) acrescentam as mudanças cíclicas de temperatura à lista de causas, apoiados nas observações dos técnicos e operários que foram verificando inúmeras quedas de rochas nas primeiras horas da manhã. Os ciclos de alongamento e contração devido à mudança diária de temperatura resultam em deslizamento por fricção e movimento de rochas.

Com todas essas possíveis origens de ativação de queda de rochas, os projetistas de qualquer exploração mineira têm que estar muito atentos, procurando impedir que as rochas caiam, ou, caindo, impedir que as rochas caiam de tal modo que coloquem em risco pessoal e equipamentos, ou seja, promovendo uma queda controlada (vulgarmente denominada “saneamento da frente”).

3.2. Dimensionamento de taludes

3.2.1. Avaliações preliminares

O primeiro passo do dimensionamento de um novo talude (bancada), ou de melhoria de um existente, consiste em classificar ou reclassificar a sua inclinação com base na instabilidade avaliada. Vários sistemas de classificação foram sendo desenvolvidos para a avaliação da inclinação de bancadas e taludes ou aplicados a eles.

Algumas das primeiras classificações foram desenvolvidas por Terzaghi (1946) e Deere et al. (1967). Terzaghi desenvolveu um dos primeiros sistemas de classificação de rochas, a “Rock Load Theory”, que ainda é usada principalmente para trabalhos de túneis (Bhawani & Goel, 1999). Deere et al (1967) propuseram o índice Rock Quality Designation (RQD) como um meio de avaliar a qualidade da massa rochosa a partir de amostras nucleares como parte de um modelo de projeto de quatro etapas para estruturas em rocha (Hoek, 2007). Assim, o RQD tornou-se um parâmetro de medição muito básico e foi incluído em muitos sistemas de classificação desde a sua criação.

Em 1972, o Rock Structure Rating (RSR) desenvolvido por *Wickham et al*, foi pioneiro no uso de classificações quantitativas individuais com base em três parâmetros: geologia, geometria das descontinuidades e condição de água subterrânea/descontinuidades (Hoek, 2007). Esses três parâmetros são pontuados individualmente e depois somados para obter o RSR geral. Essa técnica, na altura inovadora de combinar classificações para diferentes parâmetros foi posteriormente adotada para a maioria dos métodos de classificação desenvolvidos após 1972.

Dois anos depois, em 1974, Barton, Lien e Lunde, do Instituto Geotécnico Norueguês (NGI) propuseram o Rock Mass Quality System (Q) dando origem ao RQD, quatro parâmetros conjuntos e um Fator de Redução de Stress numa única classificação após analisarem mais de 200 casos de histórias de túneis e cavernas (Bhawani & Goel, 1999). O Fator de Redução do Stresse também é retirado de uma tabela baseada na condição das rochas e pode ser considerado uma medida do Stresse total (Bhawani & Goel, 1999). Bieniawski estendeu o trabalho de Terzaghi e Wickham em 1976 com a publicação do sistema Rock Mass Rating (RMR) original, que usa 5 parâmetros e é bem adequado para túneis (Bhawani & Goel, 1999; Hoek, 2007).

Tal como para o sistema “Q”, o RMR usa tabelas para a seleção dos valores de cada parâmetro. Este sistema também foi revisto ao longo dos anos por Bieniawski e outros, consoante mais estudos de caso foram sendo realizados (Hoek, 2007). Embora esses esquemas de classificação possam ser aplicados a encostas rochosas, a maioria foi projetada para uso subterrâneo. Os técnicos que os usem devem ter em mente que a extrapolação do uso de um sistema de classificação pode levar a problemas (Palmstrom & Broch, 2006; Pantelidis, 2009).

Felizmente, tem sido dada uma atenção mais específica à classificação dos maciços rochosos superficiais, nos últimos trinta anos, e os técnicos de dimensionamento de taludes / bancadas têm, hoje em dia, uma série de ferramentas disponíveis e que podem selecionar consoante o caso aplicável. Em 1979, Bieniawski adicionou um parâmetro de orientação de descontinuidade ao RMR para tornar o sistema mais adequado para as encostas rochosas (Pantelidis, 2009). Semelhante ao RMR, Romana desenvolveu o Slope Mass Rating (SMR) em 1985 para avaliação de encostas rochosas (Bhawani & Goel, 1999). O SMR inclui três parâmetros responsáveis pelas descontinuidades e interação conjunto / inclinação, bem como um quarto parâmetro, um ajuste para o método de escavação (Bhawani & Goel, 1999). Outro exemplo é o Rock Mass Number, que é uma tentativa de melhorar o RMR. O sistema Rock Mass Number simplesmente remove o fator de redução de tensão, mas é o mesmo que RMR em todos os outros aspetos. Remover o parâmetro de Stresse elimina o erro associado à seleção desse fator para melhorar a classificação geral. Palmstrom procurou aproveitar o melhor de 15 sistemas de classificação em 1995 para desenvolver o índice de massa rochosa (RMi) (Bhawani & Goel, 1999). O RMi abrange uma variedade de condições e usa os seguintes parâmetros (Palmstrom, 2010):

- Força compressiva uniaxial;
- Rugosidade das descontinuidades;
- Alteração das descontinuidades;
- Dimensão das descontinuidades;
- Espaçamento entre descontinuidades.

O Índice de Resistência Geológica (GSI - *Geologic Strength Index*) é um sistema de classificação mais intuitivo e que se distancia da natureza quantitativa dos métodos de classificação anteriormente referidos. Desenvolvido por Hoek em 1994 e reformulado para a sua forma atual por Hoek e Marinos, o GSI usa uma estimativa de estrutura e condições de superfície para obter uma classificação (Marinos, Marinos, & Hoek, 2005). Este sistema é mais qualitativo e destina-se a fornecer uma estimativa das propriedades da rocha sem fornecer quaisquer recomendações para suporte ou reforço. Porém, este método requer um técnico experiente de forma a assegurar classificações eficientes e fidedignas (Bhawani & Goel, 1999).

Muitos métodos de classificação de taludes de rocha provêm de projetos de dimensionamento de declives em taludes de autoestradas e outras vias. Contudo, o projeto da inclinação de um talude rodoviário e o projeto da inclinação de um talude de uma pedreira são, essencialmente, equivalentes, e a metodologia de classificação pode ser usada de forma intermutável para estes dois tipos de trabalhos. Um exemplo interessante é o sistema desenvolvido pelo Departamento de Transportes do Oregon - EUA (ODOT) que desenvolveu o Rockfall Hazard Rating System (RFHS) com

o objetivo de avaliar o potencial de queda de rochas em encostas e ajudar a determinar a alocação de recursos financeiros (Santi et al., 2008). O RFHS tem seis partes que são as seguintes:

- Um único banco de dados para inventário de declives;
- Classificação preliminar em três categorias A, B ou C; sendo A o maior potencial de queda;
- Classificação detalhada dos taludes mais perigosos;
- Projeto preliminar para remediação dos maiores riscos dos taludes;
- Desenvolvimento de projetos de sustimento;
- Revisão Anual.

Tabela 3.1 Parâmetros RFHS Modificados.

Categoria	Parâmetro
Talude	Altura
	Frequência de Quedas de Rochas
	Inclinação Média do Talude
	Canais de Escorrência
	Valas de Captação
Clima	Precipitação Anual
	Número Anual de Ciclos de Congelamento
	Água / Infiltrações
	Aspeto do Talude
Geologia	R. Sedimentar: Grau de escavação inferior
	R. Sedimentar: Absorção de água
	R. Sedimentar: Número de camadas
	R. Cristalina: Grau de protuberância
	R. Cristalina: Grau de erosão
	Block-in-Matrix Rock: Multiplicador
	Block-in-Matrix Rock: Tamanho do Bloco
Block-in-Matrix Rock: Forma do Bloco	
Descontinuidades (só para rochas)	Dimensão do Bloco/Volume
	Número de Famílias
	Persistência e Orientação
	Abertura
	Condições Meteorológicas
	Atrito
Risco (Tráfico)	Distância ao Centro de Decisão
	Risco Médio por Veículo
	Número de Acidentes

O processo assim definido veio ajudar os técnicos envolvidos no uso mais eficiente dos recursos disponíveis bem como melhorar a segurança geral das rodovias em apreço. A classificação detalhada (etapa 4 – projeto preliminar) é um sistema quantitativo e qualitativo que utiliza 12

parâmetros em que uma pontuação mais alta indica uma inclinação maior e, portanto, mais perigosa (Kliche, 1999). Os 12 parâmetros usados são a altura do talude, a eficiência da vala, o risco médio para um veículo circulante, distância do centro de tomada de decisão (%), largura da faixa, tamanho do bloco/quantidade por evento, clima / presença de água, histórico de quedas de rochas e quatro parâmetros baseados nas condições das descontinuidades presentes e erosão (Kliche, 1999).

Outro exemplo, é a adaptação da versão do RFHS pela Universidade do Colorado: é o RFHS modificado. *Santi et al.* (2008) classificou os taludes de 355 vias no referido estado usando cinco categorias principais: condições de inclinação do talude, condições climáticas, condições geológicas, condições de descontinuidade do maciço e risco. (ver Tabela 3.1) (Santi et al., 2008).

3.2.2. Dimensionamento

Logo que que a(s) inclinação(ões) de uma exploração mineira tenham sido definidas usando um esquema de classificação adequado, o projeto desenvolver-se-á com vista a definir a inclinação que permita um equilíbrio entre segurança, risco e economia. Muitos métodos de estabilização de taludes estão atualmente em uso nas explorações mineiras em todo o mundo. Esses métodos variam desde a configuração correta da inclinação até aos métodos complementares de estabilização (ancoragens, pregagens, ...) e/ou betão projetado. Hoek (2007) afirma que, para proteger as estradas das quedas de rochas, o método mais eficaz é uma vala de captação no sopé do talude. O equivalente para a indústria mineira seria uma bancada de captura com uma berma. Como tal, o projeto de valas de captação na indústria rodoviária e os berços de captura na indústria mineira (sendo que, nas minas e pedreiras, estamos a falar de uma realidade dinâmica, consoante os avanços das frentes) têm sido extensivamente estudados pelos investigadores ao longo do tempo.

A análise de estabilidade dos taludes resultantes das escavações realizadas durante as operações de lavra de um empreendimento mineiro toma por referência um modelo geotécnico baseado nas propriedades geológicas, geomecânicas e hidrogeológicas da região em que obra em estudo está inserida.

Para Read e Stacey (2009) um projeto de escavação de taludes ideal de uma exploração a céu aberto deve seguir o fluxograma conforme a Figura 3.1.

A necessidade de obter uma grandeza ou um índice onde fosse possível determinar a estabilidade de um talude fez surgir vários métodos de análise de estabilidade.

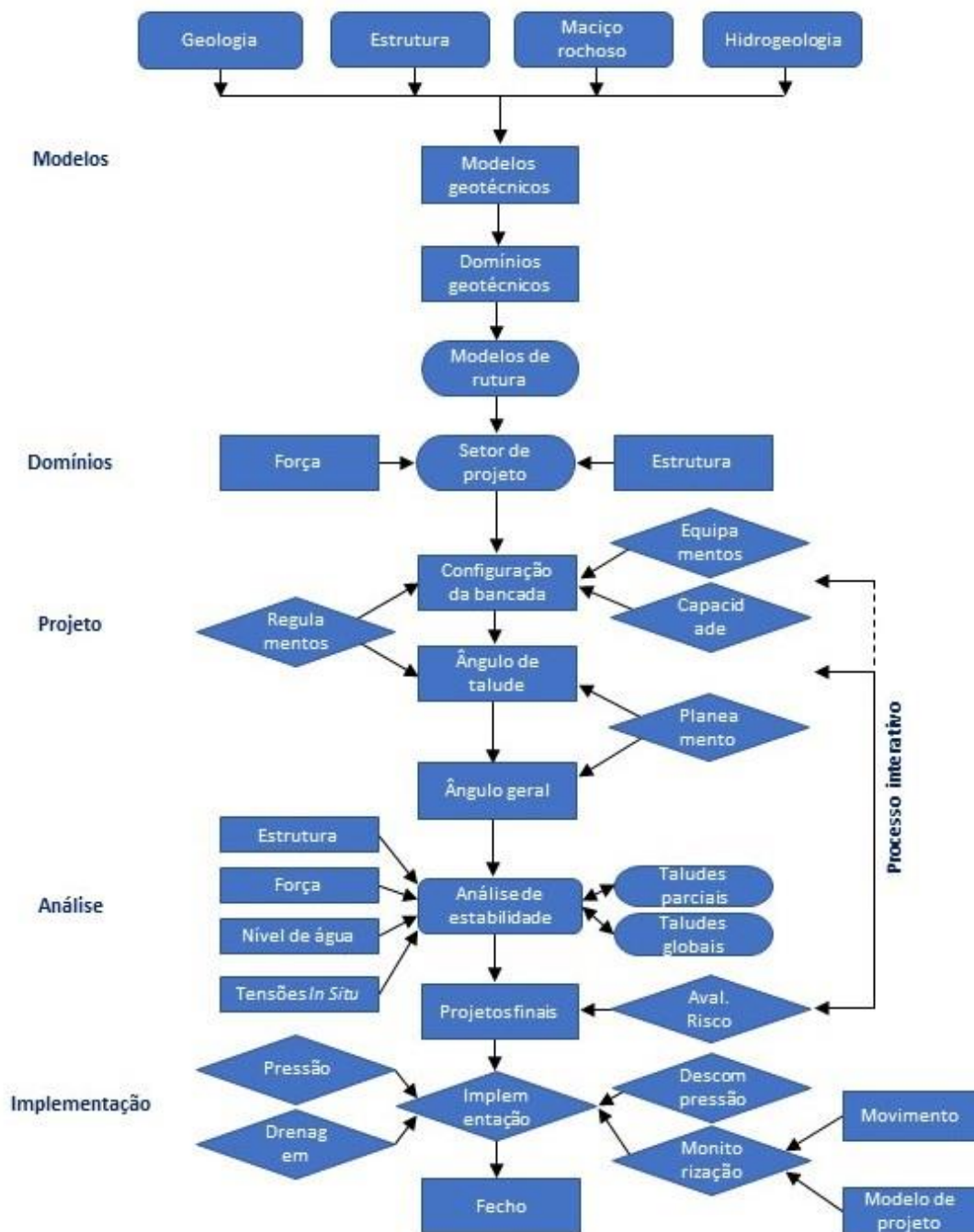


Figura 3.1 Processo de um projeto de taludes de mina a céu aberto (adaptado de Read e Stacey, 2009).

De acordo com Augusto Filho e Virgili (1998), os métodos de análise de estabilidade são divididos da seguinte forma:

- Métodos analíticos: são baseados na teoria do equilíbrio-limite, que expressam a estabilidade de um talude por um Fator de Segurança (FS) ou Probabilidade de Falha (rutura - PF, *Probability of Failure*) e nos modelos numéricos de tensão-deformação

fundamentados nas relações existentes entre as tensões atuantes e as deformações sofridas pelos materiais que compõem o talude;

- Métodos experimentais: empregam modelos físicos em diferentes escalas;
- Métodos observacionais: baseiam-se na experiência de análises de ruturas anteriores através de retroanálises, ábacos de projetos, etc.

As análises de estabilidade de taludes são feitas usualmente por métodos de equilíbrio limite, que são os métodos ditos convencionais. O equilíbrio limite é a condição em que as forças ou momentos que tendem a resistir no deslizamento são exatamente contrapostas por aquelas que tendem a produzir o deslizamento. Neste caso, o FS, que é a razão entre estas forças ou momentos, será igual a 1 em situação de equilíbrio limite, e caso este resultado for maior que 1, pode-se dizer que o talude está estável.

3.3. Abordagem determinística e probabilística na análise de estabilidade de taludes

A análise de estabilidade de um talude pela abordagem determinística pode ser descrita como uma análise quantitativa expressa sob a forma de um coeficiente ou Fator de Segurança (FS), que poderá ser estabelecido com base em:

- Equilíbrio de Forças:

$$FS = \frac{\sum F_{resistentes}}{\sum F_{instabilizantes}} \quad (3.1)$$

- Equilíbrio de momentos:

$$FS = \frac{\sum M_{resistentes}}{\sum M_{instabilizantes}} \quad (3.2)$$

- Resistência ao corte:

$$FS = \frac{\tau_{disponível}}{\tau_{mobilizado}} \quad (3.3)$$

com: τ = resistência ao corte

Para o cálculo dos esforços, é necessária a utilização dos parâmetros de resistência de um dado solo ou rocha. Uma forma de obtenção destes valores é a partir de ensaios realizados em campo e/ou laboratório e utiliza-se uma média dos resultados obtidos, considerando estes valores como constantes, sem considerar a variabilidade espacial das características do material.

Na abordagem determinística para análise de estabilidade utiliza-se uma estimativa para cada parâmetro de entrada. Esta abordagem teve, no passado, ampla aceitação, porém sabe-se que, na natureza, as propriedades dos materiais tendem a ser muito variáveis, contradizendo a teoria de que o erro estimado tende a ser igual a zero. Logo, não são raros os casos de taludes, considerados seguros, em que se verificam rupturas abruptas. Levando-se em consideração a variabilidade de alguns parâmetros, pode-se realizar uma análise de sensibilidade, também designada análise paramétrica, variando alguns parâmetros dentro da sua faixa de valores, e observa-se qual a sua influência no resultado do Fator de Segurança (FS). Porém, este tipo de análise não considera a frequência de ocorrência dos dados levantados.

Neste sentido, tem-se a abordagem probabilística, que também é executada normalmente com o uso dos métodos de equilíbrio limite, não diferindo neste caso das análises determinísticas, porém considera a variação dos parâmetros de projeto com a vantagem de serem capazes de quantificar as diversas origens de incerteza. A modelagem probabilística reconhece as incertezas nos parâmetros de entrada e nos modelos de previsão. Os parâmetros de entrada são tratados como variáveis aleatórias. Logo, o estudo estatístico torna-se fundamental para a análise destes dados.

De acordo com Ang & Tang (1975), sabe-se, há bastante tempo, que as propriedades geotécnicas dos materiais do solo e da rocha são variáveis, pois os depósitos naturais são formados por camadas irregulares de vários tipos de materiais, de diferentes combinações mineralógicas, e com presença de descontinuidades (no caso de maciços rochosos), resultantes dos processos de deformação (orogênese,...) e do meteorização química e física que os mesmos sofrem.

Consequentemente, apresentam diferentes propriedades de resistência, deformabilidade e permeabilidade em cada depósito ou maciço.

Em função desta variabilidade, os valores adotados para os carregamentos e os parâmetros geotécnicos podem sofrer variações. Uma forma de lidar com o risco da obra geotécnica seria através destes métodos estatísticos e probabilísticos, que, ao contrário da abordagem determinística, conseguem incorporar a variabilidade dos parâmetros e carregamentos no projeto, através de distribuições estatísticas, levando em consideração a frequência de ocorrência dos dados, possibilitando calcular o risco de falha ou a confiabilidade das estruturas. Pode-se dizer que a análise probabilística é um complemento da análise determinística, onde é possível obter uma distribuição probabilística dos valores, fornecendo, por exemplo, a probabilidade de ruptura de taludes com Fator de Segurança menores ou maiores que "1".

A Tabela 3.2 apresenta as principais diferenças entre a abordagem determinística e a abordagem probabilística de análises de estabilidade.

Tabela 3.2 Diferenças entre abordagem determinística e abordagem probabilística.

Abordagem Determinística	Abordagem Probabilística
Parâmetros de projeto são assumidos como constantes	Parâmetros de projeto são variáveis
Resultado calculado é único	Resultado calculado é uma distribuição de probabilidade

3.4. Tipos de rutura em taludes

As ruturas de taludes em rocha ocorrem normalmente a partir das descontinuidades existentes no maciço rochoso, com exceção de taludes muito alterados pelo meteorismo ou maciços muito fraturados, que ocorrem ruturas do tipo circular, que não são condicionadas por uma ou outra descontinuidade. As ruturas mais comuns podem ser visualizadas na Figura 3.2.

3.4.1. Rutura do tipo planar

O escorregamento planar envolve deslocamentos de massa ao longo da direção de planos de deslizamento que ocorrem praticamente paralelos à direção da face do talude (com uma diferença máxima de 20º) em superfícies favoráveis tais como planos da foliação, falhas, dentre outros (Figura 3.2b).

Para que este deslizamento ocorra, as estruturas devem ser aflorantes e inclinadas na direção da face livre do talude a um ângulo superior ao ângulo de atrito interno e a um ângulo menor que o da inclinação da superfície livre do talude. Além disso, devem existir outros planos de descontinuidades perpendiculares à face do talude com resistência desprezível, formando junto com a descontinuidade principal, um bloco distinto, permitindo assim seu livre escorregamento.

Hoek & Bray (1981) assumem que, para a análise deste método, as forças geradas pelo peso do bloco deslizante, pela distribuição de pressão hidráulica na fenda de tração e pela sub-pressão de água na superfície de escorregamento atuam diretamente no centróide do bloco de rocha deslizante, não mobilizando momentos. Embora isto acarrete erros quando da análise de taludes reais, estes podem ser ignorados em termos práticos.

3.4.2. Rutura plano-circular

As ruturas do tipo plano-circular são mais comuns nas minas de minério de ferro (p.e. no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais, Brasil). As mesmas seguem o mesmo mecanismo da rutura planar, porém só o início da mesma é mobilizada pela foliação da rocha. A saída da rutura ocorre

na face ou no pé do talude cortando obliquamente a estruturação geral do maciço imposta pela xistosidade.

No início da superfície da ruptura, na parte plana, ocorre a mobilização da resistência dos litotipos ao longo da foliação, e no trecho circular, a mobilização da resistência ocorre na face oblíqua à xistosidade.

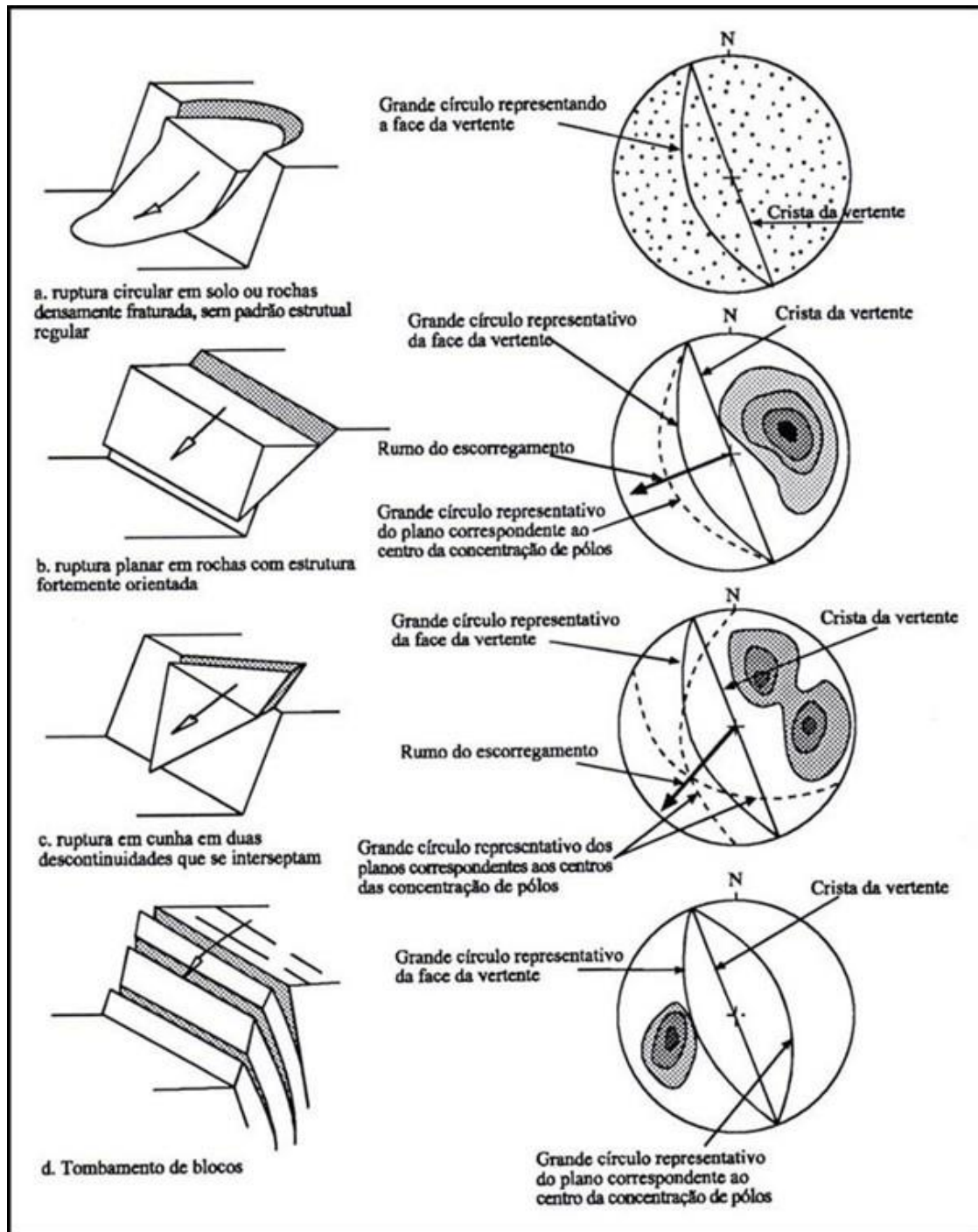


Figura 3.2 Principais tipos de rutura com os respetivos estereogramas representativos (adaptado de Hoek & Bray, 1981)

3.4.3. Rutura circular

A rutura circular ocorre quando o maciço rochoso é muito fraturado e não apresenta um padrão estrutural regular (Figura 3.2a). Neste caso, a rutura é definida por várias superfícies de diversas discontinuidades, que tende a ter uma forma circular. Da mesma forma, quando o maciço é homogêneo e isotrópico, a superfície de rutura aproxima-se deste modo de rutura, que pode ocorrer também em rochas brandas, quando a anisotropia gerada pelas discontinuidades não mais influencia na superfície de rutura, devido ao elevado estado de intemperismo.

3.4.4. Rutura em cunha

A rutura por cunha é caracterizada pela intersecção de duas discontinuidades, conforme Figura 3.2c. São superfícies de ruturas biplanares, sendo a inclinação das superfícies de deslizamento definida pela geometria da cunha.

3.4.5. Tombamento

O tombamento de blocos é um tipo de rutura que ocorre quando as direções da descontinuidade e da face do talude são paralelas (+/- 20 graus) e o mergulho da descontinuidade é contrário ao mergulho da face do talude. (Figura 3.2d).

3.5. Caraterização e classificação geomecânica de maciços rochosos

3.5.1. Caraterização dos maciços rochosos

Pela própria natureza dos trabalhos de realização e/ou exploração de extração de matérias primas a partir de maciços rochosos, o estudo do comportamento de hasteais e taludes nesses maciços rochosos é um assunto amplamente abordado, e estudado com todo o interesse, no âmbito da Engenharia Geotécnica e, muito particularmente, na exploração de pedreiras. Conforme descrito anteriormente este estudo suporta-se numa primeira fase na caraterização do maciço rochoso e nos sistemas de classificação do mesmo alimentados pela parametrização das suas descontinuidades.

3.5.2. Caraterização das descontinuidades num maciço rochoso

3.5.2.1. Génese, propriedades e famílias das descontinuidades

O estudo detalhado das descontinuidades revela-se determinante uma vez que, ao seccionarem o maciço rochoso, estas são responsáveis pela alteração de um conjunto de propriedades

geomecânicas caracterizam esse mesmo maciço. Por consequência, existência de descontinuidades nos maciços rochosos conduz a um aumento da permeabilidade, deformabilidade, e diminuição da resistência ao corte desse maciço.

É usual a aplicação do termo descontinuidade para descrever a maior parte das superfícies estruturais (tais como estratificação, xistosidade, falhas, diaclases, ...) de um qualquer maciço.

As descontinuidades podem ser definidas como um qualquer plano de separação no maciço rochoso. Podem ainda ocorrer de forma sistemática (em famílias) ou de forma singular (isoladas) e apresentar diversas origens:

- diagenética (estruturas filonianas);
- sedimentar (superfícies de estratificação ou de laminação);
- tectónico-metamórfica (xistosidades, diaclases e falhas).

Neste sentido, as descontinuidades sistemáticas são estudadas com base em “famílias”, caracterizadas, por norma, a partir da atitude média e características físicas e mecânicas gerais da família a que fica agregada.

Por outro lado, as descontinuidades singulares podem ser alvo de estudo e tratamento individualizado como pode ser observado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 Classificação das descontinuidades (adaptado de ISRM, 1981)

Descontinuidades	Sistemáticas	Singulares
Planares	Planos de estratificação	Falhas
	Planos de laminação	Filões
	Planos de xistosidade	Discordâncias
	Diaclases e fissuras	
Lineares	Interseção de descontinuidades planares	Eixos de dobras
	Lineações	

O surgimento das descontinuidades está intrinsecamente relacionado quer com as características do material rochoso quer com as tensões tectónicas instaladas. Dos géneros de descontinuidades, destacam-se as falhas e as diaclases, por serem as que surgem com maior frequência. Verifica-se a formação de diaclases sempre que existe uma variação da tensão superior à resistência intrínseca ao maciço rochoso, sujeitando-o assim a fraturações. Deste modo, o surgimento de diaclases pode verificar-se quando a tensão instalada é superior à tensão resistente intrínseca do maciço rochoso, bem como quando existe um alívio das tensões instaladas no mesmo maciço. Por exemplo, a erosão, ao remover as camadas geológicas superficiais alivia as tensões confinantes das rochas subjacentes, podendo levar, muitas vezes, ao desenvolvimento de diaclases. Comumente,

designam-se por diaclases de corte (shear joint) as que são devidas a tensões de corte e por diaclases de tração (tension joint) as que são originadas por tensões de tração. A um conjunto de diaclases sensivelmente paralelas numa dada região dá-se a designação de “família de diaclases” (joint set), enquanto o conjunto de duas ou mais famílias de diaclases numa mesma região se designa por “sistema de diaclases” (joint system - ver Figura 3.3). A duas famílias de diaclases com orientações aproximadamente normais entre si dá-se a designação de “famílias ortogonais”. No que às diaclases diz respeito, é relativamente frequente a ocorrência de três famílias principais com atitudes sensivelmente normais entre si, como ocorre geralmente em maciços de rochas ígneas, ou mesmo nos maciços sedimentares e metamórficos em que uma das famílias corresponde, respetivamente, as superfícies de estratificação e/ou de xistosidade (Gonzalez de Vallejo et al., 2002).

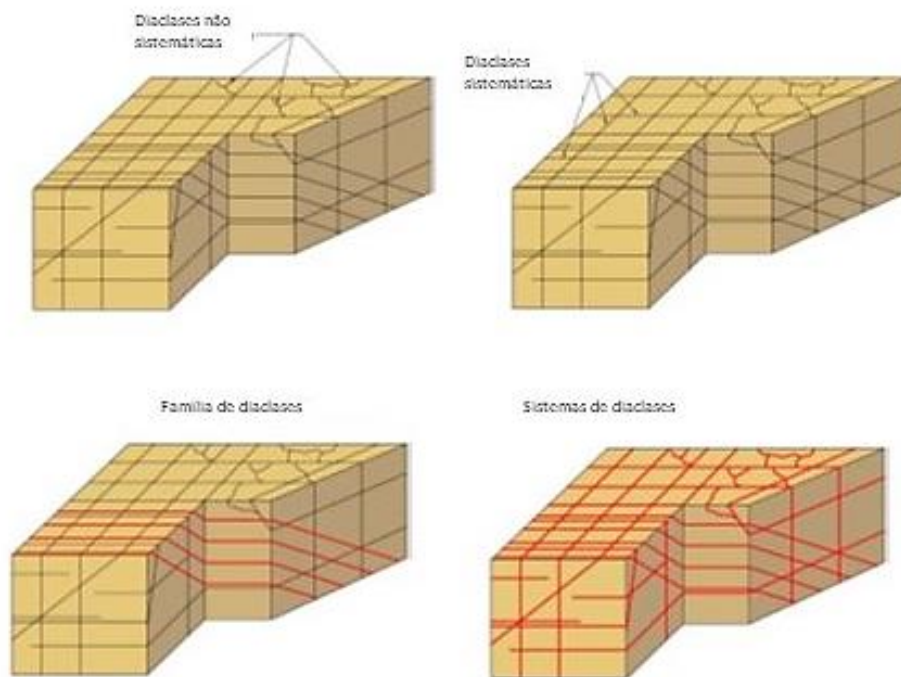


Figura 3.3 Conceito de família e sistema de diaclases (adaptado de Loczy & Ladeira, 1980).

Por outro lado, as falhas são, por norma, resultado de um acidente tectónico ocorrido no maciço rochoso, ao longo do qual houve um deslocamento relativo entre os blocos, o que vulgarmente é designado por superfície ou plano de falha. A formação deste tipo de descontinuidade relaciona-se, quase sempre, com a existência de elevadas pressões e temperaturas a que os materiais estão sujeitos e que conduzem a que o respetivo limite de resistência seja ultrapassado, culminando na rutura do maciço rochoso com o conseqüente surgimento da falha. Normalmente, as falhas, evidenciam uma grande continuidade nos maciços rochosos e deslocamento relativo entre os

blocos, o que pode ser verificado com alguma facilidade dada a existência de estrias ao longo dos planos de falha. Caso os blocos se apresentem afastados, resulta uma caixa de falha cujo preenchimento e, muitas vezes, constituído por material resultante do esmagamento e trituração da própria rocha durante o movimento, o que é designado por “milonito”.

Podemos, deste modo, diferenciar as tipologias de falha tendo por base os planos de falha e os movimentos relativos entre os blocos (Figura 3.4):

- falha normal: resultante de forças de tração;
- falha inversa: resultante de forças de compressão;
- falha de deslizamento: deslocamento dos blocos na horizontal.



Figura 3.4 Tipologias de falha existentes.

- Características físicas das descontinuidades:
 - Abertura;
 - Resistência das paredes;
 - Rugosidade;
 - Preenchimento;
 - Grau de alteração.

A análise das características geométricas das descontinuidades permite, usualmente, definir a sua geometria de compartimentação e identificar o bloco unitário característico do maciço rochoso. Esta análise conjunta das características físicas e da continuidade permite avaliar algumas das características mecânicas dos maciços rochosos, tais como a deformabilidade, resistência ao corte, e respetiva percolação.

Na Figura 3.5 representa-se, de uma forma esquemática, os parâmetros anteriormente referidos.

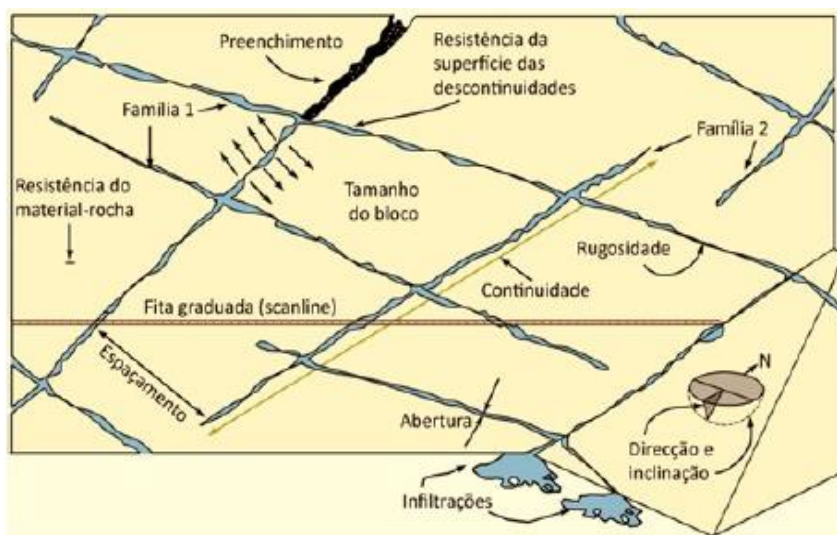


Figura 3.5 Representação esquemática das propriedades geológico/geotécnicas das descontinuidades (adaptado de Gonzalez de Vallejo et al., 2002).

3.5.2.2. Atitude das descontinuidades

Geralmente, o estudo das descontinuidades de um qualquer maciço rochoso inicia-se pela análise da orientação e pela identificação das famílias de descontinuidades, ou descontinuidades singulares, que podem determinar blocos de rocha potencialmente instáveis.

Deste modo, a atitude, segundo a terminologia corrente, é definida em função da direcção e da inclinação. A direcção é-nos dada pelo ângulo entre a horizontal do plano de descontinuidade e o Norte, devendo ser medida no sentido horário. Por sua vez, a inclinação surge definida pelo ângulo entre a linha de maior declive do plano de descontinuidade e a horizontal (Figura 3.6).

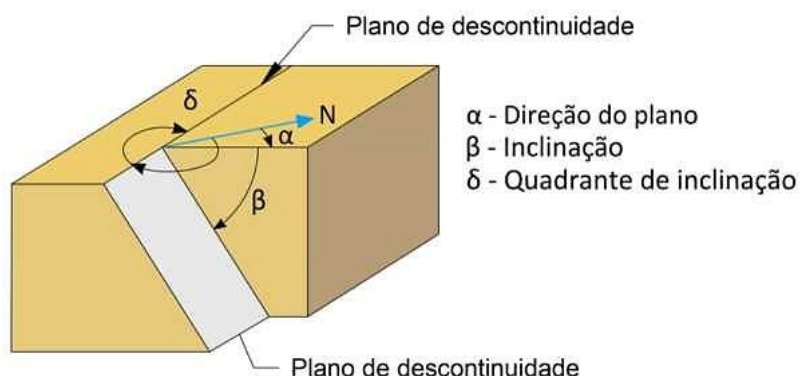


Figura 3.6 Atitude de uma descontinuidade (adaptado Gonzalez de Vallejo et al., 2002).

Existem várias formas que permitem a determinação dos parâmetros antes mencionados, como, por exemplo, a obtida a partir de amostras ou de furos de sondagem. Muitas vezes e na impossibilidade de recorrer a estas soluções, é frequente o recurso a um método mais expedito

que tem por base a medição destes parâmetros diretamente na face dos taludes, hasteais, ..., recorrendo, para o efeito, a uma bússola de geólogo, com inclinómetro.

3.5.2.3. Persistência das descontinuidades

A persistência do espaçamento e suas características são fatores que comportam fortes implicações ao nível da estabilidade dos maciços rochosos. Geralmente é definido como a distância, na perpendicular, entre duas descontinuidades da mesma família, tipo e escala.

Reflete o estado de fracturação de um maciço rochoso, condicionando o tamanho dos blocos unitários e influenciando o comportamento global do maciço. Deste modo, com a diminuição do espaçamento verifica-se considerável diminuição da resistência geral do maciço e aumento da sua condutividade hidráulica bem como da deformabilidade do mesmo, o que geralmente se traduz em instabilidade e menor interesse económico.

Tabela 3.4 Classificação da continuidade das descontinuidades (adaptado de ISRM, 1981).

Continuidade	Distância (m)
Muito pouco contínuas	< 1
Pouco contínuas	1 – 3
Medianamente contínuas	3 – 10
Contínuas	10 – 20
Muito contínuas	> 20

3.5.2.4. Espaçamento das descontinuidades

A medição do espaçamento entre descontinuidades de uma mesma família deve, por norma, ser feita de acordo com as recomendações estabelecidas pelo ISRM (1981). Assim, para a avaliação do espaçamento, existe uma classificação aplicável, prevista no ISRM (1981), que contempla a existência de 5 diferentes classes (Tabela 3.5).

Neste ponto, torna-se importante efetuar uma ressalva para o facto de, dada a variabilidade de espaçamentos que se observam, dever ser tomado para efeitos de classificação o valor médio dos valores medidos ou o valor que se afigure mais provável, admitindo uma distribuição normal. O comprimento da descontinuidade é designado por continuidade ou persistência. Este parâmetro é obtido através da medição do seu traço no plano de observação. A continuidade caracteriza a extensão em área de uma descontinuidade num certo volume de rocha.

Tabela 3.5. Classificação do grau de fracturação de um maciço rochoso (adaptado de ISRM, 1981).

Afastamento entre descontinuidades (cm)	Simbologia		Significado	
> 200	F1	F1 - F2	Muito afastadas	
60 – 200	F2		Afastadas	
20 – 60	F3	F3	Medianamente afastadas	
6 – 20	F4	F4 - F5	Próximas	Próximas
<6	F5		Muito próximas	

Muito embora se apresente como um parâmetro de difícil quantificação, revela-se de uma extrema utilidade, na medida em que possibilita definir as características mecânicas de potenciais superfícies de rutura de um maciço rochoso. Segundo Vallejo et al. (2002), é da maior importância destacar as famílias que manifestam maior continuidade, uma vez que serão estas as que virão a condicionar os principais planos de rutura de um maciço rochoso.

Tal como para outros parâmetros, o ISRM (1981) prevê uma classificação aplicável à persistência das descontinuidades, que contempla a existência de 5 diferentes classes (Tabela 3.4).

Importa efetuar uma ressalva para o facto de, dada a variabilidade de espaçamentos, dever ser tomado para efeitos de classificação o valor medio dos valores medidos ou o valor mais provável, admitindo uma distribuição normal.

3.5.2.5. Rugosidade das descontinuidades

O parâmetro rugosidade surge pela necessidade de caracterizar a irregularidade das paredes das descontinuidades. Constitui uma forma de atrito mobilizável por unidade de área que é traduzido, na prática, por um aumento da resistência ao corte ao longo de toda a superfície da descontinuidade. Assim, a par da abertura das descontinuidades, a rugosidade apresenta fortes implicações no que se refere à resistência ao deslizamento, isto é, quanto maior for a rugosidade que caracteriza as paredes das descontinuidades maior será a sua resistência ao corte. Ressalva-se aqui a necessidade de, num estudo de estabilidade de um maciço rochoso, ser conhecida previamente a direção provável do movimento devido ao carácter variável da rugosidade em função da direção em análise.

O ISRM (1981), também estabelece uma classificação para este parâmetro. Esta classificação, prevê a existência de três tipos de superfície de descontinuidade (denteada, ondulada ou plana) subdivididas em três subclasses (rugosa, lisa e estriada). A visualização da Figura 3.7 poderá contribuir para uma melhor compreensão da matéria em apreço.

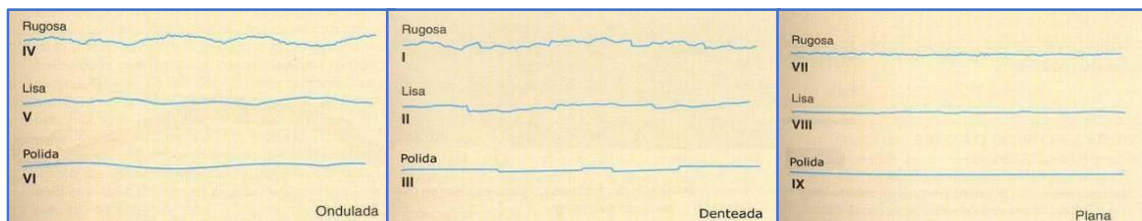


Figura 3.7 Classificação para a rugosidade das descontinuidades (adaptado de ISRM, 1981).

3.5.2.6. Resistência das paredes das descontinuidades

Um parâmetro que deve ser motivo de uma análise cuidadosa é a resistência das paredes das descontinuidades.

A resistência à compressão do material/rocha, constituinte das paredes das descontinuidades, revela-se um fator de primordial importância na medida em que se apresenta como uma componente que deve ser tomada em consideração na resistência ao corte e deformabilidade. Este parâmetro mostra-se particularmente importante em situações em que as paredes das descontinuidades estejam em contacto direto.

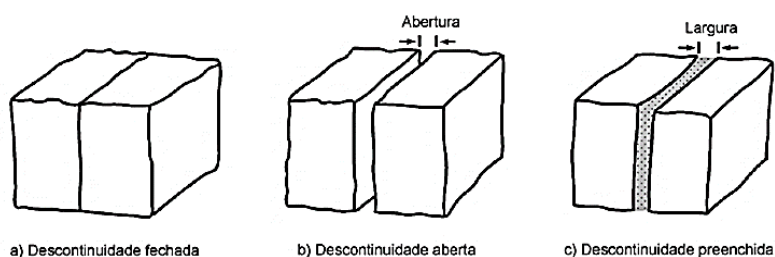


Figura 3.8 Tipologias das aberturas das descontinuidades (adaptado de ISRM, 1981).

A determinação deste parâmetro pode ser feita em campo, com recurso a um simples esclerómetro portátil, como, por exemplo, um martelo de Schmidt do tipo L.

Relativamente à abertura das descontinuidades, representada na Figura 3.8., esta pode ser definida como a distância média, medida na perpendicular, entre bordos da descontinuidade. Este é um parâmetro particularmente importante pois pode condicionar vários fatores, nomeadamente, a permeabilidade, a deformabilidade e a resistência ao corte do maciço rochoso.

Segundo o ISRM (1978, 1981) prevê, cada família existente num maciço rochoso deve ser estudada de uma forma individualizada, podendo ser, posteriormente, atribuída uma classificação com base na análise da média das aberturas observadas, após tratamento estatístico. Foi assim estabelecida a classificação constante da Tabela 3.6.

Tabela 3.6 Classificação para a abertura das discontinuidades (ISRM, 1981).

Abertura (mm)	Descrição	
< 0,1	Muito apertada	Fechada
0,1 – 0,25	Apertada	
0,25 – 0,5	Parcialmente aberta	
0,5 – 2,5	Aberta	Aberta
2,5 – 10	Razoavelmente larga	
> 10	Larga	
10 – 100	Muito larga	Muito aberta
100 – 1000	Extremamente larga	
> 1000	Cavernosa	

3.5.2.7. Preenchimento das discontinuidades

É comum designar-se por preenchimento o material que ocupa o espaço existente entre os dois bordos de uma dada discontinuidade. Este espaço, que, como vimos antes, também pode ser denominado de abertura, pode apresentar diferentes tipos de preenchimento que obviamente conduzem a comportamentos distintos da discontinuidade. Assim, o preenchimento pode ser composto por um espectro de materiais, desde os brandos aos mais resistentes, pelo que se considera de importância capital o conhecimento das propriedades físicas e mecânicas do material de preenchimento (a resistência ao corte, a deformabilidade e a permeabilidade respetiva).

O ISRM em 1978 sugeriu nas suas propostas para caracterização deste parâmetro que as medições sejam sempre efetuadas com recurso a uma régua graduada sendo sempre descrito com o maior detalhe possível o material de preenchimento. Assim, deverão ser sempre identificados aspetos como a mineralogia e tamanho do grão do material de enchimento, indicação do teor de água constituinte e estimativa qualitativa da permeabilidade desse material. Considera-se relevante uma análise muito atenta de todos os aspetos antes referidos, uma vez que podem ser determinantes no condicionamento das características de percolação da água nas discontinuidades com todas as implicações que podem comportar para a resistência ao deslizamento das duas superfícies.

3.5.3. Técnica de Scanline

A denominada “Técnica de Scanline”, muitas vezes também designada por técnica de amostragem linear, trata-se de um método particularmente versátil e expedito que visa a caracterização de um maciço rochoso segundo uma linha de amostragem pré-determinada, permitindo a obtenção de informações consideradas pertinentes e de utilidade para os trabalhos a desenvolver. Apresenta-

se como uma solução fiável e expedita que se torna numa boa alternativa em situações para as quais o estudo detalhado do maciço rochoso não seja viável pelos mais variados fatores.

O Scanline consiste na colocação de uma fita graduada nas faces expostas do maciço (hasteais de pedreiras, taludes de rodovias, de ferrovias, etc.), sendo que, posteriormente, é efetuado o levantamento de características que se julguem relevantes para cada uma das descontinuidades intersetadas, tomando sempre como referencia a linha de amostragem estabelecida pela fita graduada colocada. Deste modo, cada uma das descontinuidades intersetadas deve ser descrita e registada criteriosamente em fichas de levantamento geotécnico produzidas para o efeito e, preferencialmente, de acordo com as normas prescritas pelo ISRM (1981).

Assim, para cada descontinuidade (falha, diaclase, estruturas filoneanas ou outras), devem ser registados os parâmetros seguintes:

- Distância à origem da fita graduada;
- Semi-comprimento exposto (L);
- Tipo de terminação (R - na rocha; D - noutra descontinuidade; O - obscura);
- Atitude geológica (direção/inclinação e quadrante de inclinação);
- Curvatura (numa escala de C1 a C5, em que C1 representa superfícies planas e C5 superfícies muito curvas);
- Rugosidade (numa escala de R1 a R5, em que R1 representa superfícies lisas e R5 superfícies muito rugosas);
- Tipo de litologia e respetivo grau de alteração (W);
- Abertura da descontinuidade;
- Preenchimento da descontinuidade;
- Presença de água;
- Outras informações como número, localização e orientação da linha de amostragem, orientação do talude em estudo, bem como a data do levantamento.

Apesar de expedita e versátil, existem alguns aspetos associados a esta técnica que devem ser tomados em linha de conta de forma de garantir a obtenção de resultados fidedignos. Desde logo, deve-se assegurar que a fita graduada se encontra devidamente esticada, no momento das medições, mantendo a mesma altura (cota de medição) ao longo de todo o comprimento do maciço em estudo; Por outro lado, a existência de descontinuidades horizontais ou sub-horizontais em número significativo pode, em alguns casos, comprometer a aplicação fiável desta técnica.

3.5.4. Representação das descontinuidades

3.5.4.1. Método das Rosetas

O método das rosetas (Figura 3.9) trata-se de um método de representação gráfica simplificado no qual as descontinuidades são representadas graficamente, numa base circular, com ângulos compreendidos entre os 0° e os 360° , dividida em setores de 10° . Nesta base circular são representadas as famílias de descontinuidades segundo a sua orientação, sendo que o comprimento de cada setor será relacionado com o número de medições efetuadas para cada família. Deve-se, ainda, referir que dada a simplicidade inerente a este método não há lugar para indicação da inclinação individual das descontinuidades no gráfico, pelo que se indica apenas o intervalo de variação das inclinações associado a cada família.

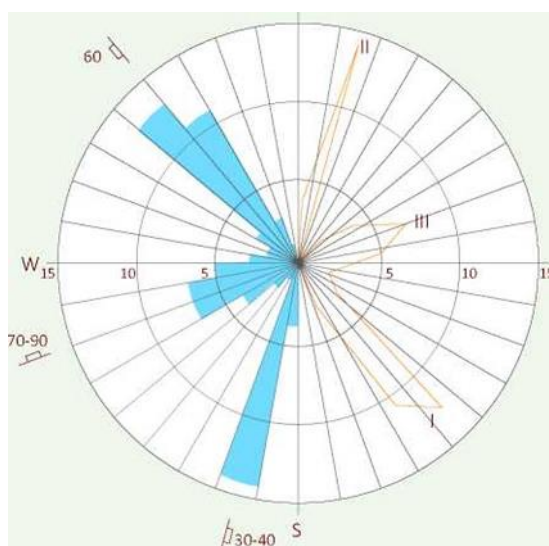


Figura 3.9 Representação gráfica de descontinuidades por recurso ao método das rosetas (adaptado de Gonzalez de Vallejo et al., 2002).

3.5.4.2. Projeção Hemisférica

O método de projeção hemisférica trata-se de uma representação e análise das relações tridimensionais entre planos e retas num diagrama bidimensional (Figura 3.10). O método tem como base a existência de uma esfera de referência, livre de se mover no espaço de forma a permitir que um dado plano possa atravessar o seu centro. Resulta da interseção do plano com a esfera de referência o que se designa de círculo maior.

Por sua vez, a reta normal ao plano que passa pelo centro da esfera intersesta esta última em dois pontos diametralmente opostos e que se designam de polos do plano. Uma vez que falamos de uma esfera, o polo e o círculo maior estão representados nos dois hemisférios da esfera, pelo que, normalmente, na resolução dos problemas de engenharia, só é considerado o hemisfério inferior.

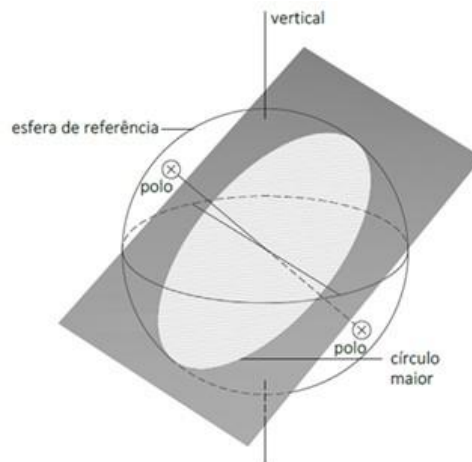


Figura 3.10 Interceção do plano com a esfera de referência (adaptado de Wyllie & Mah, 2004).

Este método permite, ainda, a projeção, quer do polo quer do círculo maior, segundo o plano horizontal.

Esta projeção pode ser obtida ligando todos os pontos do círculo maior situados sobre a esfera de referência e polo com o zénite (ponto de intersecção da reta vertical que passa pelo centro da esfera com a superfície do hemisfério superior). As projeções hemisféricas do círculo maior e do polo são dadas pelas interseções das respetivas linhas de projeção com o plano equatorial. Esta projeção é designada por projeção de igual ângulo.

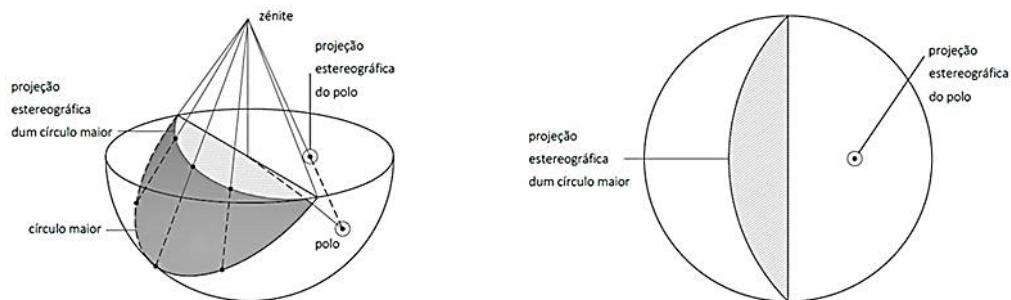


Figura 3.11 Projeção estereográfica de um círculo maior segundo o plano equatorial (adaptado de Wyllie & Mah, 2004).

A interseção de dois planos define, especialmente, uma linha que se caracteriza por uma tendência (0-360º) e um mergulho (0-90º). Em projeção estereográfica, esta linha de interseção é definida segundo um ponto que representa o cruzamento dos círculos maiores, referentes a cada um dos planos (Figura 3.11). Desta interseção de planos resultara a formação de uma cunha, que poderá, ou não, ser instável como pode ser observado na Figura 3.12 (Wyllie & Mah, 2004).

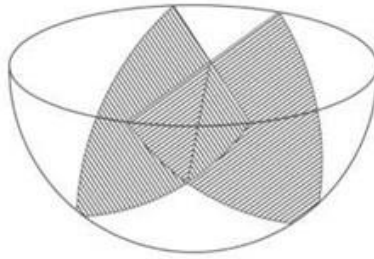


Figura 3.12 Representação da interceção de dois planos e respetiva projeção estereográfica (adaptado de Wyllie & Mah, 2004).

3.6. Caracterização dos taludes da Pedreira da Milhária

No Capítulo V é feita uma caracterização dos taludes da Pedreira da Milhária com base no levantamento de campo e demais trabalhos desenvolvidos sobre os mesmos.

(página propositadamente em branco)

Capítulo IV

Análise de risco

(página propositadamente em branco)

4. Análise de risco

4.1. Introdução

A análise de risco consiste genericamente no estudo, compreensão e avaliação dos impactos negativos e indesejados de intervenções, medidas, métodos ou materiais relativamente à vida humana, saúde, propriedade, meio económico ou ambiente (Crockford, 1986). Estas análises surgem com a impossibilidade de proteger um determinado sistema ou projeto de todos os perigos possíveis, tendo em conta a limitação natural dos recursos disponíveis. Quando aplicado à engenharia, este método permite ainda a combinação de vários cenários e respetivos impactos tendo em conta os métodos probabilísticos normalmente utilizados.

Utilizado cada vez mais em processos de decisão e na comparação de alternativas, este método é constituído, segundo a SRA (Society for Risk Analysis), por três componentes distintas: a avaliação de riscos, a gestão de riscos e a comunicação de riscos.

- A avaliação de riscos visa analisar eventuais situações ou cenários que possam provocar danos de natureza diversa, avaliando a sua probabilidade de ocorrência e estimando os respetivos danos (Kates e Kaspersen, 1984). Esta componente constitui o principal passo na análise de riscos, sendo também a tarefa mais suscetível a erros de estimação.

Efetivamente, a incerteza quer na definição e estimativa dos parâmetros quer na estimativa, tanto das respetivas probabilidades de ocorrência como dos efeitos a eles associados, pode ser considerável. Tendo em conta que neste tipo de análises é frequente a limitação de conhecimentos e de recursos económicos e de tempo disponível para os obter, bem como a multiplicidade de especialidades a considerar na estimação das consequências, a utilização de uma única unidade de quantificação do risco torna-se difícil, mas fundamental.

- A gestão de riscos consiste no processo de tomada de decisão sobre determinados riscos (Zimmerman, 1986). Pretende-se identificar, no conjunto de riscos considerados na avaliação de riscos, aqueles que necessitam de ser controlados, definindo as intervenções necessárias para a sua transferência, minimização ou mitigação.

Numa gestão ideal dos riscos é dada prioridade ao risco com maior probabilidade de ocorrência e com as consequências mais graves, seguido pelos restantes cenários por ordem decrescente de probabilidade e de gravidade (U.S. Dept. of Defense, 1987). Na prática, este processo pode torna-se muito difícil devido à necessidade de definir pesos associados às várias variantes, com o intuito de comparar cenários menos graves com elevada probabilidade de ocorrência com cenários mais graves, mas com fraca probabilidade de acontecerem (Alemi, 2006).

- A comunicação de riscos consiste na transferência de informação pertinente entre as várias partes interessadas na análise de risco (projetistas, construtores, operadores, entidades reguladoras, utentes, serviços de emergência...). Importa, nesta fase, conhecer a perceção dos vários riscos por parte dos agentes envolvidos e interpretar adequadamente os resultados da análise realizada.

Considerando a definição de análise de risco já enunciada, duas interpretações para o conceito de risco podem ser identificadas (Bradbury, 1989):

- Um atributo intrínseco de uma ação potencialmente perigosa – associado ao tratamento objetivo de acontecimentos que podem ser explicados, previstos e controlados por ações técnico-científicas independentes de quaisquer valores subjetivos;
- Um atributo resultante de uma perceção individual ou social – destacando a dependência do risco relativamente à perceção e interpretação das pessoas suscetíveis a eventuais danos. Este tipo de interpretação está normalmente associado a estudos psicométricos de aceitação social e a análises comportamentais.

É no âmbito do primeiro conceito que se inserem as análises de risco utilizadas nas ciências tecnológicas e mais propriamente na engenharia em geral e na geotécnia em particular. Esta abordagem mais técnica apresenta duas vertentes distintas (Molag, 2006): a avaliação determinística de riscos e a avaliação probabilística de riscos.

Nas análises determinísticas são avaliados, pormenorizadamente, os vários acontecimentos e as consequências associadas a um determinado cenário. Constituindo um instrumento fundamental na compreensão dos vários aspetos em jogo em situação de acidente, estas são frequentemente usadas na preparação dos serviços de emergência ou no estudo de medidas pontuais de minimização de risco. Neste tipo de análises não são consideradas as probabilidades de ocorrência dos eventos.

Nas análises probabilísticas os riscos são considerados como sendo o produto entre os danos de vários eventos e as respetivas probabilidades de ocorrência (Hadden, 1984). Os danos são usualmente expressos em frequências de ocorrência enquanto que as probabilidades de ocorrência, geralmente, são estimadas a partir de frequências observadas. Estas análises permitem a avaliação conjunta de vários cenários, associando probabilidades e danos a cada acontecimento. Nestas análises, o nível de pormenor dos efeitos dos acontecimentos é menor do que nas determinísticas; segundo alguns autores, a vantagem de permitirem uma avaliação global do risco compensa o menor rigor na análise de efeitos.

Na bibliografia são apontadas algumas dificuldades na utilização das análises probabilísticas como método de análise de risco essencialmente devido à dificuldade na determinação de probabilidades de eventos raros.

Quando a base de informação não é suficientemente completa, frequentemente, recorre-se aos intervalos de tempo entre os poucos registos a fim de determinar probabilidades de eventos raros. Outro aspeto usualmente apontado é o facto de uma análise probabilística necessitar de uma seleção prévia de cenários e respetivas consequências, a fim de tornar a análise de risco num processo viável e eficiente. Caso este passo não seja efetuado, com o devido cuidado, a análise de risco pode ser irrelevante. Finalmente, o facto de ambas as metodologias de análise necessitarem normalmente de registos históricos para a determinação de probabilidades de eventos pode fazer com que futuros cenários nunca observados sejam esquecidos ou não considerados. Cabe ao agente responsável pela análise de risco estudar os perigos prioritários, sabendo que não é viável prevenir ou proteger-se de todos os cenários possíveis. Sendo a seleção de cenários uma tarefa condicionante no que diz respeito à confiabilidade dos resultados de análise de risco dos dois tipos, vários autores consideram-na separada da avaliação de riscos (Trijsenaar-Buhre et al, 2005) sugerindo diversos métodos para seleção dos respetivos cenários.

Atualmente, quer as análises determinísticas quer as probabilísticas, têm sido adaptadas a outras atividades relacionadas com situações de acidente ou de desastre natural. Cada vez mais as análises de risco são utilizadas para fins diversos, sendo consideradas um elemento de apoio à tomada de decisões ou simples avaliação e comparação de medidas alternativas com vários exemplos foram já reportados na bibliografia (Chang et al, 2000).

4.2. Critérios de aceitação do projeto e análise de risco

Nos estudos de um talude, a análise probabilística é utilizada para calcular a probabilidade de falha (PF) existente naquele projeto, considerando as incertezas associadas às variáveis aleatórias existentes. Diante do valor da PF, é possível quantificar os riscos do projeto e efetuar a sua gestão, visto que uma definição aceite para o risco é a probabilidade de falha (que é a probabilidade de o evento de falha ocorrer) versus os custos de todas as possíveis consequências do evento de falha, caso ele ocorra, conforme a Equação 3.4):

$$R = PF \times \text{Consequências} \quad (3.4)$$

As consequências podem ser diretas ou indiretas. As primeiras estão diretamente relacionadas ao evento de falha e ocorre sempre. As demais consequências, relacionadas com terceiros ou com o ambiente exterior, são condicionais, ou seja, podem ou não ocorrer. De acordo com Read e Stacey (2009) as consequências são classificadas de seis formas:

- 1) Mortes ou lesões de pessoas, incluindo os custos da ação industrial e legal.
- 2) Danos aos equipamentos e infra-estrutura.

- 3) Impactos económicos sobre a produção, incluindo os custos de:
 - i) Remoção do material rochoso;
 - ii) Remediação do talude: Pode ser necessário um reperfilamento/recorrência nas bancadas envolvidos e superiores para se evitar novas falhas;
 - iii) Reparação de estradas e rampas de cesso.
 - iv) Custos dos equipamentos envolvidos direta e indiretamente;
 - v) Volumes de minério irrecuperáveis devido à perda de uma rampa, por exemplo.
- 4) Um impacto económico maior, no caso, por exemplo, de ruturas de taludes globais que possam interferir na remoção do minério a longo prazo de tal forma que os contratos não possam ser cumpridos.
- 5) Perda de confiança dos trabalhadores.
- 6) Relações públicas, tais como a resistência das partes interessadas, devido a opiniões sociais e/ou impactos ambientais decorrentes da falha.

Numa exploração de rocha a céu aberto, o objetivo é fornecer uma configuração de escavação ideal levando em consideração a segurança, recuperação do material útil e retorno financeiro. Neste sentido, todas as instabilidades devem poder ser geridas, desde a escala de talude de bancada aos taludes globais. Conforme visto antes, os taludes de uma pedreira são tradicionalmente avaliados pelo fator de segurança (FS), onde o equilíbrio limite ocorre quando o fator de segurança (FS) é igual a 1. Na prática, as incertezas do projeto não permitem uma avaliação concreta do provável desempenho do sistema durante um período de tempo especificado, resultando na maioria das vezes na fixação de um valor mínimo para o fator de segurança desse projeto, adquirido através da experiência. De acordo com esta experiência, inclui o método analítico utilizado nos cálculos de projeto, o grau de confiança nos parâmetros de entrada, e as consequências das falhas.

Tabela 4.1 Valores típicos de critério de aceitação de FS e PF
(adaptado de Read e Stacey, 2009).

Parte do talude	Consequências da falha	Critério de aceitação		
		FS Estático (mínimo)	FS Dinâmico (máximo)	PF (máxima) $P FS \leq 1 $
Bancada	Baixa-média	1,1	NA	25% - 50%
Talude	Baixa	1,15 - 1,2	1	25%
	Média	1,2	1	20%
	Alta	1,2 - 1,3	1,1	10%
Global	Baixa	1,2 - 1,3	1	15% - 20%
	Média	1,3	1,05	10%
	Alta	1,3 - 1,5	1,1	5%

A probabilidade de falha (PF) tem vindo a ser, cada vez mais, utilizada como critério de aceitação de projeto, nos últimos anos. Read e Stacey (2009) sugerem um critério de aceitação de projeto levando em consideração o FS, a PF, bem como as consequências caso a rutura ocorra e a escala do talude (Tabela 4.1). Existem outras recomendações na literatura para valores toleráveis de PF, correlacionados com o FS, como as Tabelas 4.2 e 4.3 (Priest e Brown, 1983 citados por Read e Stacey, 2009). Outros critérios de projeto para PF também podem ser consultados em (Kirsten, 1983), (SRK consulting, 2006) e (Swan e Sepulveda, 2001) citado por Read e Stacey, 2009.

Tabela 4.2 Orientações de Fator de Segurança e Probabilidade de Falha (Priest e Brown, 1983).

Consequência da Falha	Exemplos	Valores aceitáveis		
		FS médio	Mínimo P FS<1,0	Máximo P FS<1,5
Leve	Bancos individuais; pequenos taludes (<50m); taludes temporários, não adjacentes a zonas de trabalho ou passagem frequente	1,3	10%	20%
Moderada	Qualquer talude de natureza permanente ou semi-permanente	1,6	1%	10%
Grave	Taludes de médio porte (50m a 80m) ou alto porte (<120m) onde se encontrem as principais zonas de exploração ou passagem	2	0,30%	5%

Tabela 4.3 Interpretação adaptada de Priest e Brown (1983) para as orientações de FS e PF.

Desempenho com relação à Tabela 4.2	Interpretação
Satisfaz todos os critérios	Talude estável
Excede o FS médio mínimo, mas viola um ou ambos os critérios probabilísticos	Operação do talude apresenta riscos que podem, ou não ser aceitáveis; o nível de risco pode ser reduzido por programa de monitorização abrangente
FS médio mínimo baixo, mas satisfaz ambos os critérios probabilísticos	Talude marginal: pequenas modificações na geometria do talude são necessárias para aumentar o FS médio a nível satisfatório
FS médio mínimo baixo, mas viola um ou ambos os critérios probabilísticos	Talude instável: maiores modificações na geometria do talude são necessárias; monitorização do talude pode ser indispensável

Neste sentido, é importante salientar que unicamente o valor da PF, por si, não deve ser utilizado como fundamento para decisão de projeto, visto que esta gestão deve ser feita após o cálculo das consequências das falhas envolvidas, a partir das estimativas das análises de risco.

4.3. Classificação dos riscos

4.3.1. Conceitos gerais

Na literatura, já existem diversos critérios de aceitação dos riscos, em forma de tabelas, figuras ou gráficos, que variam em função do tipo de projeto, custos, tempo, consequências etc. As Figuras 4.1 a 4.3 apresentam uma forma de analisar os riscos qualitativamente, podendo ser considerados ou não os impactos ao longo do tempo. A Figura 4.1 combina os prejuízos com as vulnerabilidades (que são as probabilidades de falha) e com as gravidades (custos probabilísticos). Todos os riscos na zona vermelha devem ser mitigados na direção das zonas amarelas ou verdes, ou devem ser estrategicamente evitados.

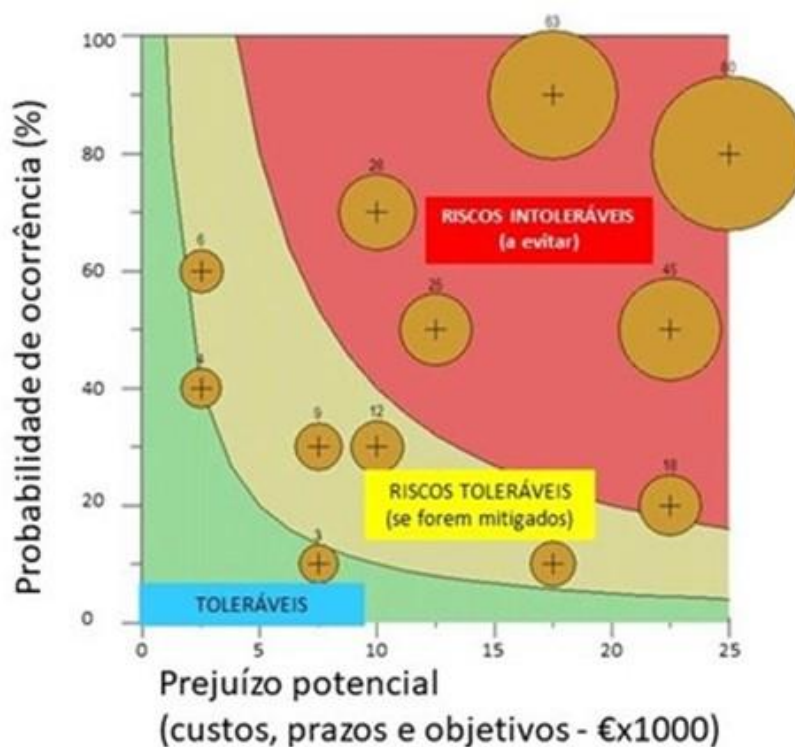


Figura 4.1 Análise de riscos qualitativa 2D (adaptado de PROGEO, 2007).

A Figura 4.2 apresenta uma grelha de riscos em três dimensões, acrescentando o momento em que o risco pode ocorrer e possibilitando assim a definição da prioridade das ações no tempo. Os riscos imediatos são mais fáceis de serem detetados, logo, a grelha, em geral, tende a ficar mais sobrecarregada nos primeiros meses, apesar de não ser o caso do exemplo abaixo. Os riscos não

identificados de imediato precisam de informações complementares no seu devido prazo, com um nível de confiabilidade maior.

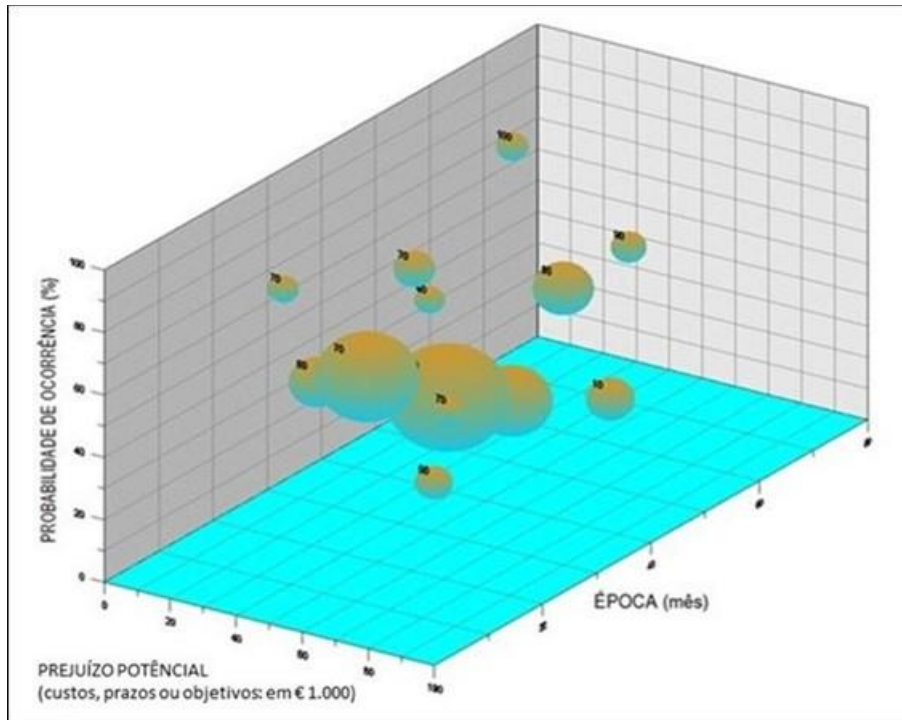


Figura 4.2 Análise de riscos qualitativa 3D (PROGEO, 2007).

Read e Stacey, 2009, citado por SRK Consulting, 2013, apresenta um histórico de vários países, incluindo os Estados Unidos (Figura 4.3), que compara os critérios de aceitação de risco com estatísticas de consequências (fatalidades, classificadas como voluntárias ou involuntárias). Na mesma Figura é também apresentada a estatística para fatalidades em taludes de mina considerando a probabilidade de falha anual.

Os riscos apresentados para taludes de minas, pedreiras e barragens do histórico são os mesmos, estando entre 1:100 e 1:1000, pois as consequências nos dois casos são inversamente proporcionais às PFs. A PF anual para taludes de mina é cerca de mil vezes maior que a PF das barragens, enquanto que o índice de mortes esperadas é cerca de mil vezes menor.

Read e Stacey (2009) sugerem que explorações a céu aberto sejam projetadas para um nível de risco de fatalidade entre 1: 1000 a 1: 10000.

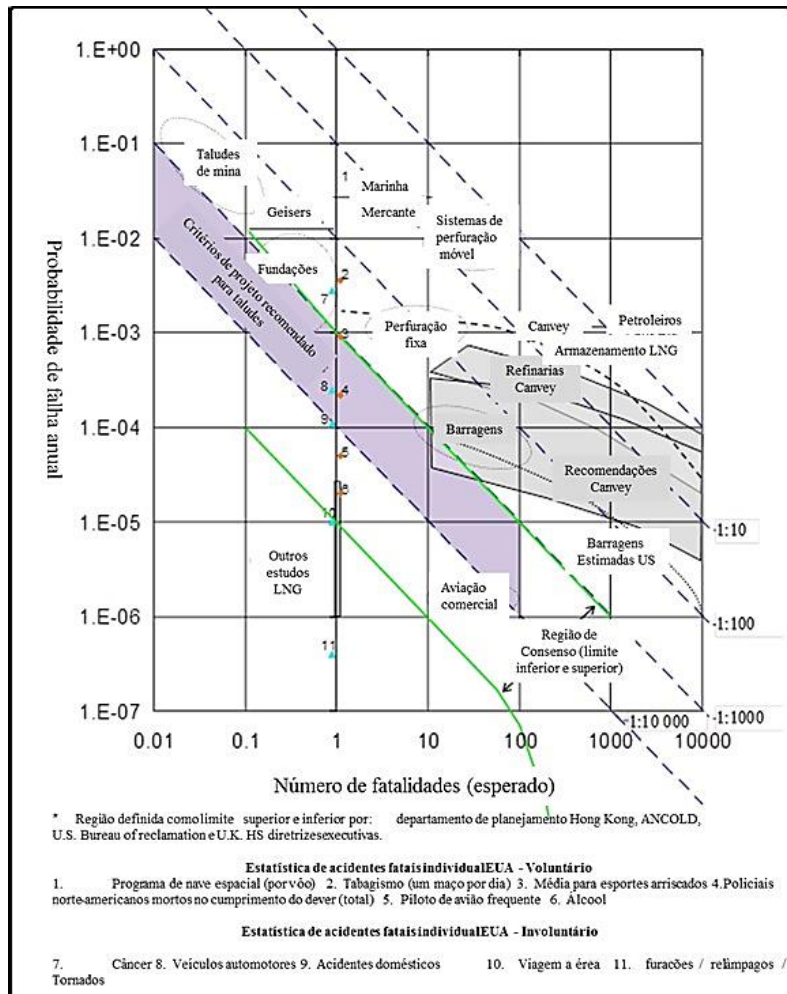


Figura 4.3 Comparação do critério de aceitação ao risco com estatísticas (adaptado de Read e Stacey, 2009, citado por SRK Consulting, 2013).

4.3.2. Principais Riscos dos trabalhos em pedreiras

O trabalho realizado nas pedreiras é caracterizado, frequentemente, como sendo um trabalho de risco elevado. Entre os riscos a que os trabalhadores das pedreiras estão mais frequentemente expostos contam-se os seguintes:

- Trabalho nas frentes de pedra: aspeto relacionado com a instabilidade desses locais, com os materiais soltos e com a condução de veículos nas suas vias (Yarahmad et al, 2014 e Dellero et al, 2013);
- Operações com veículos: impacto relacionado com capotamentos, a colisão, o esmagamento ou atropelamento de trabalhadores por veículos em marcha atrás e as quedas à entrada ou à saída das cabinas, muito altas, de muitos dos veículos utilizados na exploração de pedreiras. Também podem ocorrer acidentes em consequência de falhas técnicas e de manutenção – avaria nos travões ou na direção, por exemplo – ou de erro dos condutores (excesso de velocidade, instabilidade da carga) (Yarahmad et al, 2014);

- Pavimento e solo: risco relacionado com os escorregamentos, os tropeções e as quedas. Os trabalhadores das pedreiras correm ainda o risco de serem atingidos pela queda de objetos, nomeadamente blocos de pedra (Dellero et al, 2013);
- Riscos físicos: aspeto relacionado com a exposição a vibrações transmitidas ao sistema mão-braço ou a todo o corpo. Salienta-se ainda o aspeto relacionado com a exposição ao ruído e a poeiras (Cerdeira et al., 2014, Matos et al., 2010 e 2011b);
- Riscos ergonómicos: aspeto relacionado com os trabalhos manuais (que incluem a movimentação de equipamento, a escavação de terras e lamas e a elevação e transporte de blocos de pedra), as longas jornadas de trabalho na posição de sentado e com a adoção de posturas incorretas (Guerreiro, 2005 e Rútilo, 2012);
- Exposição a substâncias químicas: relacionado com a presença de agentes químicos perigosos (Bhagia, 2012 e Ahmad, 2011);
- Exposição a condições atmosféricas adversas: aspeto relacionado com a exposição a temperaturas extremas, humidade, chuva e neve, e radiação UV (Matos et al., 2010);
- Riscos associados aos trabalhos de manutenção e reparação de máquinas: aspeto relacionado com quedas do veículo, entalamento ou esmagamento (é frequente os trabalhos de manutenção terem de ser executados com as máquinas em funcionamento), execução do trabalho em posições difíceis. Também relacionado com a corrente elétrica resultante de isolamento deficiente das componentes elétricas (OSHA, 2010 e Guerreiro, 2005);
- Risco associado ao uso de equipamentos de soldadura: aspeto relacionado com a exposição a fumos nocivos resultantes dos processos de soldadura e à projeção de material incandescente;
- Risco associado aos equipamentos sobre pressão - relacionado à presença de reservatórios de ar comprimido e ao uso de mangueiras de alta pressão;
- Risco associado a situações de emergência como resultado de explosões, derrocadas, incêndios e inundações (Castelo Branco et al., 2007);
- Risco associado ao uso de explosivos (Castelo Branco et al., 2007);
- Riscos organizacionais – impacto relacionado com a natureza do trabalho, longas jornadas de trabalho, trabalho fora do horário normal, trabalho isolado (Matos et al., 2014) ou aos fins de semana, o trabalho é muitas vezes executado sob forte pressão de tempo, o que, obviamente, aumenta o risco de acidentes.

- Aspeto relacionado com a formação/experiência dos trabalhadores em que é comum recorrer-se a trabalhadores contratados que não estão familiarizados com o local nem com os sistemas de trabalho.

Dadas as características da pedra em análise no presente estudo, iremos focar-nos unicamente no caso dos riscos que advêm da queda e movimento intempestivo de blocos.

Assim, e consideradas as características da pedra, teremos que apreciar, essencialmente, os riscos provenientes das dimensões dos hasteais (com um grande enfoque na altura), do sistema de descontinuidades, da dimensão destas e seu preenchimento bem como das famílias presentes, condições de percolação da água no maciço e as características intrínsecas ao mesmo. No que aos meios humanos e materiais se refere, teremos que verificar o seu posicionamento nas diversas áreas da pedra, sendo que, no caso da pedra da Milhária, os locais de maior risco serão os mais próximos aos taludes, bastante inclinados com a horizontal, presentes.

4.3.3. Prevenção e mitigação do risco

De uma forma geral, e mais ou menos consensual, a prevenção dos riscos geológicos pode caracterizar-se pela capacidade de previsão e/ou antecipação da ocorrência de um certo fenómeno no tempo e no espaço, visando:

- evitar o processo;
- controlar ou diminuir o processo;
- avisar, preparar ou proteger-se dele.

O modo de atuação face a um dado processo está intrinsecamente relacionado com as características do mesmo, como, por exemplo, a velocidade e magnitude. Segundo Gonzalez de Vallejo et al. (2002) a prevenção deve ter como fundamento o conhecimento das características e leis dos processos, recorrendo, para tal, à análise de dados anteriores, observações científicas bem como da monitorização e da deteção de anomalias. É possível conhecer os locais onde se observem indícios de que ocorreram processos geológicos; são disso exemplos, as zonas sísmicas ou vulcânicas, ou as zonas, porque devidamente estudadas, em que se espera que ocorram deslizamentos. Importa, porém, realçar a ideia de que, apesar do que anteriormente se expôs, alguns processos não se podem prevenir, evitar ou controlar (terramotos, deslizamentos,...), pelo que, no caso de estes processos constituírem um risco, apenas se pode atuar no sentido de proteger ou atenuar os seus efeitos. Esta atenuação consiste em moderar ou diminuir as perdas e os danos mediante o controlo do processo e/ou na proteção dos elementos expostos. No entanto, será necessário ter a consciência de que existem zonas que apresentam um enorme potencial para serem afetadas por processos de grande intensidade ou magnitude, que nunca deveriam ser ocupadas, como por exemplo o caso, flagrante, das zonas de falhas ativas. No sentido de identificar

estas zonas ou aquelas que poderão ser ocupadas com restrições ou condições torna-se necessária a realização de mapas de perigosidade, onde se divida o território segundo um grau determinado de potencial perigo. Para o efeito deverão ser realizados estudos geológicos prévios à utilização do território ou à construção de infraestruturas (Gonzalez de Vallejo et al., 2002), prevendo, desde logo, a ocupação de zonas potencialmente instáveis.

4.4. Análise do risco dos taludes da pedreira da Milhária

No caso em estudo, a atenção terá que ser focada no risco potencial de queda de blocos no hasteal em apreço. Tal facto prende-se, desde logo, por ser este (“avessas”) o talude mais importante na atual configuração da pedreira. E assim é devido, não só ao facto de os trabalhos se desenrolarem no seu sopé, mas também às potenciais reservas da pedreira que parecem estar, principalmente, na direção desse hasteal o que poderá levar ao seu avanço a médio prazo.

Por esse motivo, os métodos de contenção a implementar para mitigação de eventuais riscos terão que ser bem equacionados de forma a não virem, numa fase posterior, causar embaraços ao referido avanço desta frente da pedreira.

No imediato, os perigos que possa apresentar, depois das observações efetuadas, registam-se primordialmente pela presença das antigas pedreiras que provocam o aparecimento de zonas sem apoio inferior e cujos tetos, agora expostos aos elementos e cerceados das suas zonas de apoio lateral, poderão instabilizar algumas zonas do talude e, assim, vir a provocar derrocadas limitadas a essa zonas.

Outra situação, a considerar com atenção, são as descontinuidades, suas características e famílias que também poderão originar casos de instabilidade de muito difícil previsão. Disto resulta que existe o perigo, real, de queda pontual de rochas que, no caso da pedreira da Milhária, poderão ter consequências se ocorrerem no período laboral ou sobre infraestruturas e meios. É esse o risco que nesta análise pretendemos equacionar, apresentando, sempre que possível, medidas de mitigação desse risco sabendo, de antemão, que por muito que se trabalhe neste particular, o fator “risco” não poderá nunca ser erradicado.

Mediante o explanado anteriormente, e a necessidade de se efetuar uma recolha de dados que permita, de forma sistematizada, a organização de elementos conducente a uma avaliação do risco real ou potencial que se verifica no talude em estudo, foi construída uma ficha, que alimenta um outro documento que denominamos *Análise de Risco* e que incorpora e analisa a informação recebida segundo os parâmetros pré estabelecidos, para cada uma das zonas do talude em avaliação, Ficha esta que se apresenta no Capítulo VI.

(página propositadamente em branco)

Capítulo V

Caraterização dos taludes da pedreira da Milhária

(página propositadamente em branco)

5. Caracterização dos taludes da pedreira da Milhária

5.1. Introdução

Na sequência do exposto em capítulos anteriores, o projeto e dimensionamento de taludes de pedreiras escavados em maciços rochosos envolve uma grande variedade de disciplinas, exigindo um conhecimento aprofundado da geologia estrutural e da engenharia geotécnica.

Para além disso, a abertura ou expansão para profundidades cada vez maiores destes taludes a céu aberto aumenta, ainda mais, a responsabilidade do dimensionamento de projetos com ângulos mais íngremes, porém mantendo no mesmo nível a operacionalidade e segurança da exploração.

Contudo, os taludes, em qualquer escavação num maciço, seja qual for a sua natureza, são formados por materiais naturais de grande variabilidade relativamente às suas propriedades geológicas e geotécnicas situação que as análises deverão atender.

Correntemente, o dimensionamento dos taludes de pedreiras a céu aberto têm seguido uma abordagem determinística em que valores representativos dos parâmetros de resistência são adotados como premissas para determinação dos fatores de segurança desses taludes. Esta abordagem tem sido utilizada nas diversas fases de projeto, desde a pré-viabilidade ao final da exploração (desmantelamento).

Assim, a partir da geometria avaliada, dos valores de parâmetros de resistência, das condições de saturação, dos carregamentos externos, dos modos de rutura (tais como: planar, em forma de cunha, tombamento, circular, etc), ou outros fatores, empíricos, determinam-se os valores do fator de segurança (FS) individualmente para cada análise. Esta metodologia aplicada em estudos e dimensionamento de taludes de explorações de rocha a céu aberto permite otimizar os ângulos médios da face ou entre rampas, admitindo valores mínimos para os fatores de segurança sugeridos pela prática da engenharia geotécnica.

Apesar disso, as variações inerentes ao modelo geológico, aos valores dos parâmetros de resistência, às propriedades físicas dos materiais ou, até mesmo, à influência do fator tempo (meteorização) poderão resultar em incertezas quanto à real estabilidade geotécnica dos taludes em estudo. Estas incertezas podem-se tornar ainda mais críticas no longo prazo como requerido em projetos de encerramento de explorações.

Por outro lado, a adoção de geometrias muito abatidas, necessárias para conviver com as incertezas segundo a abordagem determinística (*worse case scenario*) pode resultar em custos de implantação, operação e desativação significativamente mais onerosos. Este trabalho propõe-se analisar o fator de segurança de taludes de escavação a partir de uma avaliação mista (determinística/probabilística) e uma análise de risco subsequente, segundo as quais cada

parâmetro de entrada assume uma função de probabilidade derivada dos elementos obtidos nos diversos trabalhos de campo e laboratório realizados para este efeito específico.

Com a conjugação dos valores mínimos recomendados para o fator de segurança pelas normas técnicas aplicadas a cada zona dos taludes estudados e dos riscos admissíveis, podemos obter resultados que possibilitarão eventuais otimizações da segurança das operações e, em última análise, do talude em si.

5.2. Programa de trabalhos

5.2.1. Introdução

Perante a situação atual na pedreira da Milhária facilmente se constata a pertinência do estudo de gestão e controlo do hasteal norte (“avessas”), o qual pela sua extrema especificidade (desenvolve-se, como referido antes, numa frente de trabalho que interseta antigas explorações subterrâneas), põe problemas novos a quem diariamente trabalha no local.

Daí este estudo, que pretende que a abordagem proposta contribua para uma análise mais detalhada da frente de trabalho em questão, e da sua gestão, fornecendo metodologias que auxiliem na deteção precoce de eventuais problemas, minorando assim o risco inerente a ocorrências inopinadas que possam vir a potenciar-se.

5.2.2. Metodologia

Confrontados com o problema descrito, decidiu-se seguir a seguinte cronologia de trabalhos:

- Recolha de informação disponível: para este efeito acedeu-se aos arquivos quer da própria ELV, quer da tutela da área (DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia, departamento de Minas e Pedreiras, Norte), Museu da Ardósia, Arquivo Municipal de Valongo e o arquivo pessoal do Diretor Técnico da ELV;
- Definição e execução de um plano de recolha de dados no local de interesse: registo fotográfico, realização de vários “scanline” para obtenção de informação detalhada da compartimentação do maciço da pedreira nos locais de interesse;
- Elaboração de quadros resumo com a informação registada para planificação dos passos seguintes;
- Realização de ensaios de campo (determinação da resistência à compressão – martelo de Schmidt e do ângulo de atrito interno – tilt test) para determinação segura dos parâmetros em presença na formação em estudo;
- Realização de ensaios de compressão uniaxial simples, em laboratório, sobre amostras extraídas da pedreira;

- Estudos e conclusões relativos aos dados obtidos nos ensaios realizados;
- Realização de ensaios de modelação numérica recorrendo ao software da Rocscience, nomeadamente o DIPS v7.0 e SWEDGE v6.0, para, com base nos parâmetros obtidos na pedraira, se avaliar o Fator de Segurança (FS) e Possibilidade de Falha (PF), mediante as simulações realizadas variando os parâmetros dentro de intervalos definidos;
- Realização de uma segunda bateria de trabalhos de campo com vista uma observação mais detalhada dos fatores que pudessem pesar para o risco de uma eventual ocorrência de quedas de blocos na área dos taludes em estudo;
- Avaliação e síntese conjugada das observações e resultados obtidos;
- Conclusões

5.3. Trabalhos de campo

5.3.1. Levantamento topográfico

O levantamento topográfico disponível, cedido pela Empresa de Lousas de Valongo, não reflete, totalmente, a realidade atual da pedraira visto ser datado de 2014. No entanto, por não existirem atualizações, foi adotado para este trabalho por constituir base fiável e patentear os elementos de maior interesse para o trabalho que pretendemos realizar, nomeadamente as inclinações dos taludes, as alturas de bancadas, aproximadas, e sua geometria bem como os desenvolvimentos da pedraira nas várias frentes de trabalho, além de preciosas informações relativas às principais descontinuidades e suas orientações. O levantamento topográfico de base pode ser consultado no Anexo 2, que se reproduz na Figura 5.1.

5.3.2. Levantamento dos elementos geométricos da pedraira

Foi realizado um exaustivo registo das descontinuidades presentes no local de interesse, nomeadamente pela realização de vários *scanline*, cujos resultados apresentados em tabelas podem ser visualizados no Anexo 3.

5.3.3. Aquisição de outra informação

A informação mais antiga relativa à pedraira não é de fácil acesso. Desde logo porque um incidente com um incêndio terá destruído muita da informação de arquivo da própria empresa. Também na Direção de Energia e Geologia a informação é relativamente parca em virtude de estar a ser centralizada no sul do país, sendo que atualmente está só armazenada e não catalogada, pelo que o seu acesso é, presentemente, virtualmente impossível. Assim sendo, recorreu-se ao arquivo do Eng^o Simões Cortez que, nos cerca de 60 anos que leva de direção técnica da pedraira, recolheu e arquivou um acervo inestimável de informação.



Figura 5.1 Levantamento topográfico da pedreira da Milhária, 2016 (ELV).

5.3.4. Trabalhos de campo e laboratório

Com vista à caracterização dos parâmetros geotécnicos do maciço, levou-se a cabo uma campanha de ensaios locais e em laboratório que permitisse avaliar a fiabilidade dos resultados dos dados recolhidos.

5.3.4.1. Martelo de Schmidt

5.3.4.1.1. Realização de ensaios no campo

Para a concretização dos ensaios de campo realizados neste artigo empregaram-se dois tipos de esclerómetros. Começou-se por recorrer a um martelo de Schmidt digital do LGMC|ISEP, da marca Controls e modelo 58-C0181G. Este aparelho é do tipo N, com energia de impacto de 2,207 joule (Nm) e com as características resumidas na Figura 5.2a). Mais tarde e de modo a confirmar os resultados, recorreu-se a um segundo equipamento da marca Silver Schmidt tipo H 2975NR da marca Proceq, cuja energia de impacto é, também, de 2,207 joule e com as características que podem ser observadas na Figura 5.2b).

Controls:

- Energia de impacto: 2,207 Nm

Proseq:

- Energia de impacto: 2,207 Nm

- Amplitude de medição: de 10 a 70 N/mm²
 - Ecrã 2 x 16 caracteres.
 - Precisão ± 0,1 R.
 - Sistema de energia: Bateria recarregável integrada – 9V.
 - Autonomia (em uso médio) > 5 horas.
 - Memória: até 5.000 testes.
 - Saída de dados: porta de série RS 232 C.
 - “Shut down” automático por falta de ação.
 - Dimensões (com leitor): 190 x 100x 350 mm
 - Peso aproximado: 2 kg.
- Amplitude de medição: de 10 a 70 N/mm²
 - Impressão integral, imediata dos resultados em papel.
 - Precisão ± 0,1 R.
 - Sistema de energia: mola acoplada para a impressora.
 - Capacidade por rolo de papel: até 4.000 testes.
 - Saída de dados: papel.
 - Dimensões (com impressora): 190 x 120 x 350 mm.
 - Peso aproximado: 2 kg.



a)



b)

Figura 5.2 Martelos de Schmidt usado nos ensaios (Controls, descarregando dados e Procec, na pedreira).

Foram realizados diversos ensaios em diferentes locais da pedreira, consoante as frentes libertas e acessíveis, que totalizaram 74 leituras (58 com o martelo Controls e 16 com o martelo Proseq) de índices esclerométricos. A aplicação do martelo foi realizada diretamente no maciço rochoso, como referido anteriormente, nas suas frentes livres, acessíveis e limpas.

Tomou-se o cuidado de registar, além da litologia da rocha, o seu grau de alteração, conforme classificação visual. Ressalva-se que não houve preocupação quanto ao ângulo de aplicação do martelo, uma vez que, invariavelmente os ensaios foram realizados com o equipamento na posição horizontal ou muito próximo disso, de modo que o índice obtido não careceu de qualquer de correção angular.

Na realização dos ensaios esclerométricos procurou-se manter uma área de ensaio de aproximadamente 400cm² (20 X 20cm), relativamente afastada dos cantos da rocha, com aplicação

do esclerómetro distribuída uniformemente nessa área, segundo malha definida previamente. Sempre que possível, as superfícies irregulares, ásperas ou curvas foram evitadas por não fornecerem resultados homogêneos. Em cada área de ensaio foram efetuados dezasseis impactos, obtendo-se, de cada uma dessas áreas, um único índice esclerométrico médio.

Complementarmente os resultados obtidos nos ensaios de campo foram comparados com os existentes nos arquivos da Pedreira da Milhária. Dessa análise verificou-se uma aproximação de valores pelo que se registaram como válidos os ensaios realizados tendo-se optado pela não utilização de qualquer coeficiente de correção dos índices esclerométricos obtidos.

5.3.4.1.2. Resultados e discussão

Os resultados dos ensaios esclerométricos realizados na pedreira da Milhária, no maciço ardosífero em exploração, conforme metodologia antes descrita, encontram-se na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 Resultados obtidos nos ensaios de campo com martelo de Schmidt.

teste nº	RM	σ Mpa	teste nº	RM	σ Mpa	teste nº	RM	σ Mpa	teste nº	RM	σ Mpa
1	50,4	149,35	19	52,1	162,24	38	41,6	97,29	56	48,8	138,15
2	33,0	64,00	20	49,4	142,25	39	43,5	106,72	57	44,7	113,15
3	36,4	75,53	21	48,1	133,52	40	46,1	121,13	58	50,8	152,28
4	52,1	162,24	22	50,5	150,08	41	51,2	155,28	59	57,0	205,96
5	48,1	133,52	23	52,4	164,62	42	44,1	109,89	60	40,5	92,22
6	41,8	98,24	24	54,9	185,94	43	41,4	96,35	61	56,3	199,06
7	47,7	130,94	25	44,4	111,50	44	46,1	121,13	62	43,1	104,66
8	38,7	84,48	26	49,2	140,87	45	50,2	147,90	63	54,2	179,71
9	44,8	113,70	27	39,7	88,69	46	50,8	152,28	64	45,3	116,50
10	41,4	96,35	28	37,0	77,76	47	49,3	141,56	65	48,6	136,81
11	43,5	106,72	29	41,8	98,24	48	46,6	124,11	66	51,3	156,04
12	45,4	117,07	30	43,0	104,16	49	44,4	111,50	67	45,6	118,22
13	47,2	127,79	31	44,8	113,70	50	50,1	147,18	68	42,5	101,65
14	43,5	106,72	32	49,1	140,18	51	49,1	140,18	69	51,6	158,33
15	54,9	185,94	33	51,5	157,56	52	48,9	138,83	70	48,0	132,87
16	50,5	150,08	34	52,6	166,24	53	52,1	162,24	71	51,4	156,80
17	52,4	164,62	35	46,3	122,31	54	48,2	134,17	72	43,3	105,69
18	50,2	147,90	36	47,5	129,68	55	49,7	144,34	73	38,1	82,04
			37	53,4	172,84				74	37,6	80,07

Como já referido, verificouse que os resultados destes ensaios coincidem, em larga medida, com os disponíveis, anteriormente executados na mesma pedreira, no que se refere aos valores finais.

Nota-se, no entanto, algumas variações que dependem de alguns fatores a saber: Primeiramente a orientação da xistosidade. De fato constata-se que os valores mais altos se verificam nos ensaios efetuados perpendicularmente à xistosidade. Por outro lado, também os ensaios realizados em

zonas ligeiramente alteradas ou com descontinuidades apresentam valores de resistência inferiores à média.

De um modo geral constata-se que a dureza da rocha presente neste maciço corresponde às expectativas iniciais e sem variações muito apreciáveis ao longo de toda a pedreira, se excluirmos os casos particulares antes referidos (orientação da xistosidade e grau de alteração)

Como se pode observar, a ardósia pouco alterada se enquadraria como sendo rocha dura, mas rochas medianamente alteradas já seriam classificadas como sendo de 2ª categoria. Observa-se que o índice esclerométrico é muito sensível ao grau de alteração da rocha, variando de valores superiores a 100 para as ardósias sãs até valores abaixo de 30 para os xistos extremamente alterados.

No caso presente, onde o maciço se encontra muito pouco alterado, a escolha do martelo utilizado, cuja energia de percussão é de 2.207 Nm, mostrou-se muito adequado, em linha com o preconizado pelos fabricantes.

Por fim, a prática demonstrou ser necessária atenção às superfícies irregulares ou ásperas, pois podem fornecer resultados dispersos, o que no nosso caso levou a que alguns ensaios não pudessem ser aproveitados, quer por indicação do próprio equipamento (caso do equipamento Controls que faz automaticamente essa leitura – caso a dispersão dos valores passa o previsto na Norma (Europeia - EN 12504-2) o teste é considerado nulo) quer por aferição aos valores da Norma. Assim, e uma vez que, segundo a Norma, o principal fator de variabilidade dos ensaios numa mesma superfície é o seu estado, é conveniente a realização dos ensaios em superfícies devidamente preparadas e polidas (contudo, no caso da pedreira da Milhária, devido ao método de desmonte – fio diamantado - e às propriedades da rocha que ao clivar deixa superfícies muito limpa não houve necessidade de preparação especial das superfícies, que se ficou por uma mera limpeza de pó).

5.3.4.1.3. Conclusão

O martelo de Schmidt pode ser considerado um método complementar, útil para avaliações expeditas em trabalhos de campo, porém não substitui os demais métodos de investigação geotécnicos utilizados nas fases de projeto e construção.

Com o índice esclerométrico obtém-se informações a respeito da dureza superficial da rocha, fornecendo uma boa medida dessa grandeza, podendo ser feitas, ainda, correlações com as demais propriedades da rocha, como por exemplo, a sua resistência e/ou o módulo de elasticidade. O método mostra-se particularmente útil para estabelecer a comparação da dureza de rochas com um referencial.

A rocha testada apresentou valores médios de resistência de 130,54 Mpa para os 74 ensaios realizados, com um mínimo de 64,00 Mpa e um máximo de 205,96 Mpa com um desvio padrão de

30,33. Estes resultados tiveram origem nos ressaltos (“rebounds”) dos equipamentos que tiveram uma média de 47,05 com um máximo de 57,00 e um mínimo de 33,00 para um desvio padrão calculado em 4,99.

Estes valores foram trabalhados conjuntamente com os obtidos em laboratório em ensaios de carga efetuados em provetes de material com origem na mesma pedreira e cedidos gentilmente pela ELV. Desde logo se verificou que os resultados destes ensaios coincidem, em larga medida, com os anteriormente executados na mesma pedreira no que se refere aos valores encontrados e verificados nos arquivos da ELV.

Tal como, referido antes, o facto de se verificarem valores mais altos numa orientação perpendicular à xistosidade deve-se à maior resistência da rocha neste alinhamento em virtude das suas propriedades anisotrópicas.

Pelo contrário, os valores de resistência inferiores à média apurada verificaram-se em zonas de alteração relativa, ou de descontinuidades, como seria de esperar.

5.3.4.2. “Tilt test”

5.3.4.2.1. Introdução

Numa exploração de rocha, independentemente do propósito, torna-se essencial realizar uma avaliação criteriosa, nomeadamente no que concerne às suas descontinuidades.

Segundo Hu e Cruden (1992) o ângulo de atrito interno intrínseco ao maciço é essencial na avaliação da estabilidade de taludes criados pela atividade de exploração do maciço devido às combinações de descontinuidades com a superfície aberta que poderá originar blocos instáveis.

A forma de analisar a possibilidade de quedas desses blocos necessita igualmente da obtenção do ângulo de atrito interno das descontinuidades.

O ensaio "tilt test" é um teste destinado à verificação do ângulo de atrito interno, de fácil preparação de amostras e rápida execução, porém, teoricamente, não muito preciso. A partir deste ângulo e através da correlação com os resultados obtidos do ensaio do martelo de Schmidt (este ensaio, já abordado anteriormente), é possível avaliar o ângulo de atrito de base ϕ_b e o coeficiente de rugosidade, JRC (Barton, 1980).

A determinação do ângulo de atrito de uma descontinuidade poderá ser realizada em campo ou em laboratório.

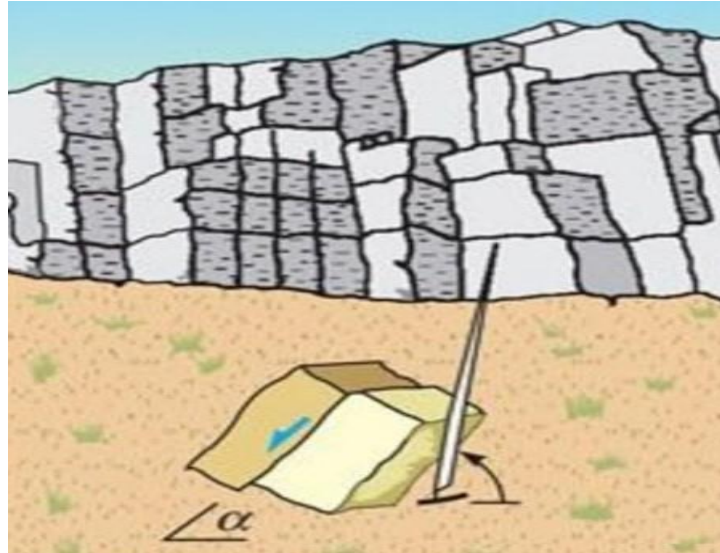


Figura 5.3 Ensaio de tilt test em campo (Adaptado de Geological Engineering, Vallejo & Ferrer, 2011).

No campo o ensaio consiste em (Vallejo et al., 2011):

- Colocar a amostra sobre uma superfície de apoio;
- Inclinar a superfície de apoio até que um fragmento amostra comece a deslizar em relação à superfície de descontinuidade;
- No momento em que se inicia o movimento medir o ângulo da superfície de apoio em relação à horizontal α .

Para realizar este ensaio em laboratório são necessários três tarolos. É de notar que o material fora da zona de fratura corresponde ao grau de alteração w_1 e que o corte realizado pelas sondagens se traduz uma superfície lisa, logo corresponde ao ângulo de atrito de base ϕ_b . Este ensaio (Vallejo et al., 2011) consiste em:

- Colocar dois tarolos paralelos sobre uma superfície horizontal;
- Colocar o terceiro tarolos sobre os outros dois;
- Inclinar a superfície onde se encontram apoiados os tarolos, até que haja movimento do tarolo que se encontra em cima;
- No momento em que se inicia o movimento medir o ângulo da superfície de apoio em relação à horizontal α .

No nosso caso, os ensaios desenvolvidos foram realizados no campo segundo a metodologia a seguir descrita e coincidente com o patenteado na Figura 5.3.

5.3.4.2.2. Procedimento

Para a realização deste teste, foram utilizadas placas de ardósia (em pares conjugados) e utilizou-se um empilhador e um "batente" que consistiu em uma ripa de madeira pregada ao solo, que impedia a placa inferior de se movimentar na horizontal mas, ao mesmo tempo, permitia o seu basculamento sobre esse mesmo ponto (Figura 5.4).



Figura 5.4 Realização de ensaio de tilt-test na pedreira da Milhária.

Os ensaios foram realizados colocando a segunda pedra, de dimensões semelhantes à inferior sobre esta. Seguidamente iniciou-se o basculamento das pedras até se obter deslizamento da superior, sendo esse movimento devidamente registado quer quanto ao deslocamento entre si, quer quanto ao ângulo em que ocorria, medido num transferidor instalado para o fim pretendido. As condições gerais do ensaio são a seguir resumidas:

- os ensaios foram efetuados com materiais da melhor qualidade, com origem nos locais da pedreira com interesse para este estudo;
- foram utilizadas placas com acabamento "aplainado" e "clivado" (na impossibilidade de fazer o ensaio com blocos que apresentassem descontinuidades reais, fraturas sem coesão, conforme se apresentam no maciço original), procurando simular as condições reais, mais adversas, em pedreira (fraturas no maciço com diferentes tipos de rugosidade), uma vez que, dificilmente, nas condições naturais se verificará uma situação em que as fraturas se apresentem tão "limpas", "planas" e isentas de rugosidades. Seria esta situação, pois, a de maior "risco" que, teoricamente, se nos poderia deparar num caso real;

- densidade da ardósia em avaliação: 2850 kg/m³ (valores fornecido pela ELV segundo ensaios anteriores registados no seu arquivo).

5.3.4.2.3. Conclusões

Os resultados obtidos nos 4 ensaios realizados são os patentes na tabela abaixo.

Tabela 5.2 Valores dos ensaios de campo - til test.

ensaio 1						
medidas da pedra superior (CxLxA) m			peso C*L*A*2850	deslocamento		ângulo
				inicial	nv	nv
2,708	1,095	0,034	287,33	final	> 30 mm	27º
ensaio 2						
nv - não verificado						
medidas da pedra superior (CxLxA) m			peso C*L*A*2850	deslocamento		ângulo
				inicial	nv	nv
2,708	1,095	0,034	287,33	final	> 30 mm	27º
ensaio 3						
medidas da pedra superior (CxLxA) m			peso C*L*A*2850	deslocamento		ângulo
				inicial	nv	nv
2,2	1,1	0,025	172,43	final	> 30 mm	28º
ensaio 4						
medidas da pedra superior (CxLxA) m			peso C*L*A*2850	deslocamento		ângulo
				inicial	6 mm	21º
2,2	1,1	0,025	172,43	final	> 30 mm	28º

Obs: Os ensaios 1 e 2 foram realizados com pedras "aplainadas". Os 3 e 4 com "clivadas".
O movimento "inicial", no ensaio 4, poderá dever-se a um ajuste devido ao clivado da pedra.
nv - não verificado

Conforme atrás exposto, ao utilizarem-se as placas disponíveis, com acabamento "liso" e perfeitamente planas corresponde às condições limite inferiores por não estarmos a refletir as condições reais da pedra em que as descontinuidades apresentam rugosidades, deflexões e ondulações diversas.

Assim sendo, os resultados obtidos dar-nos-ão uma aproximação àquilo que poderemos considerar as piores condições possíveis (embora não atingíveis) no maciço rochoso em estudo. Por tal, podemos considerar que os valores obtidos que rondam os cerca de 27º a 28º para o ângulo de atrito interno, estarão sempre num limiar inferior ao real, que, pela análise de dados complementares deverá rondar um valor bastante superior, poderá estar próximo dos 45º.

5.3.4.3. Ensaio de compressão simples (uniaxial)

5.3.4.3.1. Introdução

Na sequência de ensaios efetuados para aferição e verificação das propriedades da ardósia explorada na Pedreira da Milhária, realizaram-se no LGMC|ISEP, ensaios de compressão simples (uniaxial).



Figura 5.5 Ensaios de compressão simples: a) Controls Pilot C50-56 utilizada nos ensaios (LGMC|ISEP); b) Aspeto do equipamento de controlo durante ensaio; c) Aspeto da consola digital e impressora da prensa de ensaio.

Para o efeito recorreu-se a 10 amostras cedidas pela ELV, retiradas de um mesmo bloco proveniente da atual exploração. Estas amostras, de dimensões 50 x 50 mm, foram testadas na prensa do referido LGMC|ISEP (CONTROLS PILOT C50-C56_02 – Figura 5.5).

Este ensaio destrutivo permite determinar a carga de rotura, examinar a superfície de rotura de um provete sujeito a compressão simples bem como calcular o valor de tensão de rotura.

5.3.4.3.2. Procedimento de ensaio

Os trabalhos realizaram-se no LGMC|ISEP e iniciaram-se com a calibração e aferição de resultados para o que, dado o nº diminuto de provetes disponíveis, se fez com provetes gentilmente cedidos pelo LGMC. Por esse motivo inicialmente só se fizeram 2 ensaios (um perpendicular e outro paralelo à xistosidade) com saída direta de resultados na máquina (por fita impressa – ensaios nº 6 e nº 12). Após se chegar à calibração geral e adaptação do software específico, efetivaram-se os ensaios nos restantes provetes.

Podemos constatar, de imediato, que os valores para carga de rutura resultantes da aplicação da força uniaxial numa direção perpendicular à foliação (planos da xistosidade) são invariavelmente superiores aos que resultaram das aplicações de forças no sentido paralelo à xistosidade.

Embora fossem expetáveis tais resultados, a anomalia registada é mesmo a diferença verificada entre estes dois grupos que, em média, atinge valores da ordem dos 70%. Efetivamente, os ensaios realizados perpendicularmente à xistosidade registaram um valor médio de 131,46 MPa (para um máximo 150,08 MPa e um mínimo de 114,36 MPa) enquanto que, nos registados paralelamente à xistosidade, se obteve um valor médio de 92,30 MPa (num máximo de 103,92 MPa e um mínimo de 75,96 MPa).

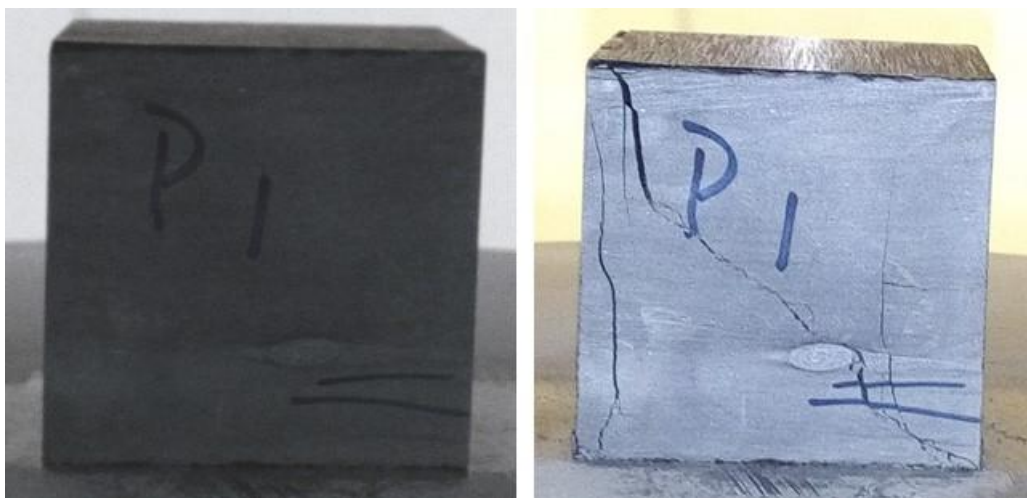


Figura 5.6 Cubo antes e após ensaio de compressão simples
(LGMC|ISEP, abril 2018).

Relativamente ao comportamento dos provetes, que foi o esperado, sendo que só no ensaio realizado com o provete nº 7 (ensaio efetuado paralelamente à xistosidade) foi observada uma fraturação mais intensa. Esse fator, tal como algumas das diferenças registadas nos restantes ensaios, independentemente da orientação da aplicação da carga, talvez se devam a algumas anisotropias nos cubos (algumas das quais invisíveis antes dos ensaios), nomeadamente a presença de nódulos piritosos (visível no provete nº1 – Figura 5.6)e, eventualmente, as próprias diferenças

no que toca aos planos de xistosidade (com origem em pequenas anomalias na estratificação original deste tipo de formações rochosas).

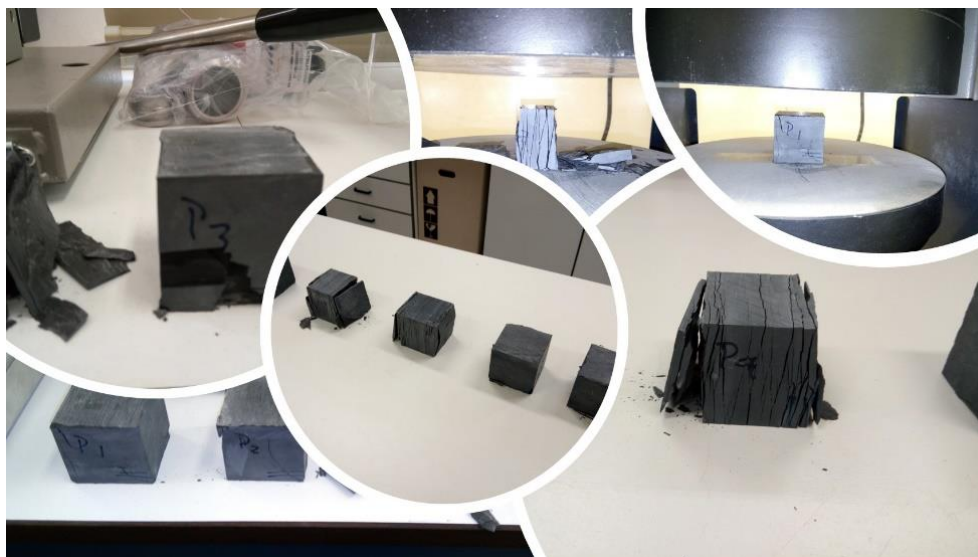


Figura 5.7 Cubos de ardósia ensaiados no LGMC|ISEP.

5.3.4.3.3. Análise e discussão dos resultados

Os provetes utilizados nestes ensaios apresentaram um peso que variou entre os 0,344kg e os 0,365kg, sendo que as medidas das arestas não apresentavam variação superior a 1mm por face. Apesar de todos os provetes testados terem origem numa mesma amostra de pedra da Pedreira da Milhária, notavam-se algumas diferenças físicas, notoriamente resultantes da anisotropia normal neste tipo de rocha - ardósia. Desde logo, e como esperado, a diferença resultante da orientação da xistosidade. Mas, mesmo nesse particular, mais evidente numas amostras, que noutras. Outra particularidade prende-se, eventualmente, com a presença de alguns nódulos piritosos (material mais duro e sem clivagem) que poderão ter tido influência nos resultados. Por último notou-se que as faces não estavam absolutamente paralelas (embora, neste caso, e dadas as condições da prensa utilizada no ensaio, que possuindo pratos oscilatórios amenizava esse fator, tornando diminuto valor de falta de paralelismo observada pelo que não tenha considerado para efeitos de cálculos). Apresentam-se, na Tabela 5.3, os resultados obtidos nos ensaios de compressão simples. Os valores registados nos ensaios realizados mostraram-se em linha com o esperado para este tipo de rocha e para a orientação da carga aplicada relativamente à orientação da xistosidade. Deste modo, os valores da carga de rotura aplicados quando numa orientação perpendicular à xistosidade foram, em média de 131,46 MPa, com um mínimo de 114,36 MPa e um máximo de 150,08 MPa. No que toca à carga aplicada, variou entre os 375,20 KN e os 285,9 KN.

Tabela 5.3 Resultados dos testes de carga uniaxial, em laboratório.

Provete	peso (g)	densidade (Kg/m ³)	ori. da carga rel. à Xistosidade	carga rutura (MPa)	Carga aplicada (KN)
1	347	2776	perpendicular	116,18	290,45
2	347	2776	perpendicular	114,36	285,9
3	350	2800	perpendicular	122,87	307,17
4	344	2752	perpendicular	142,65	356,63
5	349	2792	perpendicular	140,15	350,39
6	365	2920	perpendicular	150,08	375,2
7	347	2776	paralela	103,92	259,79
8	347	2776	paralela	91,17	227,92
9	348	2784	paralela	100,68	251,69
10	359	2872	perpendicular	133,91	334,78
11	353	2824	paralela	75,96	189,91
12	365	2920	paralela	89,76	224,4

Para as cargas aplicados numa orientação paralela à xistosidade os valores obtidos foram, em média de 92,30 MPa, com um mínimo de 75,96 MPa e um máximo de 103,92 MPa. Relativamente à carga aplicada, variou entre os 103.92 KN e os 189.91 KN, respetivamente.

Avaliaram-se, seguidamente as superfícies de rutura. Foram as esperadas para estes materiais ardosíferos, apresentando-se com fraturação mais intensa quando a carga foi aplicada paralelamente à xistosidade, demonstrando uma maior fragilidade quando a força é aplicada nessa direção.

Note-se que nos ensaios 6 e 12 os resultados foram recolhidos através da impressora acoplada ao painel de controlo e que nos restantes ensaios se optou pela recolha da informação e controlo da máquina a partir de um computador portátil no qual estava instalado o software específico para o efeito.

Refira-se, ainda, que o ensaio 7 aparece na folha de ensaio nomeado como 3, por lapso, embora os restantes valores estejam corretos (como se poderá verificar pelos diferentes valores do peso da amostra e valores resultantes do ensaio).

5.4. Ficha de classificação de taludes (frentes da pedreira)

Chegados a este ponto e atendendo à especificidade do local de estudo, verificamos que todas classificações que pudessemos imputar à frente de trabalho não ficariam completas sem uma avaliação do ponto de vista daqueles que, diariamente, trabalham nas zonas em estudo.

Assim, optamos por elaborar uma ficha de recolha de dados (parâmetros) indicativos do estado geral do maciço na frente de trabalho, talude, de tal forma que, ao cruzar esses dados com outras

informações relevantes, ou aplicações informáticas, possamos chegar a conclusões fundamentadas relativamente ao estado do maciço e sua capacidade de suporte, avaliando desde logo as possibilidades de mitigação de risco, caso seja detetada alguma anomalia, ou mesmo, a sua ocorrência. A ficha elaborada está parcialmente representada (7 dos 28 parâmetros) na Figura 5.8 e presente (na sua integralidade) no Anexo 7.

FICHA DE CARATERIZAÇÃO DE FRENTE DE TRABALHO

ultima inspeção: / /

DATA / /

Local	
Orientação e extensão da frente	
Coordenadas GPS (centro da frente)	

1	Ângulo do talude (°)	<50	Baixo 50 - 60	Médio 60 - 75	Alto 75 - 90	Muito alto >90 numa dimensão> H5
	observações					
2	Altura do talude (m)	<25	25 - 35	35 - 45	45 - 55	>55
	observações					
3	Rugosidade das juntas	Muito rugosas	Rugosas	Levemente rugosas	Macias	Escorregadias
	observações					
4	Número de famílias de descontinuidades presentes	0	1 a 2	3 a 4	4 a 5	>5
	observações					
5	Orientação das juntas e/ou famílias no talude	Favorável à estabilidade	Moderada	Pouco adversa	Adversa	Muito adversa
	observações					
6	Persistência das descontinuidades no talude (m)	Muito baixa >10m	Baixa 10 - 5m	Moderada 5 - 3m	Alta 3 - 1m	Muito alta <1m
	observações					
7	Abertura das descontinuidades no talude (mm)	Sem abertura	Muito baixa < 0,1	Moderada 0,1 - 1	Significativa 1 - 5	Muito significativa > 5
	observações					

Figura 5.8 Ficha de classificação de taludes.

Capítulo VI

Análise da estabilidade dos taludes da pedreira da Milhária

(página propositadamente em branco)

6. Análise da estabilidade dos taludes da pedreira da Milhária

6.1. Considerações iniciais

Tendo por base os elementos recolhidos no âmbito do exposto nos capítulos anteriores apresenta-se neste a análise da estabilidade dos taludes em apreço. Nesta análise, partindo das caracterizações de campo e das classificações geomecânicas dos hasteais efetua-se a sua modelação numérica por recurso ao programa de cálculo automático SWEDGE (v6.0).

Adicionalmente, e com base caracterização dos riscos locais, efetua-se a análise de risco dos taludes da pedreira da Milhária.

6.2. Classificações geomecânicas

Seguidamente apresenta-se uma síntese da classificação geomecânica dos taludes da pedreira da Milhária. Atendendo à especificidade desta unidade uma vez que estamos a trabalhar num talude de uma pedreira de rocha ornamental, logo, à partida, com boas características geomecânicas, julgaram-se determinantes os seguintes fatores:

6.2.1. Resistência à compressão simples

Para avaliarmos este parâmetro submeteram-se algumas amostras a testes de carga uniaxial e realizou-se uma campanha de testes esclerométricos na pedreira, cujos resultados foram os já anteriormente apresentados na Tabela 5.1 podendo referir-se os valores médios de 139,71 MPa e 109,66 Mpa, respetivamente perpendiculares e paralelos à xistosidade.

6.2.2. Ângulo de atrito interno das discontinuidades

Procurou-se determinar este parâmetro por meio de um ensaio de tilt test realizado na pedreira. Como exposto no capítulo anterior, devido aos condicionalismos do próprio ensaio, o valor mínimo determinado rondou os 28º. No entanto, para efeitos dos cálculos seguintes considerou-se que este parâmetro obedecerá a uma lei de variação com valores médios da ordem dos 45º.

6.2.3. Grau de fraturação

Este parâmetro, observado desde o início dos trabalhos de recolha de elementos, patenteou que o maciço, de uma forma geral, não apresenta mais de três famílias de discontinuidades na área comum de um bloco de desmonte. Aliás, bem pelo contrário, verifica-se serem poucos, e bem localizados, os locais em que tal se verifica. Estes elementos poderão ser visualizados nos documentos anexos, que nas fotos da pedreira quer nas tabelas de elementos recolhidas no “scanline” inicial.

6.2.4. GSI – índice de resistência geológica

Este parâmetro foi adquirido a partir das observações de campo, registadas nas fichas criadas para o efeito e submetidas à tabela abaixo, em que foram já assinaladas a áreas correspondentes às observações realizadas no terreno (Tabela 6.1).

Verifica-se, assim, que os índices das observações realizadas e introduzidas na tabela referida vieram a revelar um índice médio que consideramos, ainda que de forma algo conservadora, ser de 84, o que, de acordo com a Tabela 6.2 classifica o maciço como *muito bom* .

Tabela 6.1 Valores de GSI determinados para a pedra da Milhária.

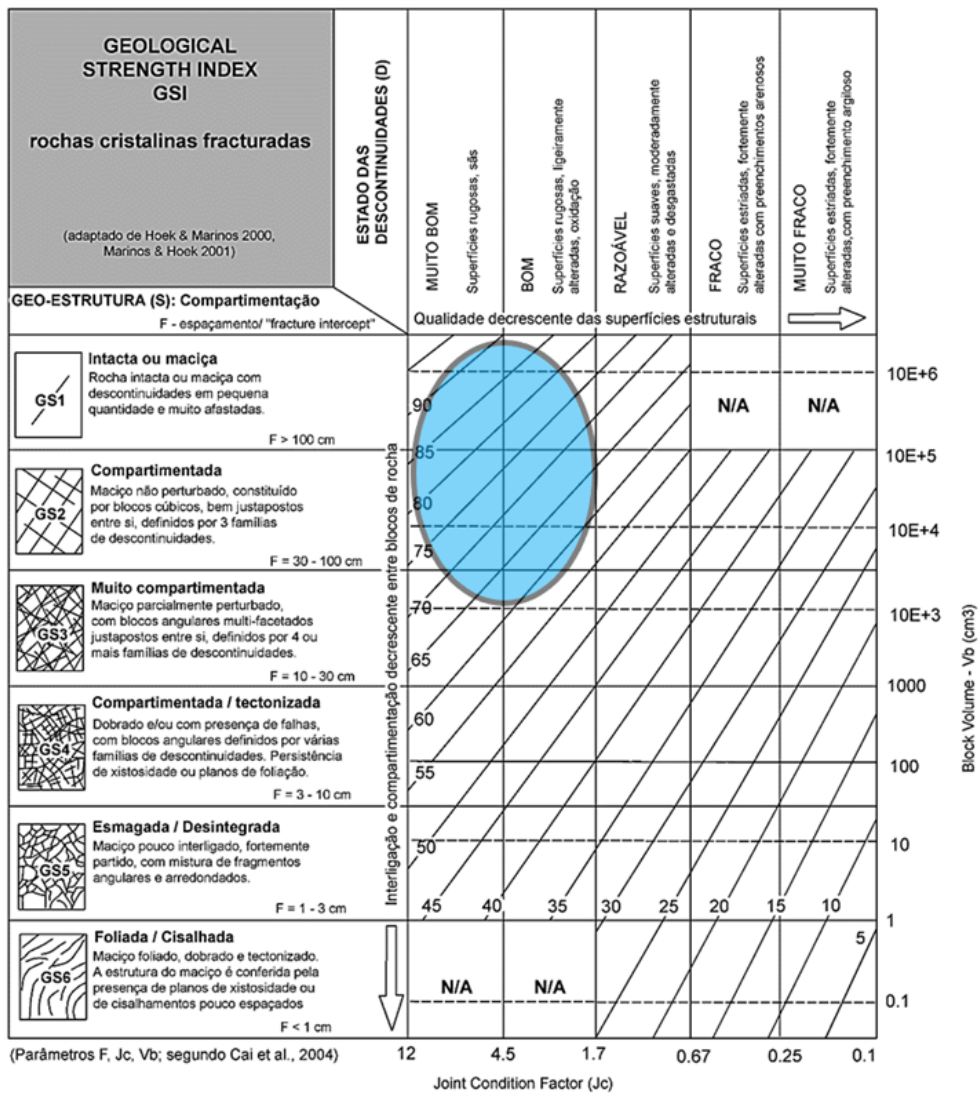


Tabela 6.2 Classes do maciço rochoso de acordo com o valor do GSI obtido.

GSI	95 - 76	75 - 56	55 - 36	35 - 21	<20
Qualidade do maciço rochoso	Muito bom	Bom	Razoável	Mau	Muito mau

6.2.5. Coesão

No que a este fator diz respeito, após os trabalhos de campo, logo se verificou que as descontinuidades presentes, na sua esmagadora maioria, não tinham preenchimento.

Assim, admitiu-se para o desenvolver do trabalho que este valor poderia ser considerado nulo para o maciço em estudo.

6.3. Modelação numérica

6.3.1. Parâmetros de projeto

De acordo com o definido por Hoek e Bray (1977), uma rutura planar ocorre quando uma descontinuidade geológica, tal como plano de falha, mergulha paralelamente em direção à face do talude, intercetando-o e com uma inclinação superior ao ângulo de atrito. As seguintes premissas segundo Hudson e Harrison (1997) e Duncan (2004) deverão ser consideradas para que ocorra um deslizamento planar (Figura 6.1):

- A inclinação da face do talude deverá ser superior a inclinação do plano da descontinuidade e este superior ao valor do ângulo de atrito;
- Não há resistência ao deslizamento nos limites laterais de rocha sã;
- A fatia a ser analisada é feita perpendicularmente à face do talude e tem espessura unitária - 1m;
- A direção de mergulho do plano de rutura deve ser paralela ou aproximadamente paralela (± 20 graus) à face do talude. O fator de segurança de uma rutura do tipo planar é calculado após a determinação de todas as forças que atuam sobre o talude em componentes paralelas e normais ao plano de deslizamento. Os detalhes desta formulação poderão ser obtidos em Hoek e Bray (1977).

O dimensionamento pelo método tradicional, ou melhor, determinístico considera para todas as variáveis de entrada, valores fixos e definidos a partir de dados recolhidos em trabalhos de campo, referências bibliográficas ou até mesmo pela experiência do responsável pela análise. Posteriormente são desenvolvidas análises paramétricas para avaliação da sensibilidade do fator de segurança à variação de cada parâmetro. Portanto, neste tipo de análise, cada parâmetro é considerado individualmente.

Alternativamente, poderá seguir-se uma abordagem do tipo probabilística em os parâmetros apresentam uma variação segundo uma determinada lei estatística. A lei de distribuição mais simples é a uniforme que ocorre quando cada ponto do seu domínio é igualmente provável.

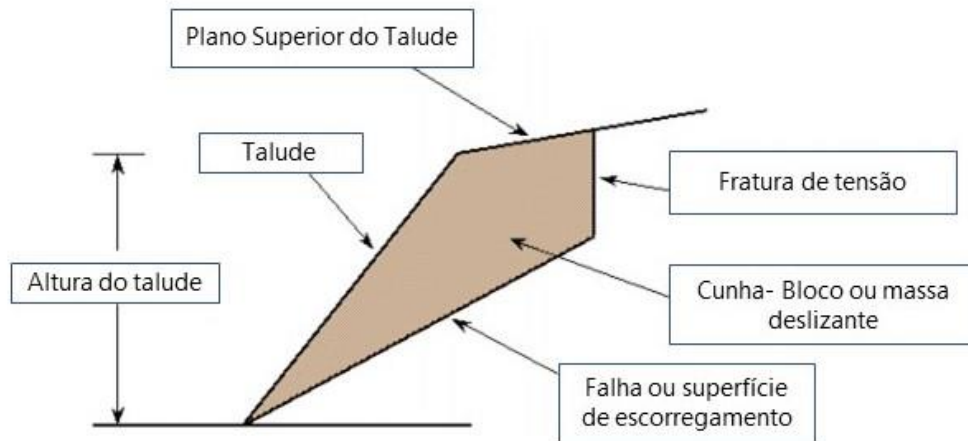


Figura 6.1 Cunha em talude; Geometria planar típica (adaptado de Hoek e Bray, 1981).

Priest e Brown (1983), Pinheiro (1993) e Hoek (1998) também propuseram o cálculo da estabilidade de taludes utilizando esta mesma abordagem aleatória, porém variando um par de parâmetros de cada vez e assumindo distribuições de probabilidade do tipo Normal para cada parâmetro de entrada. Esta recomenda-se aplica-se essencialmente aos casos em que o número de informações recolhidas seja suficientemente grande.

Dada a variabilidade esperada dos parâmetros geológicos e às vezes insuficiente quantidade de dados obtidos durante os trabalhos de recolha de informação em campo e laboratório, no caso em estudo, propõe-se a utilização de uma distribuição uniforme.

Tabela 6.3 Parâmetros geotécnicos utilizados no presente projeto.

Parâmetro	Valor		
	médio	limite inferior	limite superior
Peso específico da rocha (kN/m ³)	2,8	2,7	2,9
Ângulo de talude (°)	62	55	67
Coefficiente de rutura Uniaxial (Mpa)	130,54	64,00	205,96
Ângulo de atrito básico - ϕ_b (°)	35	25	50

6.3.2. Modelação numérica em programa dedicado de cálculo automático

6.3.2.1. Programas da Rocscience, considerações prévias

As avaliações de campo revestem um carácter determinante no que se refere à fundamentação do estudo de um maciço rochoso.

Neste caso em particular, procurou efetuar-se um significativo número de visitas de campo, observando, em cada uma destas, pormenores que permitiram avaliar o objeto de estudo com o detalhe julgado conveniente ao caso em apreço.

Deste modo, as avaliações de campo permitiram caracterizar os taludes rochosos da pedreira da Milhária, na sua globalidade, mas com particular ênfase no hasteal mais a norte, com uma orientação geral aproximada de N145°E. Os taludes apresentavam uma altura média de 35 m, evidenciando declives acentuados com ângulos de cerca de 55° a 65°, ou mesmo superiores. Concretamente, o talude objeto deste estudo, sendo o situado mais junto à oficina de transformação, e constituindo a atual frente de trabalhos na pedreira, desenvolve-se ao longo de cerca de 125 metros nos quais foram executados dois perfis de “scanline”, cujos dados foram a base das modelações numéricas. Apresenta uma área de exposição de cerca de 4000 m², sendo a drenagem da pedreira assegurada por bombagem para poços inativos, nos quais se depositam os finos e clarifica a água para novo ciclo de utilização.

Em seguida fez-se o *zonamento geotécnico*, que consiste, de uma forma simplificada, na divisão do objeto alvo de estudo (frente do talude) em diversos sectores ou zonas, em função de algumas características diferenciadoras das mesmas. Esta divisão é muito útil para o trabalho a efetuar, visto permitir através de uma análise expedita, identificar as zonas mais críticas e que poderão vir a necessitar de intervenção.

Para a determinação da qualidade geotécnica do talude procedeu-se, então, ao cruzamento de toda a informação geológica, geotécnica e geomecânica proveniente das avaliações efetuadas no decorrer dos trabalhos de campo. Neste particular, como já referido, recorreu-se à técnica de amostragem linear, também designada de *scanline* (e.g., Priest, 1993; Chaminé & Gaspar, 1995; Chaminé et al., 2013, 2015). Seguiram-se, também, as recomendações propostas pelo ISRM (1978, 1981) e da CFCFF (1996), bem como as boas normas para o estudo da geotecnia de taludes e da geomecânica de maciços rochosos (e.g., Hoek & Bray, 1981; Wyllie & Mah, 2004; Alejano et al., 2012; Wyllie, 2014; Aydin, 2015).

O talude alvo deste estudo, foi dividido, numa primeira fase em dois perfis de *scanline* e, mais tarde em 13 zonas geotécnicas, alvo de estudo separado, como veremos mais adiante. No global, o maciço rochoso estudado pode classificar-se, relativamente ao grau de alteração, como medianamente a pouco alterado (W1-2).

Durante o processo de levantamento foram contabilizados um total de 148 planos de descontinuidade (72 no talude “avessas”), tratando-se na sua esmagadora maioria de diaclases.

Adquiridos que foram os valores de parametrização dos taludes presentes na pedreira da Milhária e objeto do nosso estudo, nomeadamente as suas dimensões em termos de comprimento e altura, ângulo de talude, ângulo da superfície no topo do talude e a orientação espacial das descontinuidades presentes, e com possível influência no comportamento do talude, partiu-se para uma análise numérica.

Para o efeito, recorreu-se a programas de cálculo numérico da Rocsciense (DIPS v7.0 e SWEDGE v6.0) nos quais se foram introduzindo sucessivamente os valores correspondentes aos elementos recolhidos na pedreira, obtendo no programa Dips a orientação média das famílias mais significativas presentes. Depois, fazendo variar os valores, no programa Swedge, para os planos médios das famílias definidas pelo processamento no programa Dips, relativamente aos valores de coesão e ângulo de atrito interno (ver Anexo 8).

Na realidade, ao encontrarem-se as famílias e consequentes planos médios mais representativas das descontinuidades medidas, verificou-se que, no programa Dips, se determinaram os referidos planos médios destas famílias de descontinuidades, não surgiam valores e resultados que pudessem, aparentemente, pôr em causa a estabilidade do maciço. Por esse motivo e como poderá ser constatado nas Figuras 6.3 e 6.4, houve a necessidade de particularizar o zonamento e fazer a determinação de planos de famílias e/ou descontinuidades isoladas que pudesse assegurar valores tais que pudessem ser trabalhados no programa Swedge, sob pena de se trabalhar sempre com valores de FS muito elevados.

6.3.2.2. DIPS v7.0

No âmbito da geologia de engenharia, o estudo das técnicas de projeção estereográfica passa pela utilização de programas informáticos que permitem realizar análises estatísticas de dados geológicos recolhidos no campo, nomeadamente, as orientações de superfícies de descontinuidades observadas *in situ* e em sondagens. O programa DIPS, no nosso caso usamos a versão 7 (v7.0), desenvolvido pela *Rocscience*, é um dos mais utilizados para o tratamento estatístico de dados geológicos de descontinuidades e identificação preliminar de situações potenciais de instabilidade estrutural de maciços rochosos.

A *Rocscience* é uma empresa dedicada a aplicações de cálculo automático para geotecnia. Teve a sua fundação a partir de um grupo de investigadores da universidade de Toronto, Canadá em 1996. O ficheiro de dados do programa DIPS, por defeito, é aberto numa tabela tipo Excel com 100 linhas e 3 colunas com títulos ID, Dip (β ou Ψ) e Dip Direction (α) em que cada linha corresponde a um registo obtido por medição da orientação de um plano de descontinuidade em campo (β/α).

ID é o número de registo, Dip é a inclinação, pendor ou mergulho do plano e Dip Direction é o azimute da reta de maior declive desse plano. Os dados podem ser introduzidos manualmente ou copiados diretamente de um ficheiro Excel. A inclinação β (dip) varia entre 0 e 90º e o azimute α (dip direction) varia entre 0 e 360º.

Introduzidos nos dados, o programa DIPS devolve-nos projeções estereográficas representativas dos dados inseridos podendo, então, ser observadas projeções de polos normais aos planos registados, planos das discontinuidades e suas famílias.

O DIPS permite também a análise dos diferentes modos de rutura. Para isso, os parâmetros de resistência ao corte e deslizamento, tal como a orientação dos planos de discontinuidades, variam dentro de uma mesma família sendo necessário proceder a uma análise estatística das situações de instabilidade para determinar a percentagem de risco associada a essa família. Na análise determinística o procedimento é mais simples e são determinados valores médios para a orientação e parâmetros de resistência de uma família de discontinuidades.

Por exemplo, o deslizamento em cunha será possível ao longo da linha de intersecção de dois planos de discontinuidades se a inclinação desta linha for inferior à do plano do talude ($\beta_{\text{talude}} > \beta_{\text{intersecção}}$).

A mesma análise pode ser feita comparando as posições dos traços ciclográficos dos planos do talude e das discontinuidades (Teste de Markland). Para isso o ângulo de atrito é representado por um círculo, como pode ser observado na Figura 6.2.

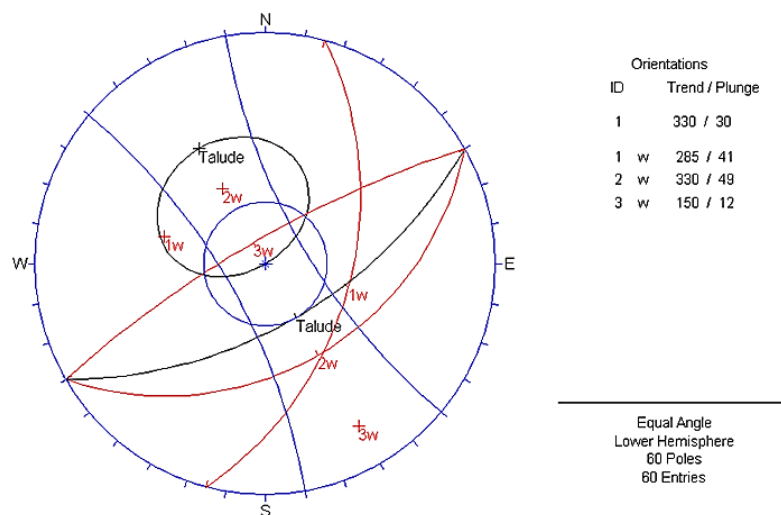


Figura 6.2 Exemplo de representação de deslizamento planar (www.rocscience.com)

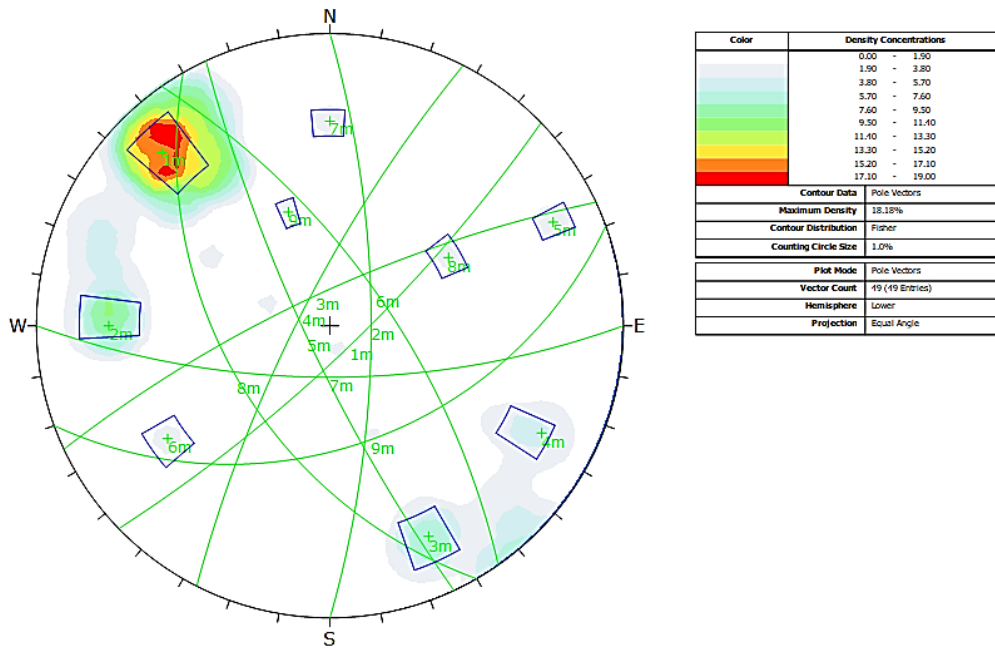


Figura 6.3 Planos médios das famílias de descontinuidades determinados no programa DIPS–perfil 1.

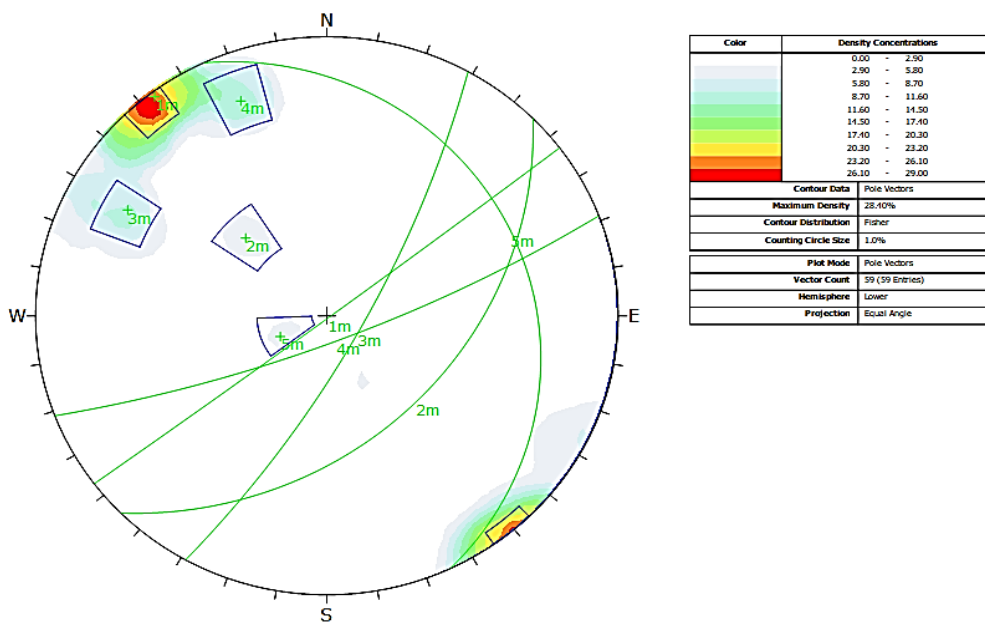


Figura 6.4 Planos médios das famílias de descontinuidades determinados no programa DIPS–perfil 2.

Na seqüência dos levantamentos efetuados na Tabela 6.3 apresentam-se os planos médios das descontinuidades obtidos com o software DIPS.

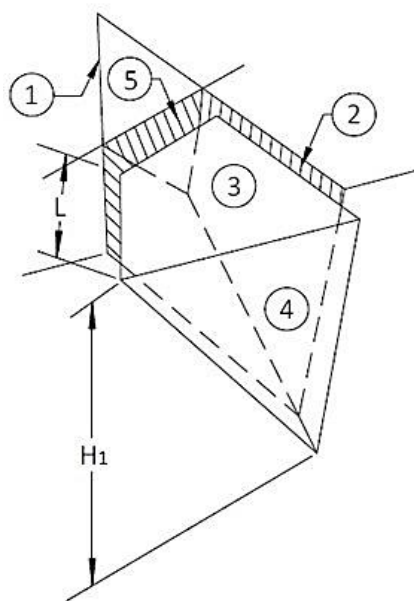
Tabela 6.4 Planos médios determinados no DIPS a partir dos trabalhos de campo.

Planos médios das descontinuidades determinados no DIPS								
Perfil 1	Plano	DIP	DIP_DIR	Perfil 2	Plano	DIP	DIP_DIR	
	1	79	136		1	89	143	
	2	74	90		2	43	135	
	3	77	335		3	76	119	
	4	78	297		4	79	159	
	5	80	245		5	20	65	
	6	68	55					
	7	70	80					
	8	50	240					
	9	45	160					

6.3.2.3. SWEDGE v6.0

Uma das aplicações mais bem-sucedidas da *Rocscience* é, sem dúvida, o *Swedge* que é um programa de cálculo automático de modelação geotécnica, desenvolvido por essa entidade e que permite avaliar a geometria e a estabilidade de cunhas superficiais em taludes rochosos. Estas cunhas são sempre definidas pela intersecção de, pelo menos, dois planos de descontinuidade (poderão ser três ou mesmo mais!), pelo topo e plano da encosta. Poderão, ainda, ser considerados um plano de corte basal e uma tensão de rotura opcional (ver Figura 6.5).

Este programa de cálculo automático, em virtude de ter a mesma origem, a *Rocscience*, tem a grande vantagem permitir a importação das atitudes das descontinuidades provenientes do programa *Dips* que é, também ele, um software desenvolvido pela empresa canadiana e que permite, de uma forma expedita e muito célere, que mediante a introdução das atitudes referentes a cada um dos planos, a obtenção das projeções estereográficas dos diferentes planos de descontinuidade.



Legenda

1 – Plano de descontinuidade 1

2 – Plano de descontinuidade 2

3 – Topo da escarpa

4 – Face da escarpa

H_1 – Distância compreendida entre a linha de interseção dos planos de descontinuidade e o topo da escarpa

L – Distância compreendida entre a face da escarpa e a tensão de ruptura

Figura 6.5 Esquema característico de uma cunha (www.rocscience.com).

O Swedge, oferece um vasto conjunto de opções de análise, das quais podemos realçar a análise determinística, a probabilística e a de combinações. Relativamente à análise determinística, este programa calcula o fator de segurança de uma cunha específica tendo por base a análise de parâmetros conhecidos (a atitude dos planos de descontinuidade, do talude, ...).

No que concerne à análise probabilística, a introdução de dados estatísticos específicos, pode ser efetuada tendo em consideração a incerteza da orientação da junta, a resistência, entre outros parâmetros, sendo ainda calculada a probabilidade de falha (PF). Para além disso, este método de análise dispõe, em opções, de diferentes tipos de distribuições estatísticas, tais como: distribuição normal, uniforme, triangular, beta e exponencial.

Já para uma análise por combinações, o Swedge procede ao cruzamento dos dados relativos às atitudes de todas as descontinuidades consideradas, devolvendo o número de cunhas formadas e/ou número de cunhas potencialmente instáveis, permitindo, ainda, a avaliação individualizada de cada uma das cunhas calculadas pelo programa.

Para além das respetivas atitudes, na caracterização das descontinuidades, devem ser tidos em conta fatores tais como a coesão, ângulo de atrito e rugosidade referentes a cada um dos planos de descontinuidade.

Do mesmo modo, o Swedge prevê a aplicação de pregagens em rocha, betão projetado, ou pressões de suporte com a finalidade de incrementar o fator de segurança (FS) de cunha. Podem ser facilmente modeladas, através de introdução de dados no programa, forças estabilizadoras,

resultantes da pressão da água, ações sísmicas ou, até, outras forças externas (p.e. cargas circulantes).

O comportamento ao corte das descontinuidades contempla diversos modelos como, por exemplo o de *Mohr-Coulomb*, com possibilidade de ser definido um ângulo de junta oscilatório.

Independentemente do tipo de análise, o *Swedge* disponibiliza informações relevantes (peso, volume, orientações dos planos de descontinuidade, projeção estereográfica), referentes à cunha em apreciação. Permite, ainda, a sua exportação através de um relatório detalhado com toda a informação que se julgue pertinente para uma adequada caracterização da cunha.

Finalmente, o *Swedge* possui uma função que permite o dimensionamento das bancadas em função das cunhas estudadas por forma a garantir vias de circulação e plataformas de trabalho seguras.

As modelações dos taludes da pedreira da Milhária iniciaram-se com um estudo de retro análise, realizado no *Swedge*, para verificação da consistência dos resultados obtidos e calibração dos diversos parâmetros intervenientes nos cálculos. Seguidamente passou-se à verificação dos valores do fator de segurança (FS) numa análise determinística e do valor de probabilidade de falha (PF), numa análise probabilística, em que, depois de se testarem as várias opções disponíveis no programa se adotou uma análise baseada numa distribuição uniforme, por ser aquela que fornecia valores mais consistentes e “menos otimistas” no que toca aos valores de FS e PF determinados por esses cálculos.

Após a execução de baterias de simulações relativas às famílias que poderiam apresentar valores tais que tivessem que ser contabilizados para a análise da segurança do talude (correram-se no *Swedge* os valores dos planos, foram-se fixando as que apresentavam resultados que mereciam mais atenção, passando-se, então, a testes com variação do ângulo de atrito interno e coesão).

Desde logo se verificou que os valores da coesão, para a gama que se pretendia testar, e pela observação do maciço em que as descontinuidades, na sua esmagadora maioria, não apresentavam qualquer tipo de preenchimento, não tinha influência significativa nos valores de FS e PF obtidos. Por esse motivo, nas simulações finais, reduziu-se este valor a zero, para uma simplificação dos testes a realizar.

Relativamente ao valor de ϕ (ângulo de atrito interno), após as conclusões retiradas dos ensaios efetuados, particularmente o *tilt test*, e as observações locais na pedreira e experiência adquirida pela ELV, adotou-se, para a variação dos testes valores entre os 25º e os 50º. Tais valores resultam das conclusões do ensaio de *tilt test* que apontou para valores acima dos 27º mas com a particularidade de ter sido efetuados com pedra transformadas e com acabamentos impossíveis de encontrar na natureza, pelo que os valores arbitrados de até 50º nos pareceram plausíveis, o que se veio a confirmar no decorrer das simulações iterativas de retro análise realizadas, como poderá ser observado mais à frente.

6.3.2.4. Análise Determinística do talude em estudo

Com base nos considerandos antes explanados, passou-se, então, para a análise no programa *Swedge* da *Rocscience*.

Inicialmente, foi escolhida a abordagem determinística, não só por ser a aconselhada para situações idênticas, por defeito, mas igualmente por ser aquela que melhor se poderia coadunar com a realidade verificada na pedreira (Figura 6.6).

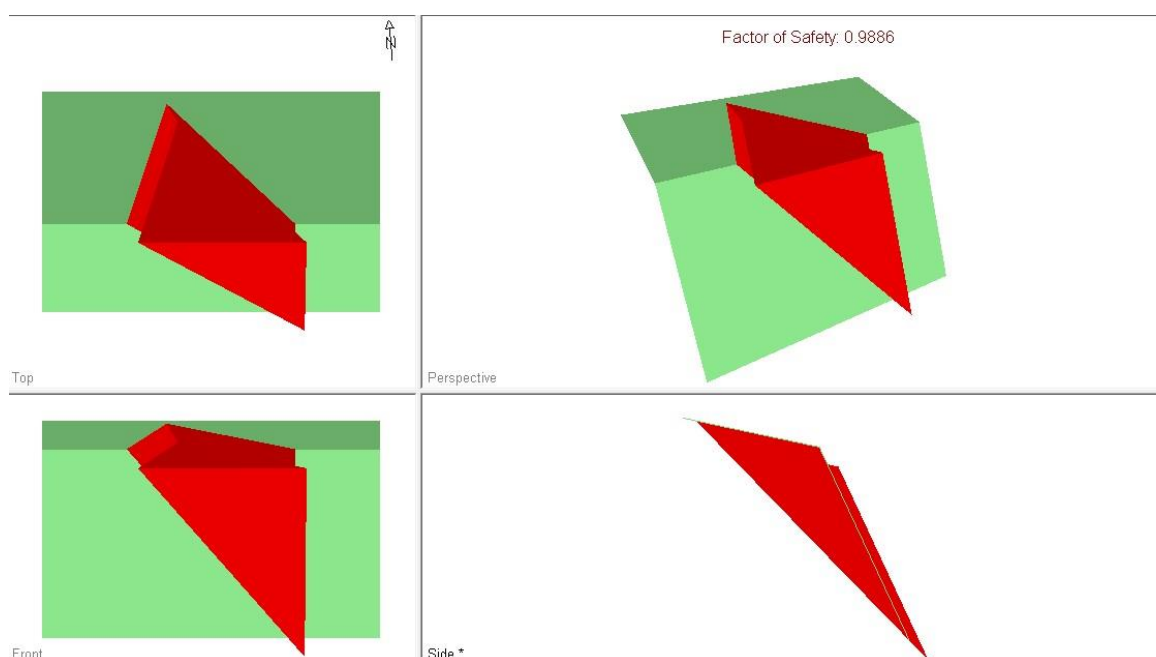


Figura 6.6 Swedge – pormenor da análise determinística.

Desta análise, verificou-se que ao serem introduzidas as famílias de descontinuidades mais representativas e presentes no maciço estudado, o programa devolvia, quase de forma invariável, fatores e segurança (FS) superiores à unidade e assim classificando o maciço como “estável”.

Deste modo e aprofundando o estudo, fizeram-se simulações em que se foram introduzindo famílias com menor densidade de presença no maciço, mas cuja interferência pudesse causar “distúrbios” no equilíbrio geral do talude em apreço.

Foi deste modo que se conseguiu identificar alguns casos, particulares, em que as orientações de famílias “secundárias” poderiam originar cunhas com fatores de segurança inferiores à unidade e, deste modo, a carecer de atenção. Nas Tabela 6.4 e 6.5 é apresentada uma síntese dos resultados obtidos neste tipo de modelações, respetivamente para os casos do Perfis 1 e 2.

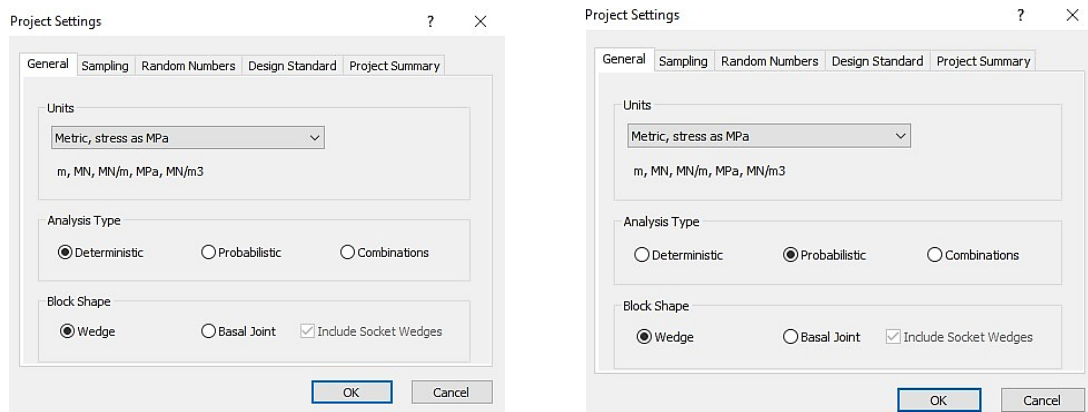


Figura 6.7 Configuração do Swedge para análise pretendida

6.3.2.5. Análise Probabilística do talude em estudo

Com o decorrer dos trabalhos e tendo sido realizada a análise determinística e na sequência de avaliações desenvolvidas em paralelo (p.e. de avaliação de risco) entendeu-se necessário complementar as análises determinísticas efetuadas com uma bateria de simulações probabilísticas, que surgem como opção no *Swedge* de forma a dar consistência ao estudo efetuado (Figura 6.8).

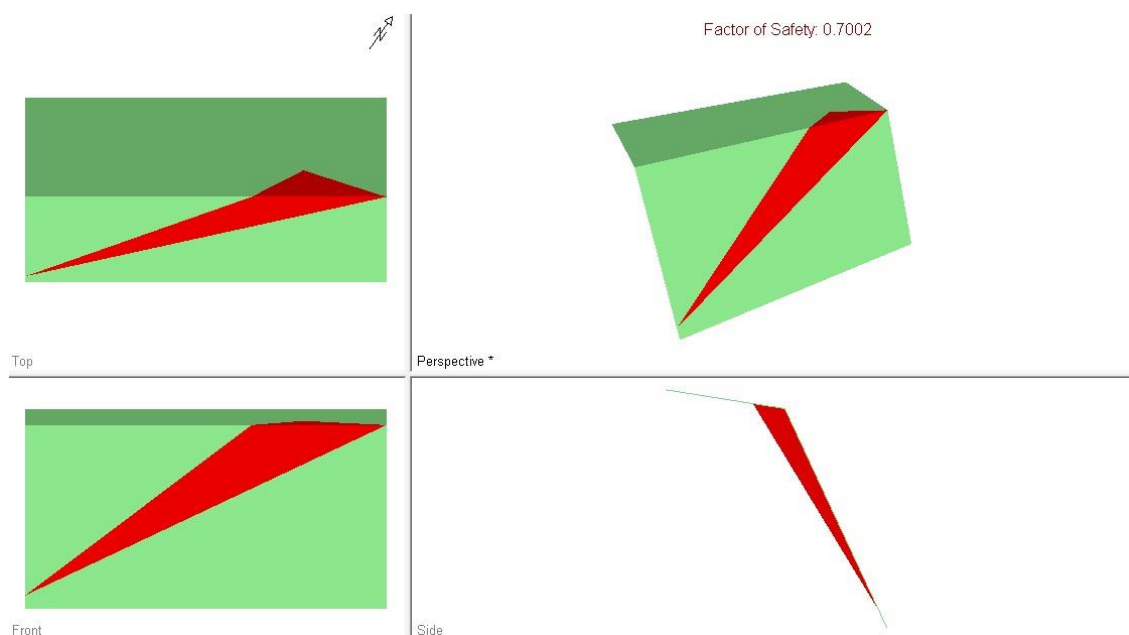


Figura 6.8 Swedge – pormenor da análise probabilística

Tal como anteriormente, as Tabelas 6.4 e 6.5 refletem as simulações, seguindo uma abordagem probabilística, efetuadas entre dois dos planos médios das famílias obtidas através do DIPS respetivamente para o Perfil 1 e 2. Após várias iterações escolheram-se estas por, aparentemente, serem as que poderão vir a proporcionar mais questões de estabilidade (consultar Anexo 8).

Tabela 6.5 Análise numérica no perfil 1 (Swedge v7.0).

PERFIL 1	Talude		Face superior		altura	33m
	Dip	65	Dip	9	comprimento	65m
	Dip Dir	145	Dip Dir	145		PV
	Juntas		1		2	
	Dip (°)		45		78	
	Dip Dir (°)		160		297	
	Ø		Análise Determinística		Análise Probabilística	
	25		0,4663		0,6000	
	30		0,5774		0,5333	
	35		0,7002		0,4667	
40		0,8391		0,4000		
45		1,0000		0,3999		
50		1,9175		0,3999		

Tabela 6.6 Análise numérica no perfil 2 (Swedge v7.0).

PERFIL 2	Talude		Face superior		altura	40m
	Dip	65	Dip	9	comprimento	59m
	Dip Dir	145	Dip Dir	145		PV
	Juntas		1		2	
	Dip		79		43	
	Dip Dir		159		135	
	Ø		Análise Determinística		Análise Probabilística	
	25		0,5001		0,5609	
	30		0,6191		0,6579	
	35		0,7509		0,5609	
40		0,8998		0,4645		
45		1,0724		0,3591		
50		1,2780		0,2605		

6.4. Análise de risco

6.4.1. Introdução e metodologia desenvolvida

Na sequência dos estudos anteriores desenvolveu-se seguidamente uma análise de identificação dos riscos, e respetivos impactos, presentes nos hasteais em estudo com vista à identificação de eventuais medidas para sua mitigação de acordo com a metodologia a seguir exposta.

Nestes pressupostos, foi conduzida uma nova campanha de observações, desta vez meramente visuais, mas com objetivos muito concretos de detetar todo e qualquer sinal de instabilidade que pudesse ter consequências ou, tão só, proporcionar a geração de riscos instabilizadores.

Dessa observação, criteriosa, e realizada em zonas muito estreitas (entre os 8m e os 13m) que correspondiam às antigas pedreiras e pilares deixados então por explorar, resultaram os dados que se podem observar na Tabela 6.6. Após o processamento destes dados partiu-se para uma nova análise, refinada, tendo por objetivo ser tão preciso quanto possível na determinação das zonas de potencial instabilidade. Essa fase será apresentada no Capítulo 7.

Tabela 6.7 Parâmetros das categorias A e B e classificação do sistema de avaliação de risco proposto para o caso em estudo.

Parâmetro		Categoria	Peso do parâmetro	Classificação GERAL (peso do parâmetro) x (ponderação)													valorização dos parâmetros
			%	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	Ângulo do talude (°)	A	6	6	2,4	6	2,4	6	3,6	6	3,6	6	3,6	6	3,6	6	61,2
2	Altura do talude (m)		9	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
3	Rugosidade das juntas	B	2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,6	0,3	0,3	0,6	0,3	0,3	0,6	4,8
4	Nº de famílias de descontinuidades presentes		3	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	3	1,8	1,8	1,8	0,9	1,8	23,7
5	Orientação das juntas/ou famílias no talude		3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,5	0,5	0,5	8,55
6	Persistência das descontinuidades no talude (m)		2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	2	1,2	1,2	16,4
7	Abertura das descontinuidades no talude (mm)		2	1,2	0,6	1,2	0,6	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	2	0,6	14,6
8	Preenchimento das juntas no talude		2	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3	0,3	0	0,6	6,6
9	Espaçamento médio das juntas no talude (H= altura do talude)		2	2	1,2	1,2	0,6	0,6	0,6	1,2	2	2	1,2	1,2	0,6	1,2	15,6
10	Homogeneidade do maciço na frente		4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	4	0,8	0,8	0,8	0,8	13,6
11	Resistência na rocha intacta (Mpa)		2	1,6	1,6	1,2	1,6	1,6	1,2	1,2	1,2	0,6	1,2	1,2	1,2	0,6	16

Todos os sistemas que classificam o risco de queda de rochas estão bem documentados na literatura, mas são normalmente dedicados a uma avaliação dos riscos relativos a quedas de rochas de encostas adjacentes a vias rodoviárias.

Neste trabalho, propõe-se um sistema de classificação de risco de queda de rochas, que resulta da adaptação daqueles, aplicável ao cálculo do risco de queda de rochas em declives naturais e artificiais como o em estudo. Ele define vinte e oito (28) parâmetros de classificação, agrupados em cinco (5) categorias principais de acordo com o risco e as consequências, com um peso diferente na avaliação do risco total, definido em atenção à realidade do caso em análise.

O peso para cada categoria varia, dependendo da importância dos parâmetros envolvidos, resultando da adaptação de elementos constantes na bibliografia devidamente ajustados às características específicas da pedreira. Mais especificamente, atribuiu-se à categoria A um peso de 15% para a pontuação total de risco de uma inclinação, enquanto que a B se atribuiu 22%, a C 5%, a D 12% e a E 46%. Assim, os parâmetros da:

- Categoria A: estão relacionados com a geometria do talude (ângulo, altura, rugosidade do declive e vegetação) e a altura das áreas de possível libertação de rochas;
- Categoria B: referem-se ao estado geológico e, às condições do maciço do talude. Esses parâmetros descrevem a condição das descontinuidades da rocha, a resistência da rocha intacta, a presença de cavidades e o volume e o número de blocos potenciais;
- Categoria C: estão relacionados com possíveis fatores desencadeantes (precipitação, sismicidade da área) e condições de drenagem das águas subterrâneas na estabilidade das rochas que constituem os taludes estudados;
- Categoria D: referem-se às consequências - impacto nas estruturas e elementos associados, bem como na acessibilidade da inclinação;
- Categoria E: aferem-se, por observação direta, os potenciais fatores instabilizantes do maciço.

As categorias e seu peso na classificação total de risco são parcialmente apresentados na Tabela 6.7 e poderão ser visualizadas na íntegra no Anexo 9.

Conforme já referido o sistema de classificação de risco proposto foi desenvolvido suportando-se numa prática empírica e reportada em várias referências bibliográficas consultadas, com o peso das categorias e parâmetros e a classificação das variáveis estimadas com base numa apreciação metódica dos parâmetros geomecânicos adquiridos e no conhecimento da pedreira em estudo através da pesquisa do seu histórico, registos de ocorrências e conhecimento empírico das entidades envolvidas na exploração. O sistema de risco proposto foi delineado com especial ênfase na classificação dos taludes resultantes do atual método de exploração da pedreira da Milhária,

que proporciona, cada vez mais, taludes de dimensões consideráveis e que potenciam um eventual risco de queda de rochas sobre as estruturas e área da atividade extrativa em curso.

Tabela 6.8 Classificação dos parâmetros por categoria.

Classificação dos parâmetros por Categoria	Descrição para a classificação de risco geral	GERAL	DETALHE
		Peso da categoria (%)	Peso da categoria (%)
A	Geometria do talude, área de queda de blocos e rugosidade da face	15%	20%
B	Condições geológicas do maciço rochoso	22%	20%
C	Fatores de desencadeamento potenciais (p.e.: sísmicos, pluviosidade,...), condições de drenagem e vegetação	5%	0%
D	Potenciais consequências de quedas de blocos e fatores associados, bem como histórico de quedas de blocos na área de interesse	12%	0%
E	Caraterização, por observação direta, de fatores instabilizados ou potencialmente instáveis e de risco para a exploração	46%	60%

A cada parâmetro foi atribuído um fator de ponderação, exponencial, de classificação interna entre 10 e 100, quando se passa do mais favorável ao mais adverso. O parâmetro é classificado e, em seguida, é multiplicado por um fator de peso respetivo. Finalmente, a pontuação total de risco é calculada somando a pontuação individual de cada parâmetro. Os parâmetros de cada categoria, o fator de peso para cada parâmetro e sua classificação são apresentados na Tabela 6.7.

Com base no método de classificação proposto, uma inclinação com o maior risco terá uma pontuação total ponderada de 100 numa escala 100. Para classificar o risco de queda de rochas e auxiliar na decisão acerca das medidas de proteção a adotar, atribuíram-se cinco categorias de risco à classificação proposta para as encostas rochosas: risco muito baixo a muito alto, como poderá ser verificado na Tabela 6.8.

Tabela 6.9 Classes de risco de quedas de rochas e medidas de proteção preconizadas

RISCO			Medidas de proteção preconizadas (estas medidas serão específicas para cada local)
Classe	Tipo	Coefficiente de Risco (0 - 100)	
I	Muito baixo	< 20	Sem necessidade. Poderão ocorrer intervenções muito pontuais, por mera precaução.
II	Baixo	21–40	Intervenções pontuais, limitadas a áreas e extensões específicas.
III	Médio	41–60	Medidas ligeiras (p.e.: pregagens, redes e cabos, remoção ocasional de blocos instáveis, vedações simplificadas, ...)
IV	Alto	61–80	Medidas que combinem meios ativos (pregagens, ancoragens) com outros passivos (redes, cabos, muros de suporte, vedações ou remoção de blocos considerados em risco potencial)
V	Muito alto	81–100	Estado crítico de estabilidade: medidas passíveis e/ou ativas a serem amplamente aplicadas de modo a conter o risco eminente (nestes casos, especiais, haverá sempre um risco residual, remanescente, ao critério do projetista das medidas a executar)

6.4.2. Avaliação do risco de queda de rochas nos taludes da pedreira da Milhária

O sistema Rockfall Risk Rating foi aplicado no talude das “avessas” da pedreira da Milhária, uma vez que a classificação dos parâmetros difere para cada área de declive (ver Anexo 9). Os locais coincidem com as seções visíveis na Fig. 6.9. A aplicação desta classificação de risco é mostrada na Tabela 6.10, que poderá ser consultado em detalhe no Anexo 9.

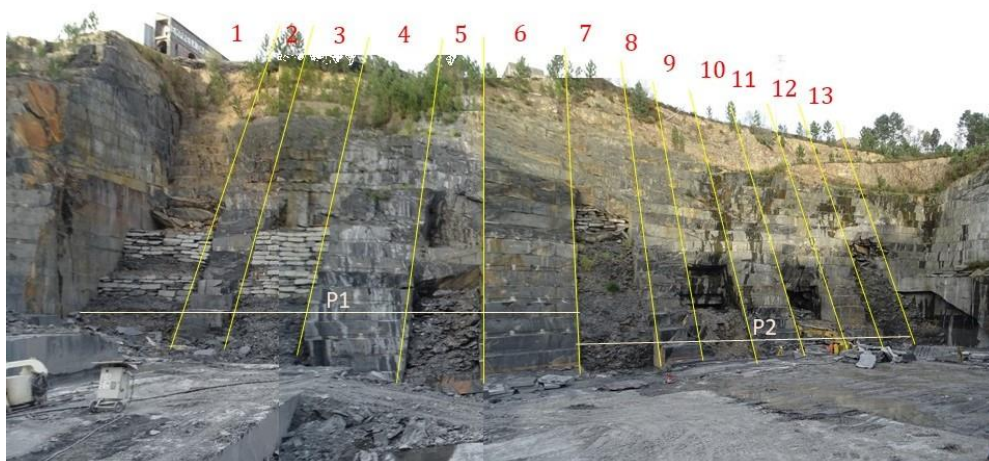


Figura 6.9 Análise de risco - Secções avaliadas na pedreira da Milhária.

Os parâmetros que variam de um local para outro são: (a) o volume e o número de blocos rochosos, (b) o espaçamento e a persistência das descontinuidades, (c) a altura da área de lançamento, (d) a

largura da zona de captação disponível; e (e) a existência de estruturas ou atividades humanas na área de exploração. A altura do declive e o ângulo dos hasteais não variam significativamente, pelo contrário, é dado adquirido que, dadas as condições do maciço, estas características geomorfológicas são muito idênticas em toda a área da pedreira.

O risco no talude das avessas, calculado pelo método proposto, é baixo! Quando muito e “forçando” algumas situações, poderá atingir o risco “médio”. Apurada a informação disponível e passada no crivo de avaliação agora proposto, verifica-se que a qualidade da rocha impõe as suas leis e, assim, o risco apresenta-se “baixo”. Por esse motivo, o impacto sobre as estruturas e meios presentes na área de exploração é relativamente baixo e, portanto, o risco será também baixo.

O sistema proposto deve ser desenvolvido e ratificado pela análise de retorno para o ajuste ótimo do peso da grande variedade de parâmetros envolvidos. Este poderia ser o caso de outras encostas rochosas, onde a maioria dos parâmetros pode ter um alcance significativo, a fim de avaliar a sensibilidade de cada parâmetro na determinação do risco total.

Tabela 6.10 Avaliação de risco e contingência.

Zona de RISCO	Impacto do Risco (a)	Probabilidade de ocorrência (b)	Mapa geral de risco (c)	Estratégia de resposta ao risco (d)	Estratégia de resposta local	Plano de contingência
1	M	M	2	M	Saneamento dos blocos instáveis; Monitorização mensal	Monitorização de detalhe; Intervenção urgente
2	M	B	1	A	Monitorização mensal.	Monitorização a definir
3	M	B	1	A	Monitorização mensal.	Monitorização a definir
4	M	B	1	A	Monitorização mensal.	Monitorização a definir
5	M	B	1	A	Monitorização mensal.	Monitorização a definir
6	M	B	1	A	Monitorização mensal.	Monitorização a definir
7	M	B	1	A	Monitorização mensal.	Monitorização a definir
8	M	B	1	A	Monitorização mensal.	Monitorização a definir
9	M	M	2	M	Saneamento e pregagens nas zonas afetadas. Monitorização quinzenal.	Monitorização de detalhe; Intervenção urgente
10	M	M	2	M	Saneamento e pregagens nas zonas afetadas. Monitorização quinzenal.	Monitorização de detalhe; Intervenção urgente
11	M	A	3	B	Saneamento e pregagens. Eventuais redes e monitorização a definir.	Intervenção muito urgente com material em stock
12	M	M	2	M	Saneamento e pregagens nas zonas afetadas. Monitorização quinzenal.	Monitorização de detalhe; Intervenção de urgente
13	M	A	3	B	Saneamento e pregagens. Eventuais redes e monitorização a definir.	Intervenção muito urgente com material em stock

Legenda:	Alto	Alta			(a) Alto, médio ou baixo (A ; M ; B)	(d) Avaliação do técnico responsável
	Médio	Média			(b) Alta, média ou baixa (A ; M ; B)	A - Sem intervenção
	Baixo	Baixa			(c) VERDE - (baixo/baixa; baixo/média; médio/baixa); AMARELO - (baixo/alta; médio/média; alto/baixa); VERMELHO - (alto/média; médio/alta; alto/alta)	P - Intervenção ligeira
						M - Intervenção para atenuação do risco C - Intervenção urgente

(página propositadamente em branco)

Capítulo VII

Conclusões

(página propositadamente em branco)

7. Conclusões

7.1. Introdução

Chegados a este ponto importa recordar o ponto de partida deste trabalho bem como sintetizar a metodologia seguida e os principais resultados obtidos.

Na génese deste estudo, esteve a necessidade de avaliar, de uma forma estruturada, a segurança do talude “avessas” da pedreira da Milhária, tendo por objetivo definir metodologias e processos que assegurem a gestão das condições de estabilidade e segurança nos taludes da pedreira.

7.2. Resumo dos resultados dos estudos geológicos realizados

O trabalho agora apresentado pretendeu envolver e enfatizar a importância de um estudo geológico-geotécnico aplicado a fatores que condicionam a estabilidade geomecânica em explorações mineiras a céu aberto, aplicado, com particular interesse à pedreira da Milhária em Campo, Valongo. O estudo envolveu inicialmente, um trabalho de campo com recurso a ensaios “in-situ”, nomeadamente de avaliação da resistência da rocha no maciço, com esclerómetro e ensaios de determinação do ângulo de atrito interno das descontinuidades (tilt test). Ainda antes, foram realizados levantamentos de scanline de modo a adquirir e aperfeiçoar o conhecimento das anomalias presentes na área atualmente em exploração. Numa outra fase, foram realizados ensaio de resistência à compressão uniaxial, em laboratório (LGMC|ISEP) de que resultaram parâmetros valiosos para comparação com os obtidos em campo. Realizou-se, igualmente, uma análise geotécnica do terreno, que passou pela sua caracterização através de diversos parâmetros geológico-geotécnicos, classificações geomecânicas, propostas de suporte, e análise estrutural do maciço rochoso correspondente aos zonamentos assumidos. A transversalidade deste trabalho, é atingida pela sua finalização através de propostas de dimensionamento de bancadas com as respetivas técnicas de reforço e sustimento. Dos trabalhos desenvolvidos, resultaram as seguintes conclusões principais

- A técnica de amostragem linear, quando aplicada de um modo correto correspondente ao levantamento de campo vem a fornecer dados essenciais ao apuramento estatístico do tratamento de dados das descontinuidades presentes num maciço rochoso e conseqüente refinamento do conhecimento geológico-geotécnico do maciço rochoso em apreço;
- A resistência da ardósia, material constituinte do maciço em estudo apresenta-se sem variações apreciáveis em toda a área da pedreira, com a ressalva de possuir diferenças relativamente à orientação da xistosidade (maior resistência quando a força é aplicada

perpendicularmente a esta), e menor resistência em zonas com alteração visível (quer química, por meteorização, quer mecânica, por fraturação) sendo que, no entanto, os valores se apresentaram sempre dentro dos esperáveis para este tipo de formação e anisotropia;

- Através dos trabalhos desenvolvidos conseguiu-se um aprofundamento do conhecimento geológico-geotécnico e comportamento geomecânico do maciço na área em exploração, que, em teoria, deverá ser similar nas áreas envolventes e ainda a explorar. Ressalva-se aqui, a particularidade da atual exploração que se desenvolve numa zona de antigas explorações, como já referido e que futuras explorações, na mesma área, poderão, ou não, vir-se a deparar com a mesma questão, dependendo da direção que venham a tomar e local afetado;
- As classificações obtidas são aproximadas entre si devido à homogeneidade relativa do maciço estudado, que não permite grandes variações, até porque a área estudada não o permite pela sua extensão relativamente exígua. Por esse motivo, não existindo uma correlação direta neste projeto, tornou-se necessário cruzamento de dados e processamento de resultados quanto a uma análise da estabilidade estrutural. Assim se verifica, pela análise dos dados referidos, que a qualidade do maciço, como antes referido, não tem uma variação linear quer em profundidade quer em extensão;
- Apesar do exposto, a qualidade da ardósia explorada varia de forma apreciável, conforme o fim em vista. Tal fator ficar-se-á a dever às propriedades intrínsecas de cada local da pedreira em que poderão variar de forma muito ligeira os componentes químicos, estado de alteração ou mesmo a foliação, influenciando decisivamente a qualidade final do produto, mas não interferindo (de forma apreciável) com as características geomecânicas do maciço.

7.3. Análise por modelagem numérica

As modelações numéricas dos taludes da pedreira da Milhária iniciaram-se com cálculos preliminares de retroanálise aos quais se seguiu uma verificação dos valores do fator de segurança (FS) em análises determinísticas e do valor de probabilidade de falha (PF) em análises probabilísticas. Com principais conclusões dessas modelações verificou-se que:

- Globalmente os taludes são estáveis considerando as famílias de descontinuidades mais representativas e presentes no maciço estudado;
- Considerando famílias com menor densidade de presença no maciço, mas cuja interferência pudesse causar “distúrbios” no equilíbrio geral do talude em apreço concluiu-se que poderão ocorrer alguns casos isolados, em que as orientações de famílias

“secundárias” poderão originar cunhas que comprometam localmente a estabilidade do hasteal estudado; tais situações identificam-se essencialmente nas imediações das cavernas dos poços explorados no passado.

7.4. Análise de risco

Para calcular o risco potencial das quedas de rochas, foi proposto um sistema de classificação de declives dos taludes presentes e são definidos os locais com risco máximo. O sistema proposto, envolve 28 parâmetros, adequadamente ponderados e agrupados em categorias de acordo com a geometria da encosta, as condições geológicas, os potenciais mecanismos de desencadeamento da queda de rochas e as consequências do perigo resultante. São efetuadas sugestões de medidas de suporte associadas à classificação proposta de avaliação de risco. Uma aplicação do sistema proposto é apresentada para uma área do talude estudado. A proposta e metodologia agora apresentada deverá ser desenvolvida e retificada pela análise de retorno das iterações realizadas no local, para o ajuste progressivo do peso da grande variedade de parâmetros envolvidos tendo por meta a otimização do processo de análise.

7.5. Taludes da pedra da Milhária

7.5.1. Introdução

A estabilidade dos taludes da pedra da Milhária, foi estudada primordialmente com base na análise cinemática dos possíveis blocos instáveis e no cálculo das suas trajetórias de queda para a área de trabalho da pedra.



Figura 7.1 Estabilização de talude rochoso (<https://www.dywidag-systems.pt/fileadmin>).

No caso de blocos de rocha com pesos superiores a 10 toneladas, a instalação de barreiras de queda de alta capacidade não pode remover o risco devido ao impacto de proteção otimizada. Portanto, a aplicação de medidas de suporte ativo, como pregagens e ancoragens e redes de cabos de aço, poderá revelar-se necessária. Efetivamente, sendo o problema base o da definição de uma metodologia de gestão da segurança dos taludes resultantes da exploração da pedreira da Milhária e tendo presente as conclusões dos estudos antes apresentadas, seguidamente são detalhadas eventuais medidas de tratamento e/ou mitigação dos riscos decorrentes dessa exploração.

7.5.2. Soluções de estabilização e de proteção de maciços rochosos

Na sequência do descrito existe hoje uma quantidade significativa de ações que poderão ser implementadas para a estabilização e proteção dos riscos inerentes aos taludes em maciços rochosos como o estudado, tais como desprendimentos, deslizamentos ou, em última análise, o seu colapso. Face ao até aqui exposto, somente serão apresentadas as soluções que, na prática, estão associadas a este tipo de empreendimentos (estabilização e segurança de taludes rochosos), de que destacamos:

- Saneamento de elementos instáveis num hasteal ou talude;
- Execução de órgãos de drenagem;
- Instalação de redes de aço;
- Execução de estruturas de contenção como seja o caso de pregagens e/ou ancoragens;
- Instalação de barreiras dinâmicas e/ou flexíveis.

7.5.2.1. Saneamento de elementos instáveis num hasteal ou talude

O saneamento de blocos é um processo que se caracteriza pela remoção dos blocos rochosos que manifestem sinais de instabilidade e que, por esse motivo, possam constituir um risco acrescido para pessoas (funcionários de uma pedreira, p.e.) ou bens (equipamentos de desmonte e circulante, etc). É, quase sempre, uma das primeiras medidas de atuação a considerar quando se procura garantir a estabilidade de um hasteal ou talude rochoso.

Uma vez realizada a identificação dos elementos instáveis deverá proceder-se a uma observação cuidada de toda a área envolvente, procurando assegurar que uma possível remoção não comportará implicações no que se refere à estabilidade dos restantes elementos constituintes do mesmo talude rochoso. O mesmo se aplica para a salvaguarda de pessoas e bens.

7.5.2.2. Sistemas de drenagem

Num qualquer hasteal ou talude de maciço rochoso, a água apresenta-se como um dos fatores, se

não mesmo “o fator”, que maior implicação comporta no que se refere à estabilidade do mesmo. A existência de elementos potencialmente instáveis está, em grande parte, associada à existência de fluxos de água na rede de discontinuidades dos maciços rochosos, responsável pelo aumento do peso específico (caso absorvida), introdução de pressões intersticiais, aceleração do processo erosivo e, simultaneamente, criando condições necessárias ao aparecimento e proliferação de espécies arbustivas e arbóreas nessas estruturas. Convém que, além da água existente na rede de discontinuidades se considere, igualmente, a água proveniente da precipitação.

Deste modo, uma correta gestão e encaminhamento das águas existentes, sejam superficiais ou intersticiais, poderá conduzir a melhorias significativas de estabilidade num maciço rochoso. Para a drenagem da água existente em taludes rochosos pode recorrer-se, por exemplo, a drenos superficiais no tardo do hasteal ou talude (os mais usados), procurando garantir que as águas superficiais não chegam ao mesmo, e drenos profundos (menos usados em pedreiras de rochas ornamentais por induzirem perdas económicas em zonas ainda exploráveis) para que possam assegurar a correta drenagem das águas existentes no interior do mesmo. Existem, todavia, diversas soluções de drenagem. Naturalmente, todas elas procuram impedir que a água alcance o talude rochoso, nomeadamente a sua face e, assim, os seus efeitos perniciosos no que toca à sua estabilidade.

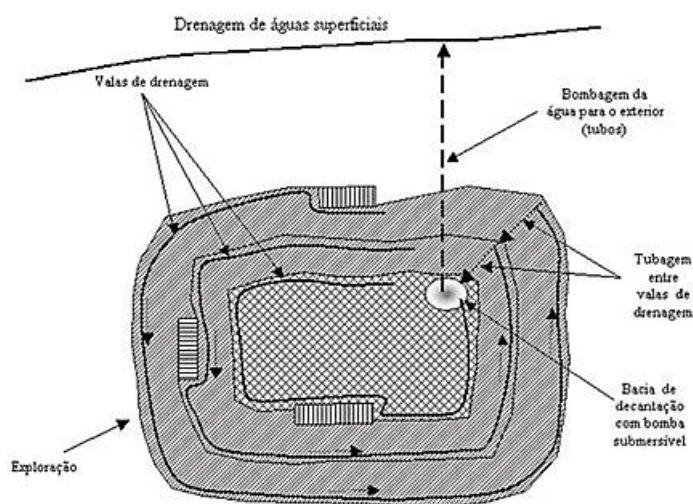


Figura 7.2 Esquema de sistema de drenagem de pedreira.

7.5.2.3. Pregagens

Este método, representado esquematicamente na Figuras 7.3 para o caso de uma tecnologia comercial específica (DSI), é uma das soluções de estabilização mais frequente. Trata-se de um tipo

de reforço passivo, isto é, sem a aplicação de qualquer tensionamento à designada pregagem (usualmente um reforço de aço).

O dimensionamento das características das pregagens a adotar está diretamente relacionada com o panorama geológico-geotécnico local, as propriedades mecânicas intrínsecas ao maciço, as condições das estruturas vizinhas e, naturalmente, questões económico financeiras.

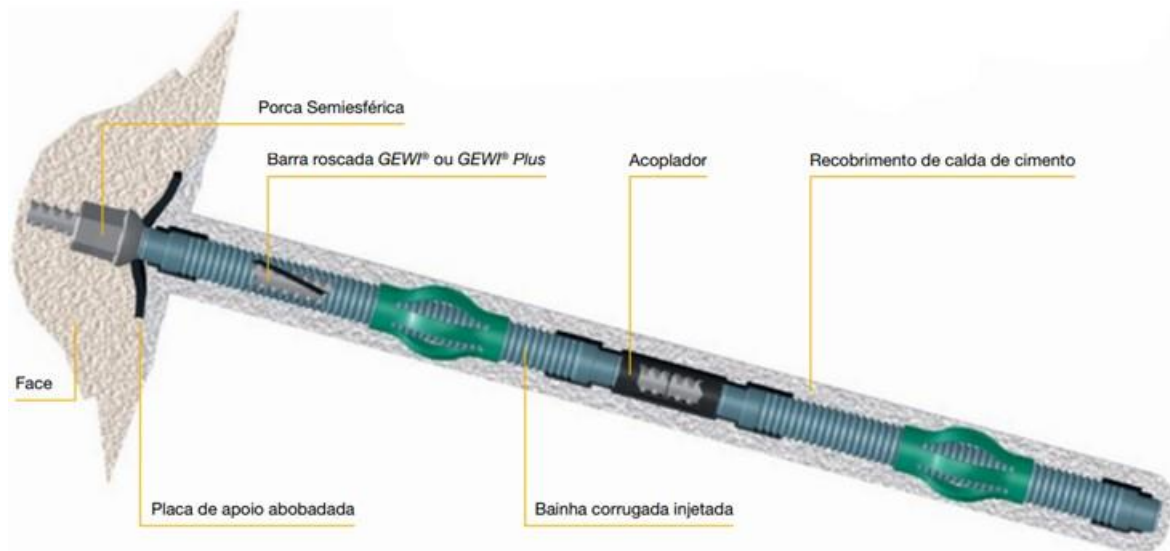


Figura 7.3 Esquema de pregagem (<https://www.dywidag-systems.pt/fileadmi>).

Na sua execução deverão ser, de uma forma geral, tomados em consideração alguns aspetos. Para atingir o objetivo de assegurar a estabilidade do talude rochoso, as pregagens aplicadas deverão ter um comprimento que se estenda para além da potencial superfície de deslizamento. Podem apresentar diferentes disposições (malha quadrada, malha em quincôncio ou isoladas).

Muitas vezes este tipo de solução é combinado com outros elementos de proteção ou de estabilização como, por exemplo, com redes metálicas de alta resistência com configurações várias.

7.5.2.4. Redes de aço

A utilização de redes de aço, como a representada na Figura 7.4, prende-se com a necessidade de garantir a segurança da área envolvente de um talude. A rede de aço será responsável pela contenção de elementos fragmentados ou pela condução dos mesmos para a base do talude, impedindo, assim, que pessoas ou bens corram riscos desnecessários, salvaguardando os mesmos.



Figura 7.4 Redes de aço: Cortina atenuadora (www.geobrugg.com).

7.5.2.5. Ancoragens

Este método, representado esquematicamente na Figura 7.5 para o caso de uma tecnologia comercial específica (DSI), é uma das soluções de estabilização alternativa às pregagens para os casos em que seja necessário mobilizar forças resistentes à tração mais elevadas tratando-se ainda de um tipo de reforço ativo, isto é, com aplicação de tensionamento ao tirante (geralmente de aço).

O dimensionamento das características das ancoragens está relacionado com as necessidades de

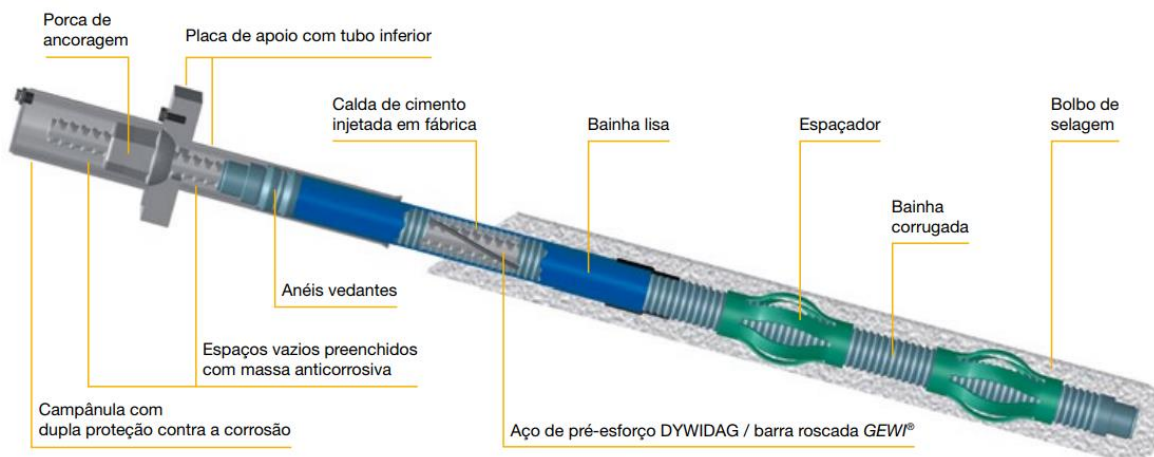


Figura 7.5 Esquema de ancoragem (<https://www.dywidag-systems.pt/fileadmin>).

equilíbrio de solicitações e/ou deformações.

7.5.2.6. Barreiras flexíveis

Este género de contenção, representado na Figura 7.6a), é constituído por redes e malhas de aço presas a cabos longitudinais, sendo estes, por sua vez, ligados a postes estruturais instalados em sentido perpendicular ao maciço a tratar. Os postes poderão ter apoios rotulados na base e cabos colocados na parte superior, presos ao talude a montante. Uma vez que a malha de aço é deformável, absorve os impactos dos blocos rochosos, acomodando-os, e podendo, segundo o tipo de barreira utilizado, suportar até 8000 kJ de energia (Pacheco, 2015).

Existe ainda um outro tipo de barreira, representado na Figura 7.6b), com características idênticas às barreiras anteriormente apresentadas, mas com a particularidade de ser montada como um toldo, dotado de uma capacidade de autolimpeza, que dispensa as usuais ações de manutenção. Os detritos provenientes de cotas superiores são projetados para uma zona de segurança, que se ajusta caso a caso. Este tipo de barreira evidencia uma boa solução para proteção de vias de circulação e em situações em que não seja possível garantir uma manutenção frequente quer por falta de disponibilidade quer pela complexidade associada a este tipo de ações.

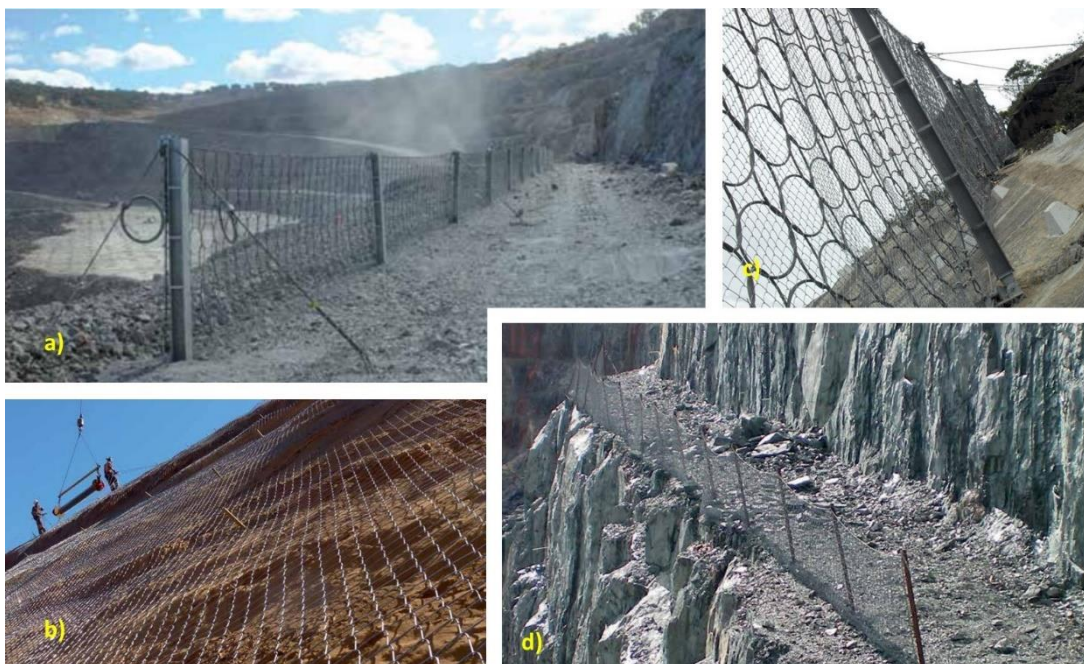


Figura 7.6 Barreiras flexíveis:
a) dinâmica; b) ancorada; c) atenuadora; d) proteção. (www.geobrugg.com).

Por outro lado, o recurso a atenuadores, representado na Figura 7.5 c), também se pode manifestar uma solução viável para alguns casos. Os atenuadores resultam de uma combinação entre cortinas

de encaminhamento de rochas e barreiras flexíveis contra desprendimentos, apresentando-se, no global, como uma medida de proteção passiva, na medida em que a barreira tem a função de suportar o impacto resultante da queda dos objetos soltos enquanto que a cortina assegura o direcionamento dos mesmos para uma zona de acumulação estabelecida previamente. A esta solução de proteção está ainda associada a facilidade das operações de manutenção, uma vez que, como anteriormente referido, os detritos são encaminhados para uma zona de acumulação.

7.5.3. Propostas para o caso concreto (mitigação de risco)

Sendo a pedreira da Milhária, por natureza, uma operação dinâmica, as modalidades de estabilização dos taludes, têm que ser projetadas de tal forma que não possam vir a ser obstáculo ou fator condicionante de operações futuras.

Por outro lado, deverão ser sempre equacionadas numa perspetiva economicista, proporcionando a estabilização para o período temporal exetável da exploração e sem o cuidado que seria dado a uma estabilização num talude de uma via de comunicação, por exemplo. Assim, sem descurar o essencial, que é a salvaguarda de pessoas e bens, o projeto de estabilização ótimo, deverá corresponder à segurança efetiva a um custo mínimo.

Deste modo, para os taludes que se verificam neste caso de estudo, em que, presentemente o grande fator instabilizante é a presença das zonas cavernosas resultantes das antigas explorações, uma vez que desequilibram as parcelas de talude que se lhe sobrepõem podendo dar origem a desabamentos parciais, quer por terem sido alterados os pressupostos do seu equilíbrio anterior (as abóbodas perderam parte da sua sustentação e integridade) quer pela sua exposição aos elementos, que pode levar a ajustamentos (por exemplo, devido à descompressão), ou mesmo a fenómenos de descolagem xistente provocada por sucessivos períodos de alternâncias de temperaturas, a primeira grande opção, como verificamos anteriormente, será a monitorização do talude.

Essa observação, mesmo cuidada, poderá não ser suficiente, nomeadamente caso existam cunhas de material que se possam destacar em função da geometria das descontinuidades que lhes possam dar origem e, de forma inopinada, resultarem em destaques de blocos.

Por esse motivo, o responsável pela segurança do talude deverá ter sempre estes fatores em linha de conta para a estabilização do mesmo.

Neste enquadramento geral, e tendo em consideração as principais conclusões dos estudos desenvolvidos, consideram-se abaixo dois grupos de propostas com vista à gestão da segurança dos taludes da exploração:

- Grupo 1: Zona em exploração;
- Grupo 2: Futura expansão.

7.5.3.1. Medidas do Grupo 1

Dentro das medidas considera-se que as soluções que têm vindo a ser implementadas na pedreira mediante a instalação de pregagens associadas a elementos metálicos de distribuição na sua extremidade, que a prática tem comprovado a sua eficácia relativa, poderão ser complementadas mediante o recurso a medidas adicionais, nomeadamente:

- Pregagens isoladas de maior capacidade nas zonas onde os blocos identificados possuam maiores dimensões;
- A solução anterior poderá ainda ser reforçada onde se preveja a necessidade de controlo das deformações mediante o recurso a ancoragens isoladas sempre entendida esta hipótese como medida de recurso.

Estas duas medidas deverão ser entendidas como soluções especiais e a implementar em situações particulares a estudar, caso a caso. Como solução genérica propõem-se outras duas medidas mais ajustadas às condições locais, a saber:

- A de campanhas de inspeção dos taludes com uma periodicidade mensal;
- Monitorização topográfica e de referências fixas observadas instaladas no talude com uma periodicidade semestral, ou no mínimo, anual;
- Instalação de uma cortina flexível em rede de cabos móvel ao longo do desenvolvimento do hasteal e que possa ser movimentado sobre um caminho de rolamento (ver Figura 7.7) sempre que necessário para uma zona específica onde, por exemplo, esteja a ser desenvolvida a exploração (ver especificações indicativas de referência para a cortina no Anexo 10).

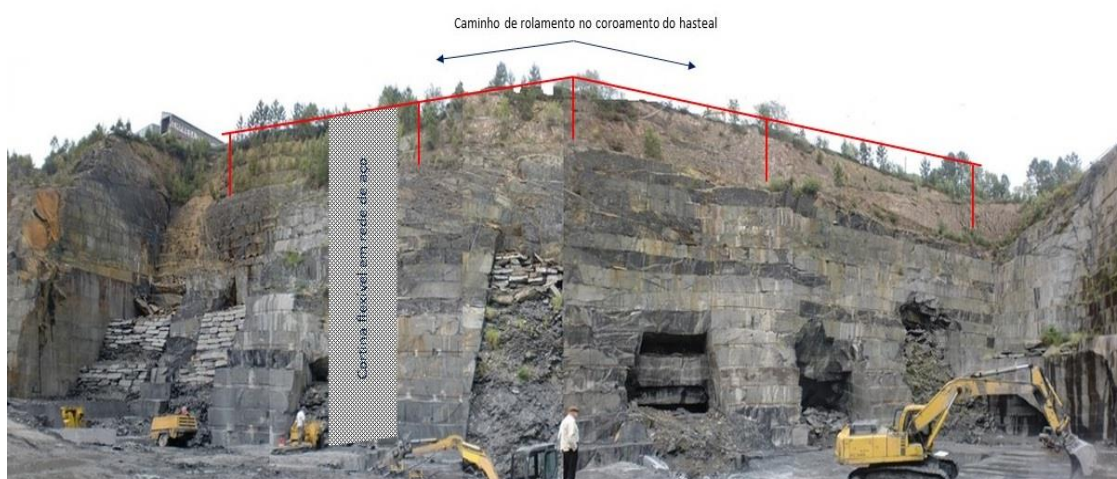


Figura 7.7 Proposta de solução mitigadora de risco.

7.5.3.2. Medidas do Grupo 2

Evidentemente que tudo o que foi recomendado no ponto anterior também poderá ser implementado em explorações futuras. Contudo, para o caso concreto da pedreira da Milhária, e atendendo que a estabilidade dos taludes está fortemente condicionada pelas condições dos poços resultantes da atividade extrativa do passado recomenda-se que, e sempre que possível, as explorações futuras se desenvolvam em áreas onde seja minimizada aquela influência. A título meramente indicativo representam-se na Figura 7.8 possíveis áreas onde tal influência é pouco representativa e, por conseguinte, os problemas de estabilidade dos taludes serão também minimizados.



Figura 7.8 Possíveis áreas de exploração futura

7.6. Sugestões para pesquisas futuras

Não sendo fechado este documento, apresentando as análises desenvolvidas, haverá sempre possíveis evoluções para serem exploradas e complementadas em função de novos critérios de seleção, exigências de desempenho e, eventualmente, novos desafios da exploração. Assim sendo, após a finalização do projeto conclui-se que existem inúmeras possibilidades de serem desenvolvidos novos estudos:

- Cartografia geológico-geotécnica mais refinada para melhoramento do estudo de estabilidade, mais otimizado, das zonas isoladas potencialmente menos estáveis;
- Análise estatística pormenorizada das descontinuidades recorrendo a uma aplicação mais rigorosa, e sistemática, da técnica da amostragem linear nas diferentes zonas, precisando, com mais detalhe estatístico, a qualidade de terreno, bem como para apoiar a cartografia geomecânica mineira das superfícies expostas;
- Modelação numérica e estudo de análise estrutural usando software adequado ao meio em apreço para estudo da influência do efeito dos enchimentos dos poços e da sequência construtiva;
- Modelação numérica para estudo e dimensionamento concreto de banquetas de captura no programa Swedge e modelações de “Toppling” no programa Rocfal;
- Análise dos resultados de monitorização dos taludes e sua incorporação em retro análises numéricas;
- Implementação de um procedimento de análise de risco para aplicação prática na atividade produtiva da pedreira.

Referências bibliográficas

(página propositadamente em branco)

8. Referências bibliográficas

- Abramson, L. W., Lee, T. S., Sharma, S., Boyce, G. M. (2001). *Slope Stability and Stabilization Methods*, John Wiley & Sons, 2nd ed. New York, p. 330-378.
- Ahmad, I., Khan, M. I., Patil, G. (2011). Nanotoxicity of occupational dust generated in granite stone saw mil. *International Conference on Nanoscience, Technology and Societal Implications*, NSTSI 11. pp 1-6.
- Aires-Barros, L. (1991). *Alteração e alterabilidade de rochas*. Instituto Nacional de Investigação Científica, INIC, Lisboa, 384 pp.
- Alejano, L., Pons, B., Bastante, F., Alonso, E., & Stockhausen, H. (2007). Slope Geometry Design as a Means for Controlling Rockfalls in Quarries. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 903-921.
- Alemi F. (2006) - Lectures for the HSCI 525 on Risk Analysis in Healthcare. Course on Risk Analysis, October 2006. George Mason University, EUA 2006.
- Andrade, A. (2006). De la Geología de Portugal a la región de Aveiro. *Revista de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (AEPECT)*, 14(1), 2-10.
- Ang, A.H.S. & Tang, W. (1975). *Probability Concepts in Engineering Planning and Design: Basic Principles*. John Wiley & Sons, New York, NY, USA, vol. 1, 422 pp.
- Assis, A.P., Espósito, T.J., Gardoni, M.G., Silva, P.D.E.A. & J.A. Maia (2012). *Métodos Estatísticos e Probabilísticos em Geotecnia*. Publicação G. AP-002/2012. Apostila do curso de Pós-Graduação em Geotecnia, UNB, Brasília.
- Augusto Filho, O. Virgili, J. C. Estabilidade de taludes. In: Oliveira, A. M. S., Brito, S. N. A. *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE, 1998, p. 243-270.
- Baecher G. B. & Christian J. T. (2003). *Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering*, John Wiley & Sons, New York, pp. 303-430.
- Barton, N. (2006). *Rock quality, seismic velocity, attenuation and anisotropy*. Taylor & Francis, UK. 729 pp.
- Barton, N., Lien, R. & Lunde, J. (1974). Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. *Journal of Rock Mechanics and Rock Engineering*, 6: 189–236.
- Barton, N., Loset, F.; Lien, R. & Lunde, J. (1980). Application of Q-system in design decisions concerning dimensions and appropriate support for underground installations. In: Bergman M., ed., *Proceedings, Subsurface Space, ISRM International Symposium – Rockstore’80, Stockholm*. Pergamon Press Ltd., 2: 553-561.
- Barton, N., Quadros, E.F. (2002). *Engineering and Hydraulics in Jointed Rock Masses*. EUROCK 2002 – Curso A, Funchal.
- Bhagia, L. J. (2012). Non-occupational exposure to silica dust. *Indian Journal of Occupational & Environmental Medicine*. Volume 16. pp. 95-100.
- Bhawani, S., & Goel, R. K. (1999). *Rock Mass Classification*. New York, New York: Elsevier Science Ltd.
- Bieniawski Z. T., 1984. *Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling*. Balkema, Rotterdam, pp 55-95.
- Bieniawski Z.T. (1978). The geomechanics classification in rock engineering applications. In: *Proceedings of the 4th Congress Int. Soc. Rock Mech.*, Montreux, 2: 41-48.
- Bieniawski Z.T., 1975. The point load test in geotechnical practice. *Eng. Geol.*, pp. 1-11.
- Bieniawski, Z.T., (1973). Engineering classification of jointed rock masses. *Trans. South Afr. Inst. Civ. Engrs*, 15: 335-344.
- Bieniawski, Z.T., (1976). Rock mass classification in rock engineering. In: Bieniawski Z.T., ed., *Proceedings of the symposium Exploration for rock engineering*, Cape Town, Balkema, 1: 97-106.
- Bieniawski, Z.T., (1989). *Engineering rock mass classifications*. Wiley, New York. 251 pp.

Bieniawski, Z.T., (1993). Classification of rock masses for engineering: the RMR system and future trends. Hudson J.A., (ed.), comprehensive rock engineering: principles, practice, and projects. Pergamon Press, 33: 553-574.

Blatt, H. & Tracy, R. (1995). Petrology – Igneous, Sedimentary and Metamorphic (2^a ed.). W. H. Freeman and Company, New York, 529 pp.

Bradbury J. (1989)- The Policy Implications of Differing Concepts of Risk. Science. Technology & Human Values, Vol. 14 nº4. 1989 Saige Publicatoins, Inc. 1989.

Brady, B. H. G. & Brown, E. T. (2004). Rock mechanics for underground mining, 2rd Edition. 515 pp.

Call, R. D. (1972). Analysis of Geologic Structure for Open Pit Slope Design. University of Arizona. University Microfilms.

Call, R. D., & Savely, J. P. (1990). Open Pit Rock Mechanics. In B. A. Kennedy (Ed.), Surface Mining (2nd ed., pp. 860-882). Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc.

Cargill, J. S. & Shakoor, A. (1990). Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial compressive strength of rock Int J Rock Mech Min Sci & Geomech Abstr, 53: 97-103.

Carta Militar de Portugal, (1998). Folha 123, Valongo, à escala 1: 25000 do Instituto Geográfico do Exército

Castelo Branco J., Baptista, J., Diogo, M. T. (2007). Comparação da avaliação dos riscos por dois métodos correntemente utilizados na indústria extrativa. Revista da Faculdade de Ciência e Tecnologia. Issue 4, p106-114.

Chaminé, H.I. & Gaspar, A.F. (1995). Estudo da compartimentação de maciços rochosos pela técnica de amostragem linear: aplicação a uma travessa da Mina de Carvão de Germunde. Estudos, Notas & Trabalhos Inst. Geol. Min., 37: 97-111.

Chaminé, H.I., Afonso M.J., Ramos L. & Pinheiro R. (2015). Scanline sampling techniques for rock engineering surveys: insights from intrinsic geologic variability and uncertainty (Chapter 61). In: Giordan D., Thuro K., Carranza-Torres C., Wu F., Marinos P., Delgado C. (eds.), Engineering Geology for Society and Territory – Applied Geology for Major Engineering Projects, IAEG, Springer, 6: 357-361.

Chaminé, H.I., Afonso M.J., Teixeira J., Ramos L., Fonseca L., Pinheiro R. & Galiza A.C. (2013). Using engineering geosciences mapping and GIS-based tools for georesources management: lessons learned from rock quarrying. European Geologist Journal, 36: 27-33

Chang Se S. M., Moore J. - Probabilistic Earthquake Scenarios: Extending Risk Analysis Methodologies to Spatially Distributed Systems. Earthquake Spectra 2000.

Crockford N. (1986) - An Introduction to Risk Management. Second Edition, WoodheadFaulkner. 0-85941-332-2, 1986.

Deere, D. U., Hendron, A. J., Patton, F. D., & Cording, E. J. (1967). Design of Surface and Near Surface Construction in Rock. In C. Fairhurst (Ed.), Failure and Breakage of Rock, proceedings 8th US Symposium of Rock Menchanics (pp. 237-302). New York: Society of Mining Engineers, American Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum Engineers.

Deere, D.U. & Deere, D.W. (1988). The rock quality designation (RQD) index in practice. In: Kirkaldie L., ed., Rock classification systems for engineering purposes, ASTM Special Publication, Philadelphia, 984: 91-101.

Deere, D.U. (1963). Technical description of rock cores for engineering purposes. Rock mechanics and engineering geology, 1(1): 1-18.

Dellero, H., El Kharim, Y. (2013). Rockfall Hazard in an Old Abandoned Aggregate Quarry in the City of Tétouan Morocco. International Journal of Geosciences. Volume 4. pp 1228-1232.

Dinis da Gama, C. (1991). Qualidade e patologia de obras geotécnicas. In: 4º Congresso Nacional de Geotecnia. Sociedade Portuguesa de Geotecnia, Lisboa, 3: 1-20

Duncam, C.W.; Christopher, W. M., Rock Splope Engineering, Civil and Mining, based on the third edition by E. Hoek and J. Bray. 4th Edition Spons Press, Taylor & Francis Group, London and New York, 2004

EU-OSHA, European Agency for safety and Health at work. (2010). E-facts nº 49 E-fact 49: Safe maintenance - quarrying sector. <https://osha.europa.eu/en/tools-and-publications/publications/efacts/efact49>.

Farias, M.M. & Assis, A.P. (1998). Uma Comparação entre Métodos Probabilísticos Aplicados à Estabilidade de Taludes. XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – XI COBRAMSEG. ABMS, Brasília, DF, 2: 1305–1313.

Galiza, A.C.; Ramos, L.; Fonseca, L. & Chaminé, H.I. (2011a). Geotecnia mineira de maciços rochosos fracturados para o controlo da qualidade do desmonte. *Revista Ingenium da Ordem dos Engenheiros*, 124 (Jul/Agos): 76-80.

Galiza, A.C.; Ramos, L.; Fonseca, L.; Teixeira, J. & Chaminé, H.I. (2011b). O papel da geotecnia mineira na optimização do desmonte de maciços rochosos fraturados. *Boletim de Minas, DGEG, Lisboa*, 46(2): 103-120.

Giani, G. P. (1992). *Rock Slope Stability Analysis*. Rotterdam: A.A Balkema Publishers.

González de Vallejo, L. I.; Ferrer, M.; Ortuño, L. & Oteo, C. [coords.] (2002). *Ingeniería geológica* Prentice Hall, Madrid, 715 pp.

Griffiths, D. V. & Fenton, G. A. (2007). *Probabilistic Methods in Geotechnical Engineering*. Internacional Centre For Mechanical Sciences, New York, p. 71-112.

GSE – Geological Society Engineering Group Working Party Report (1995). The description and classification of weathered rocks for engineering purposes. *Quarterly Journal of Engineering Geology, Geological Society*, 28(3): 207-242.

Guerreiro, H. (2005). Condições de Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho em Exploração de Rocha Ornamental e Industrial. XV Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Geológica e de Minas da Ordem dos Engenheiros.

Hadden S. G. (1984) – Introduction: Risk policy in American Institutions. Risk analysis, institutions and public policy. Port Washington, NY: Associated Faculty Press 1984.

Hagan, T. N., & Bulow, B. (2000). Blast Designs to Protect Pit Walls. In W. A. Hustrulid, M. K.

Harr, M.E. (1987). *Reliability – Based Design in Civil Engineering*. McGraw-Hill Publishing Company, New York, USA, 291pp.

Harries, G. (1982). Blasting to Achieve Slope Stability in Weak Rock. In C. O. Brawner (Ed.), *Stability in Surface Mining* (Vol. 3, pp. 497-512). Ann Arbor, Michigan: Edwards Brothers, Inc.

Heiniö, M. (1999), *Rock excavation handbook*, 364 pp.

Hidalgo-Montoya, C. A. (2013). Incertezas, Vulnerabilidade e Avaliação de Risco Devido a Deslizamento em Estradas. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-081/13, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 250 pp.

Highland L. M. & Bobrowsky P., 2008. *The landslide handbook: A guide to understanding landslides*: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey.

Hoek E., 1994. Strength of rock and rock masses, *ISRM News Journal*, 2 (2): 4-16.

Hoek E., 2007. *Practical rock engineering*. RocScience: Hoek's Corner, 342 pp.

Hoek, E. & Brown, E. T. 1980a. *Underground excavations in rock*. Institute Mining and Metallurgy, London, 243 pp.

Hoek, E. & Brown, E.T. (1980b). Empirical strength criterion for rock masses. *J. Geotech. Eng., ASCE* 106 (GT9): 1013-1035.

Hoek, E. & Brown, E.T. (1997). Practical estimates of rock mass strength. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.*, 34: 1165-1186.

Hoek, E. & Marinos, P. (2000). Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rock masses. *Tunnels and Tunnelling International*. Part 1 – November 2000, Part 2 – December 2000.

Hoek, E. & Marinos, P. (2007). A brief history of the development of the Hoek-Brown failure criterion. *Soils and Rocks: Int. J. Geotech. Geoenv. Eng.*, 30(2): 85-92.

- Hoek, E. (1994). Strength of rock and rock masses. *News Journal of ISRM*, 2, 2: 4-16.
- Hoek, E. (2007). *Practical rock engineering*. RocScience: Hoek's Corner, 342 pp.
- Hoek, E., & Karzulovic, A. (2000). Rock-Mass Properties for Surface Mines. In W. A. Hustrulid, M. K. McCarter, & D. J. Van Zyl (Eds.), *Slope Stability in Surface Mining* (pp. 59-67). Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.
- Hoek, E., Bray, J.W. (1981). *Rock Slope Engineering* (3rd edition). The Institution of Mining and Metallurgy, London, 358 p.
- Hoek, E., Carter, T.G. & Diederichs, M.S., 2013. Quantification of the geological strength index chart. In: *Proceedings geomechanics symposium 47th US rock mechanics*, San Francisco, CA, ARMA 13-672, p. 1-8.
- Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, W.F. (1993) *Support of underground excavations in hard rock*, 215 pp.
- Hoek, E., Rippere, K. H., & Stacey, P. F. (2000). Large-Scale Slope Designs - A Review of the State of the Art. In W. A. Hustrulid, M. K. McCarter, & D. J. Van Zyl (Eds.), *Slope Stability in Surface Mining* (pp. 3-10). Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration Inc.
- Hoek, E.; Carranza-Torres, C. & Corkum, B. (2002). Hoek-Brown failure criterion: 2002 edition. *Proceedings of the NARMS-TAC Conference, Toronto*, 1: 267-273.
- Hoek, E.; Marinou, P. & Benissi, M. (1998). Applicability of the Geological Strength Index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses: the case of the Athens Schist Formation. *Bull. Eng. Geol. Env.*, 57(2): 151-160.
- Hoek, E.; Wood, D. & Shah, S. (1992). A modified Hoek-Brown criterion for jointed rock masses. In: Hudson J.A., ed., *Proceedings of the Rock Characterization, Symp. Int. Soc. Rock Mech., Eurock '92*, pp. 209-214.
- Hucka, V.A. (1965), A rapid method for determining the strength of rock in situ, *Int. J. Rock Mechanics, Min. Sci.*, 2, 34-127 pp.
- Hudson, J. A. & Priest, S. D. (1983). Discontinuity frequency in rock masses *Int. Jour. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, 20: 73-89.
- Hudson, J. A., (1989). *Rock mechanics principles in engineering practice*. Butterworths. Ciria. London.
- Hudson, J.A. & Harrison, J.P. (2000). *Engineering rock mechanics: an introduction to the principles*. 2nd edition, Pergamon Press. 444 pp.
- Hutchinson, J., Diederichs, M., (1996). Cablebolting in underground mines, pp. 178-250.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics (1978). Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, 15(6): 319-368.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics (1981). Basic geotechnical description of rock masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, 18: 85-110.
- ISRM - International Society for Rock Mechanics (1987). Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks. *Int J Rock Mech Min Sci & Geomech Abstr.*, 15: 89-97.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics (2003). Suggested methods for rock stress estimation – part 1: strategy for rock stress estimation, 8 pp.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics (2003). Suggested methods for rock stress estimation – part 2: overcoring methods, 12 pp.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics. (2007). The complete ISRM suggested methods for characterization, testing and monitoring: 1974-2006. In: Ulusay R. & Hudson J.A., eds., *suggested methods prepared by the commission on testing methods, ISRM*. Ankara, Turkey. 628 pp.
- Kahraman, S. (2001). Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock *Int. J. Rock Mech Min. Sci.*, 38: 981–94.
- Kahraman, S., Fener, M. & Gunaydin, O. (2002). Predicting the Schmidt hammer values of in-situ intact rock

- Kates R. e Kasperson J. (1984) – Comparative risk analysis of technological hazards (a review). Cented Reprint nº 46 Worcester, MA: Clark Technology Centre for Technology, Environment and Development 1984;
- Katza, O. Rechesa, Z. & Roegiersc, J.C. (2000). Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt Hammer Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 37: 723-728.
- Kliche, C. A. (1999). Rock Slope Stability: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Colorado, USA, p. 253
- Lisle, R. J. & Leyshon, P. R. (2004). Stereographic projection techniques for geologists and civil engineers.
- Liu, Y.C. & Chen, C.S., 2007. A new approach for application of rock mass classification on rock slope stability assessment. Engineering Geology, 89:129-43.
- Loczy L., Ladeira E.A., 1980. Geologia Estrutural e Introdução a Geotectónica. Edgard Blucher, Sao Paulo, 527 pp.
- Marinos V., Marinos P. & Hoek E. (2005). The geological strength index: applications and limitations. Bull. Eng. Geol. Env., 64, 1: 55-65.
- Matos, M. L. F., Pinto, F.R. (2010). Indústria Extrativa: Análise de riscos ocupacionais e doenças profissionais. SHO 2010: Colóquio Internacional de Segurança e Higiene Ocupacionais, Guimarães, Portugal, 10-11 fevereiro de 2010, pp. 339-343.
- Miller, R.P. (1965). Engineering classification and index properties for intact rock. PhD Thesis, University of Illinois, 282 pp.
- Miranda, T., Gomes Correia, A. & Ribeiro e Sousa, L. (2006). Determinação de parâmetros geomecânicos em formações rochosas e maciços heterogêneos. Revista Engenharia Civil, UM, 25: 17-40.
- Molag M., Trijsenaar-Buhre I. (2006) – Risk assessment guidelines for tunnels. LNEC - Proc. 0703/11/16184 41 Second International Symposium, Lausanne 2006.
- Nacional Research Council (1995). Probabilistic Methods in Geotechnical Engineering. Committee on Reliability Methods for Risk Mitigation in Geotechnical Engineering Geotechnical Board and Board on Energy and Environmental Systems Commission on Engineering and Technical Systems Washington, D. C., p. 8-35;
- NGI – Norwegian Geotechnical Institute (2013). Using the Q-System, Rock mass classification and support design, 58 pp.
- Pacheco, C., 2015. Taludes rochosos. Metodologias de inspeção e de avaliação de segurança. Caso de estudo das vertentes rochosas de S. Simao. Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Palmström A. (1995). RMI: a rock mass characterization system for rock engineering purposes. University of Oslo, 400 pp. (PhD Thesis).
- Palmström, A. & Stille, H. (2010). Rock engineering. Thomas Telford Ltd., 408 pp.
- Palmstrom, A. (2010). A Short Introduction to the Rock Mass index (RMI) and its Applications. Retrieved 7 28, 2010, from Rock Mass: <http://www.rockmass.net/rmi/descr/rmi.pdf>
- Palmstrom, A., & Broch, E. (2006). Use and Misuse of Rock Mass Classification Systems with Particular Reference to the Q-System. Tunnels and Underground Space Technology, 21, 575-593.
- Pantelidis, L. (2009). Rock Slope Stability Assessment through Rock Mass Classification Systems. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences (46), 315-325.
- Peacock, D. C. P. (2006). Predicting Variability in joint frequencies from boreholes. Journal of Structural Geology, 28: 353-361.
- Pierson, L.A., Davis, S.A., Van Vickle, R., 1990. Rockfall hazard rating system implementation manual. In: Report FHWA- OR-EG-90-01. Federal Highway Administration, US Department of Transportation. 80 p.
- Pinheiro M., Sanches S., Miranda T., Neves A., Tinoco J., Ferreira A., Correia A. G., 2015. A new empirical system for rock slope stability analysis in exploitation stage. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 76: 182-191.

- Priest S. D. (1985). Hemispherical Projection Method in Rock Mechanics. Allen & Unwin: London.
- Priest, S.D. & Brown, E.T. (1983). Probabilistic Stability of the Geomechanics Analyses of Variable Rock Slopes. *Tran. Inst. Min. Metall.* 92, Jan., A1-A12.
- Priest, S.D. & Hudson, J.A. (1976). Discontinuity spacing's in rock. *Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, 13: 135-148.
- Priest, S.D. & Hudson, J.A. (1981). Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys *Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, 18: 183-197.
- Priest, S.D. (1993). Discontinuity analysis for rock engineering. Kluwer Academic Publishers. 473 pp.
- Progeo - Consultoria de Engenharia Ltda. (2007). Gerenciamento de Riscos Geotecnológicos, 37 p.
- Read e Stacy, 2009, Guidelines for open pit design; Editor John Read and Peter Stacy, CSIRO Publishing, 496pp, Australia.
- Read, J. & Stacey, P. (2011). Guidelines for Open Pit Slope Design. Ed. John Read & Peter Stacey. CRC Press/Balkema.
- Ribeiro, A. et al (1979). Introduction à la géologie générale du Portugal. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.
- Rocha, M. (1981). Mecânica das Rochas. LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 445 pp.
- Rocscience (2004). Slide versão 5.0. Slide Tutorials 08, 11. Rocscience, Toronto, Ontario, Canada.
- Rocscience Inc. (2003). Determining Input Parameters for a RocFall Analysis. RocNews .
- Rocscience Inc. (2010). RockFall v4.0: Statistical Analysis of Rockfalls. Retrieved 77, 2010, from Rocscience: <http://www.rocscience.com/products/RocFall.asp>
- Romana M., 1985. New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. In: International Symposium on the role of rock mechanics. ISRM pp. 49-53.
- Romana M., 1993. A geomechanics classification for slopes: Slope Mass Rating (In Comprehensive Rock Engineering. Ed. J. Hudson, Vol. 3), First Edition. Pergamon, Oxford. 45pp.
- Romana M., 1995. The geomechanics classification SMR for slope correction. In: Fujii (ed.). Proceedings 8th International ISRM Congress.
- Romana M., 1997. El papel de las clasificaciones geomecánicas en el estudio de la estabilidad de taludes. In: Alonso et al. (eds.), IV Simposio nacional sobre taludes y laderas inestables, Granada, vol. III, pp. 955-1011.
- Romana M., Seron J.B. & Montalar E, 2001. La clasificación geomecánica SMR. Aplicación experiencias y validación". V Simposio Nacional de Taludes y Laderas Inestables. Madrid, pp. 393-404.
- Romana M., Seron J.B., Montalar E., 2003. SMR Geomechanics classification: Application, experience and validation. ISRM 2003, pp. 1-4.
- Rossmannith, H. P., & Uenishi, K. (1997). Post-Blast Bench Block Stability Assessment. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 34, 3-4.
- Sá, A. A. & Gutiérrez-Marco, J. C. (Coords) (2006). Trilobites gigantes das ardósias de Canelas (Arouca). *Ardósias Valério & Figueiredo, Lda. Ed.*, 205 p.
- Sandroni, S.S. & Sayão, A.S. (1993). The use of relative probability of failure in the design of open pit mine slopes. *Innovative Mine Design for the 21st Century*, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp. 21-24.
- Santi, P. M., Russel, C. P., Higgins, J. D., & Spriet, J. I. (2008). Modification and statistical analysis of the Colorado Rockfall Hazard Rating System. *Engineering Geology*, 104 (1-2):55-65.
- Santos, V., 2010. Controlo de qualidade de ancoragens passivas e activas. Dissertação de mestrado, Instituto Superior Técnico.
- Schmidt, E. (1951). A non-destructive concrete tester. *Concrete*, 59 (8): 34-35.

- Serra J.R., E., Ojima, L. M., Caraterização e classificação de maciços rochosos, In *Geologia de Engenharia*. 4ª reimpressão, S. Paulo, ABGE, P 211-226, 2004
- Soares, R. M. V. (1999). Abordagem didática ao património geológico de Arouca, Castelo de Paiva e Vale de Cambra. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Geologia e Biologia. Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, Universidade de Aveiro, 208 p.
- Swan, G. & Sepulveda, R. 2001, Slope stability at Collahuasi. In Hustrulid et al. (eds.). *Slope stability in surface Mining*. Denver: SME, pp 163-270
- Terzaghi, K. & Richart, F.E. (1952). Stress in rock around cavities. 57-90 pp.
- Terzaghi, K. (1946). Rock defects and locals on tunnel supports. In: In: Proctor R.V. & White T.L., eds, *Rock tunnelling with steel supports*, The Commercial Shearing & Stamping Co.. Youngstown, Ohio, 1: 17-99.
- Trijssenaar-Buhre I., Koch W., Wiesma T., Ramirez C. (2005). Current practice in tunnel safety. D1 Report, Work package 1 "Current state of practice", SafeT April 2005.
- U. S. Army Corps of Engineers (1999), Risk-Based Analysis in Geotechnical Engineering for Support of Planning Studies, Engineering Technical Letter ETL 1110- 2-556, Department of the Army, Washington, DC 20314-1000.
- U.S. Dept. of Defense (1987) – Military standard, system safety program requirements. MIL-STD-882B, Notical 1987.
- Vallejo L. I. G., Ferrer M., Ortuno L. & Oteo C., 2002. *Ingenierna Geologica*. Prentice Hall, Madrid. 715 pp.
- Whitman, R.V. (1984). Evaluating calculated risk in geotechnical engineering. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 110(2): 145-189.
- Wittke, W. (1990). *Rock mechanics: theory and applications with case histories*. Springer-Verlag, Berlin, 1076 pp.
- Wittreich, C. D. (1987). *Methods of Analysis in Geological Engineering*. Thesis for MS, University of Idaho, College of Mines and Earth Resources.
- Wyllie D.C. & Mah C. W., 2004. *Rock Slope Engineering: Civil and Mining*, 4th Edition. Spon Press, London
- Yarahmadi, R., Bagherpour, R., Khademian, A. (2014). Safety risk assessment of Iran's dimension stone quarries (Exploited by diamond wire cutting method). *Safety Science* Março 2014. Volume 63 pp. 146–150.
- Zimmerman R. (1986) – The management of risk. Risk evaluation and management, ed. V.T. Covello, J. Menkes and J. Mumpower, 435-60. New York: Plenum 1986;
- Zou, D. H., & Wu, Y. K. (2001). Investigation of Blast-Induced Fracture in Rock Mass Using

Sites consultados:

www.aridos.org (janeiro 2018)

www.en.wikipedia.org/wiki (abril 2017)

www.engenhariacivil.com (março de 2018)

www.gabioes.com.pt (junho de 2018)

www.geobrugg.com (junho de 2018)

www.google.com/earth (abril de 2017)

www.google.pt/maps (abril de 2017)

www.ine.pt (fevereiro de 2018)

www.lneg.pt (dezembro de 2017)

www.ngi.no (abril de 2017)

www.proceq.com (dezembro de 2017)

www.pt.wikipedia.org (abril de 2017)

www.rocscience.com (dezembro de 2017)

www.sraeurope.eu-vri.eu (agosto 2018)

www.srk.co.uk (setembro 2018)

(página propositadamente em branco)

(página propositadamente em branco)

9. ANEXOS

1. Elementos históricos da pedreira
2. Elementos topográficos e modelações
3. Levantamento das descontinuidades
4. Esclerómetro.
5. Tilt test
6. Compressão uniaxial
7. Ficha de classificação
8. Modelações numéricas
9. Análise de risco
10. Redes de aço - Geobruigg

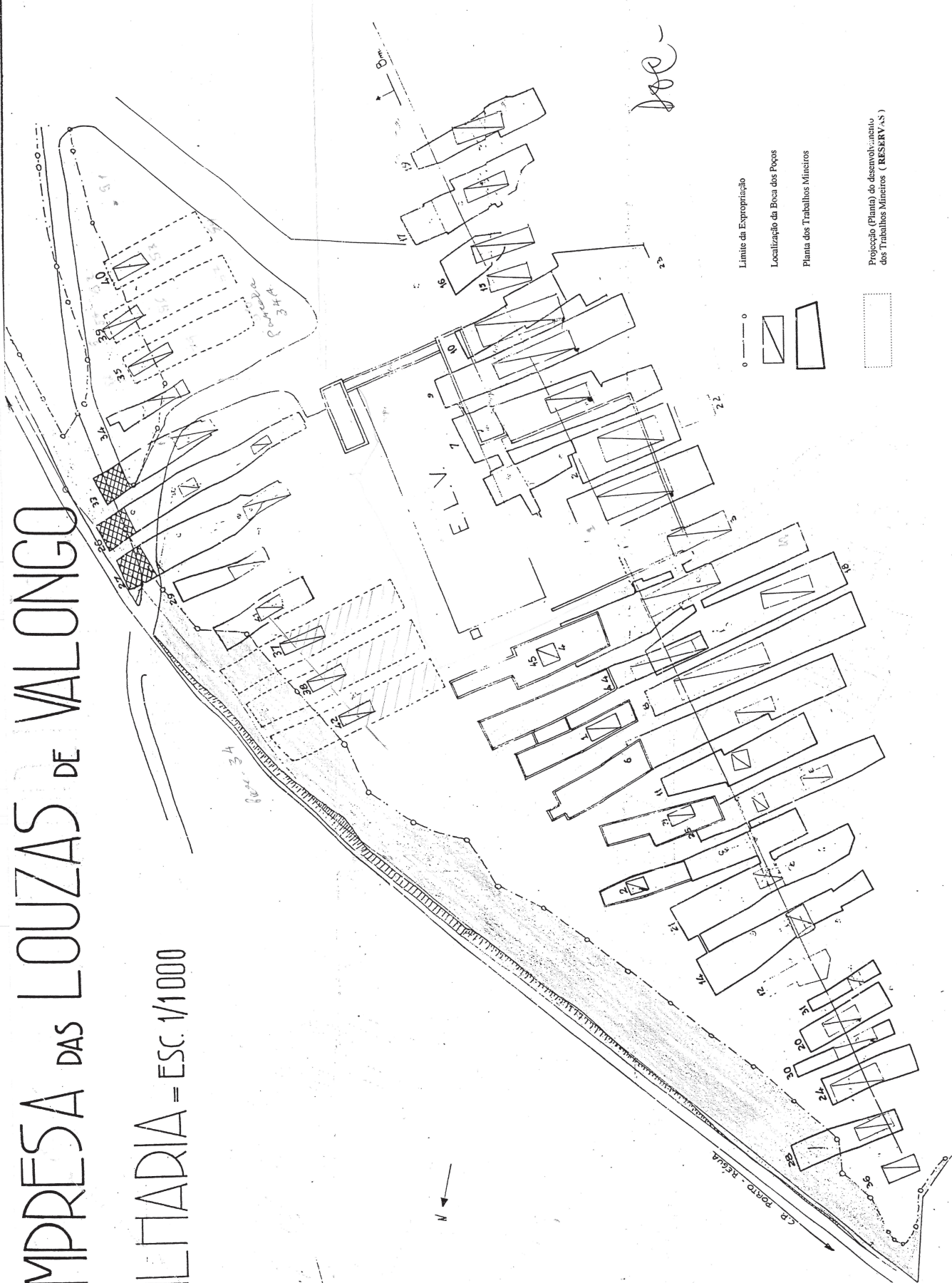
ANEXO 1 Elementos históricos _____	2
ANEXO 2 Elementos topográficos e modelações _____	8
ANEXO 3 Levantamento das descontinuidades _____	18
ANEXO 4 Esclerómetro _____	26
ANEXO 5 Til test _____	40
ANEXO 6 Compresssão uniaxial _____	46
ANEXO 7 Ficha de classificação _____	66
ANEXO 8 Modelações numéricas _____	70
folha pág branca anexos _____	83
ANEXO 9 Análise de risco _____	84
ANEXO 10 Redes de aço _____	128

ANEXO 1

Elementos históricos

EMPRESA DAS LOUZAS DE VALONGO

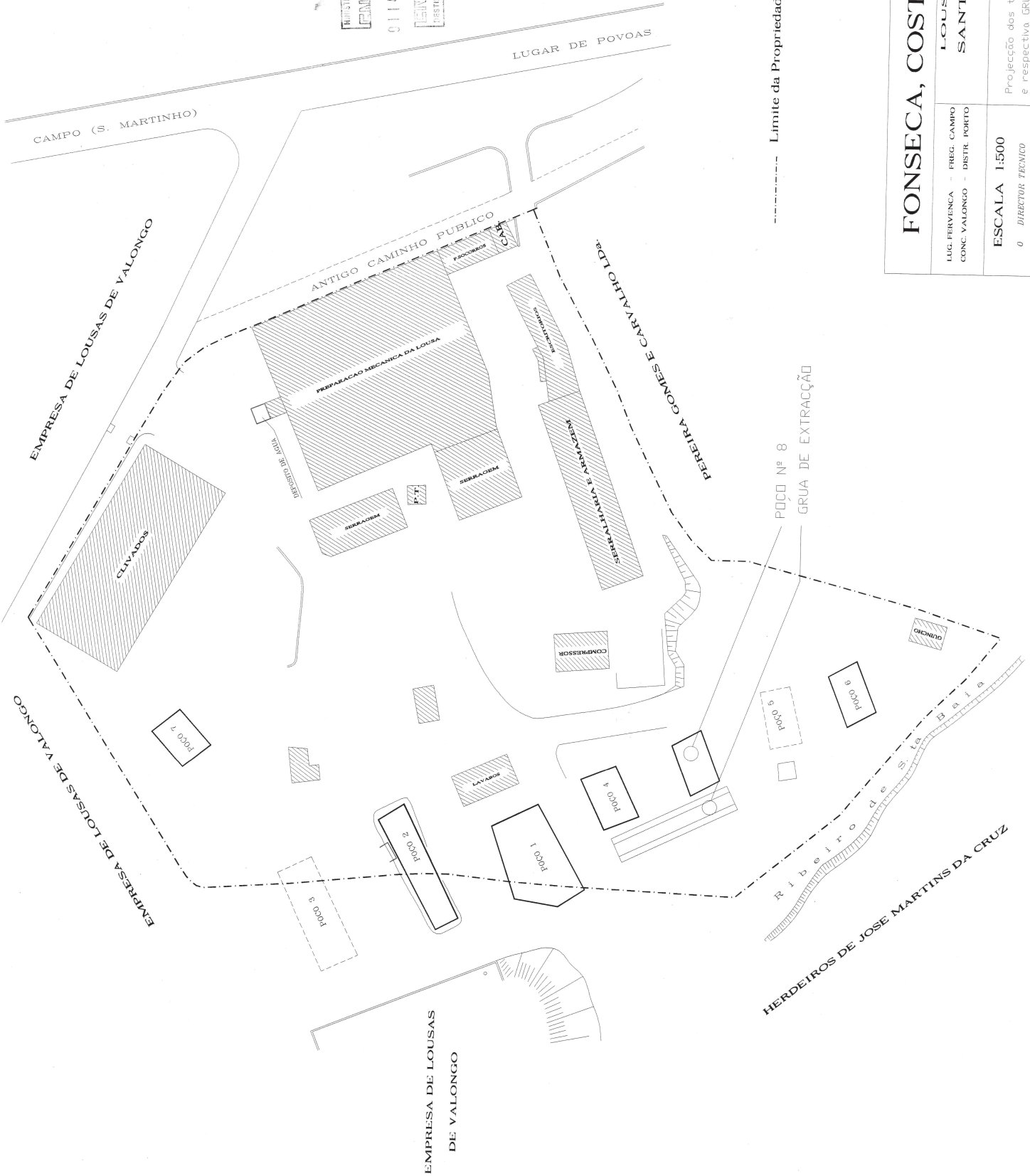
MILITARIA - ESC. 1/1000



EMPRESA DAS LOUZAS DE VALONGO S.A.	
Escala 1:1000	PEDREIRA DA MILHARIA PLANTA GERAL - IMPLANTAÇÃO DA ÁREA A EXPROPRIADA PELO NO FERROVIÁRIO PARCELA Nº 34
POÇOS Nº 37, 38, 42	



REGISTRO
 011401 - 3 NOV 97
 REGISTRO
 PRESTIM



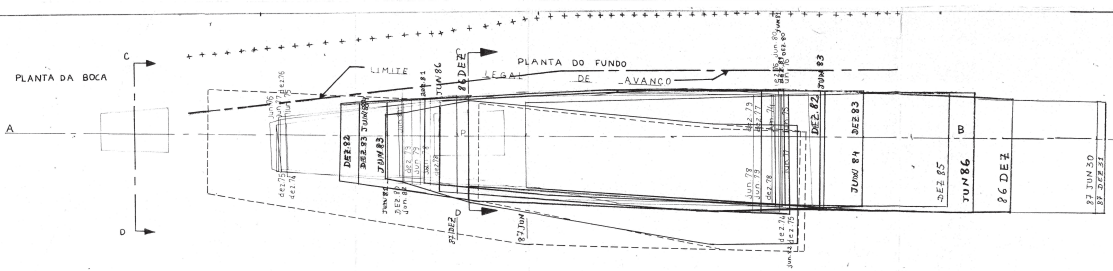
FONSECA, COSTA CIA Lda.

LUG. PEREIRA GOMES - FREG. CAMPO
 CONC. VALONGO - DISTR. PORTO

LOUSEIRA N.º 4110
 SANTA BAIA N.º 3

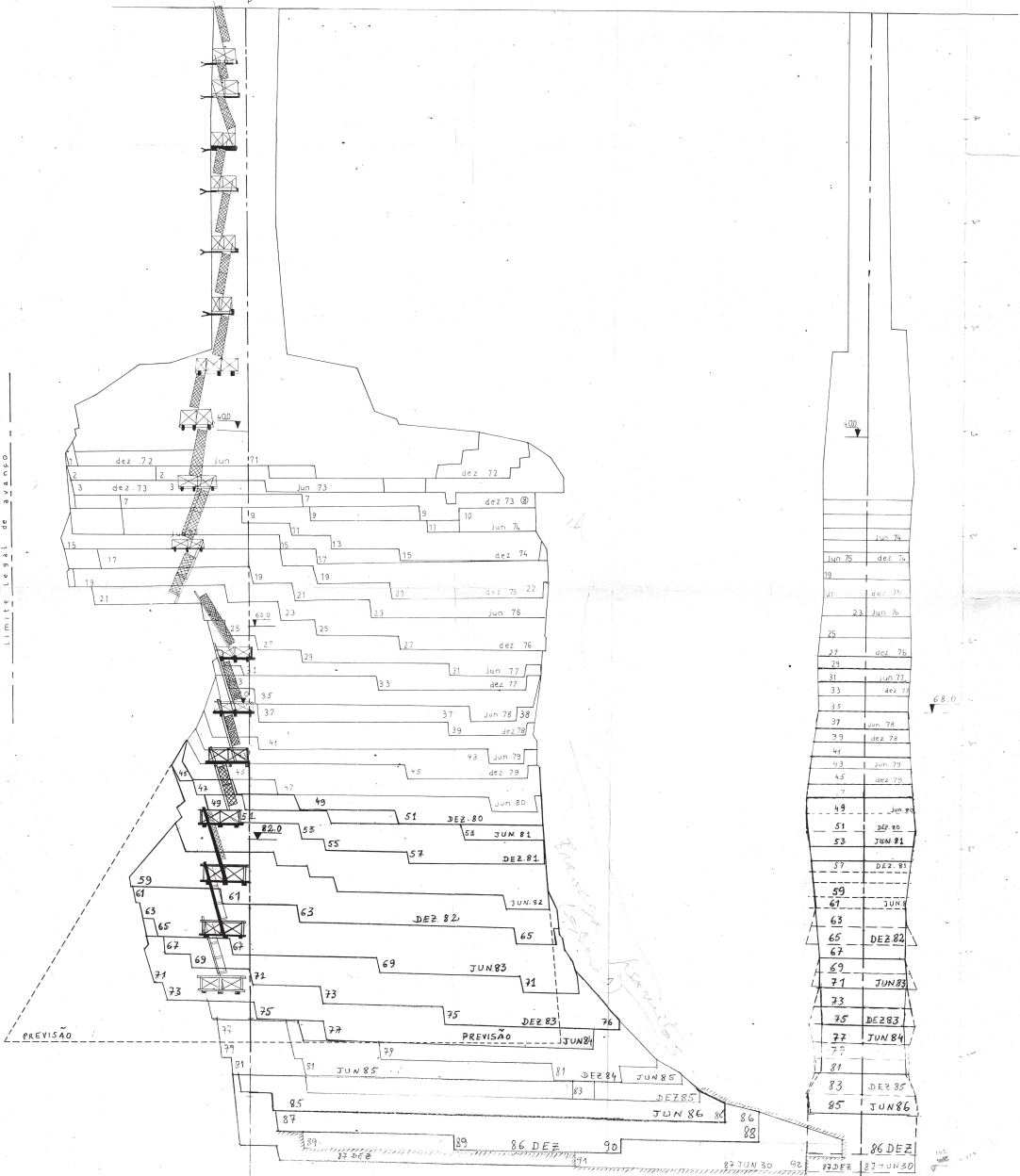
ESCALA 1:500
 O DIRECTOR TÉCNICO
S. Gomes
 97.7.6.30

Projecto dos trabalhos a realizar - POÇO Nº8
 e respectiva GRUA DE EXTRAÇÃO na
 Propriedade de Fonseca, Costa CIA Lda.



CORTE AB

CORTE CD



STA. BAÍA Nº1 PEDREIRA Nº 3883		EMPRESA DAS LOUSAS DE VALONGO, S.A.R.L.	
S. Martinho do Campo VALONGO PORTO		POÇO 1 PLANTAS E CORTES	
ESC. 1/200	data	O DIRECTOR TÉCNICO	

Anexo 1.4

Ligações para vídeos alusivos à Pedreira da Milhária e à exploração de Ardósia em Valongo



Ilustração 1.4 Vista lateral do talude estudado

Link para: Fabrico nacional (RPT) – “Empresa de Lousas de Valongo” – Fev2018

<https://www.rtp.pt/play/p3511/fabrico-nacional>

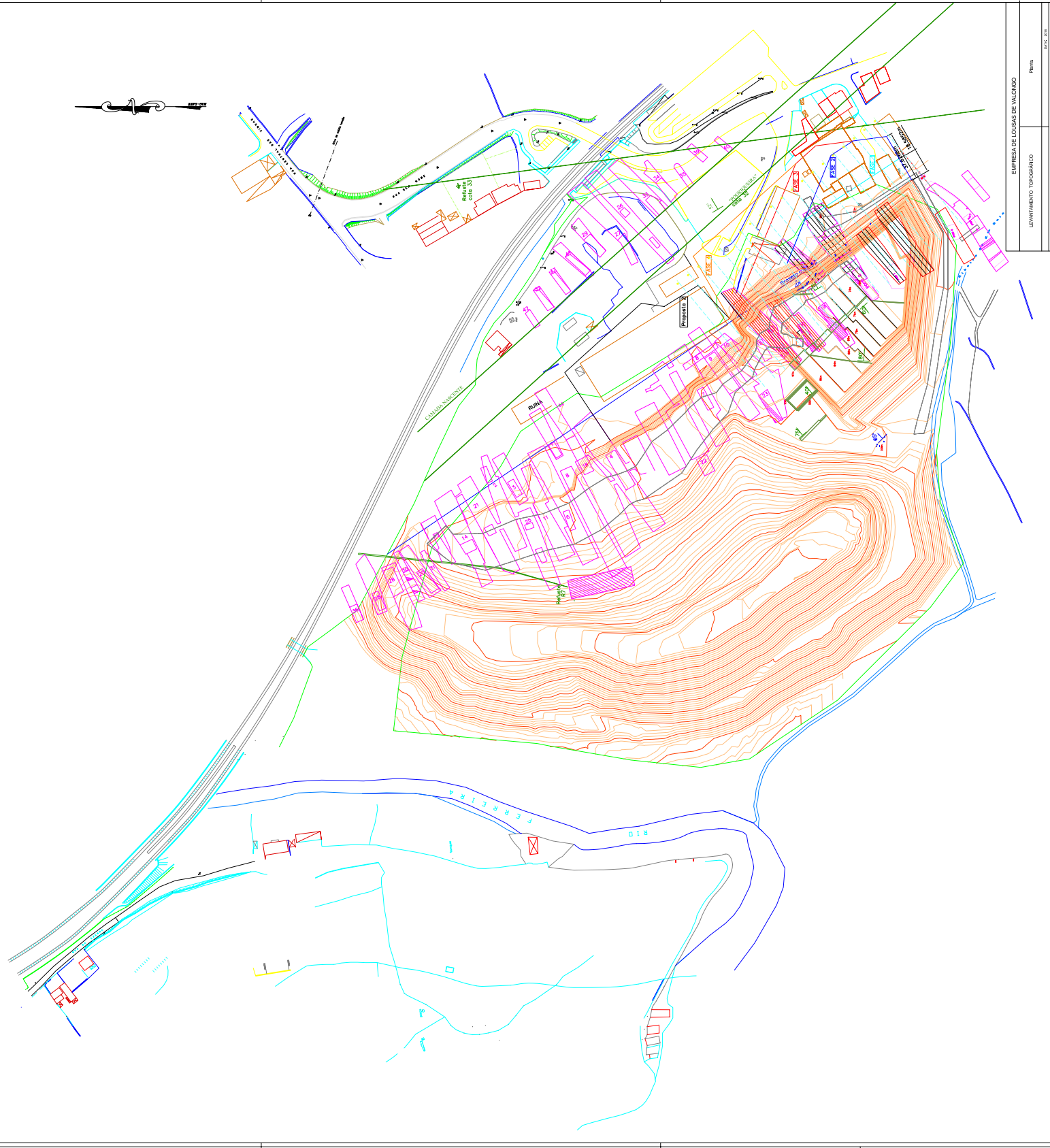
Link para: “A pedra negra de Valongo – Uma história desconhecida” (C. M. Valongo)

<https://youtu.be/NAWUQPcTphQ>

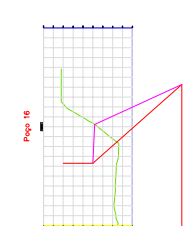
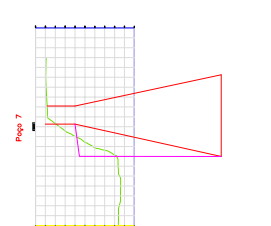
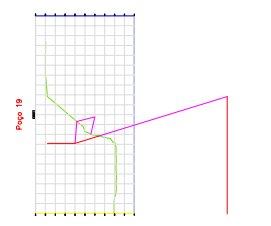
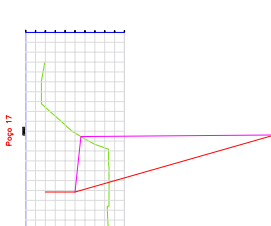
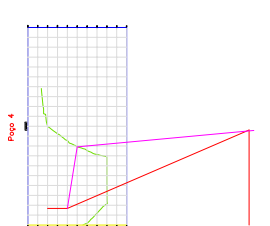
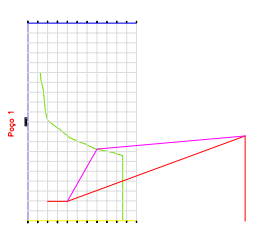
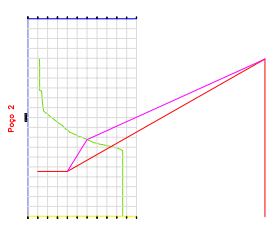
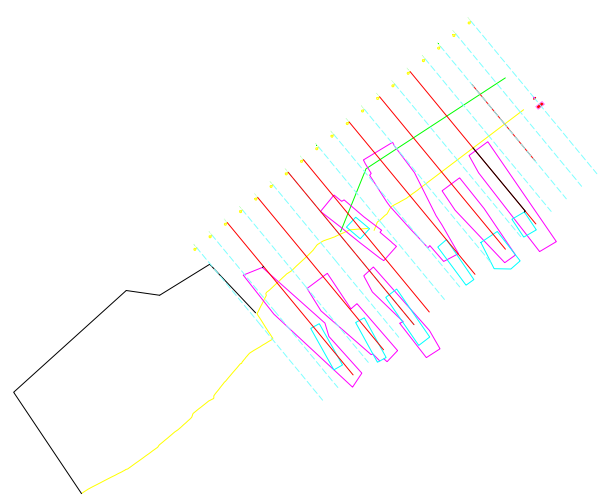
(página propositadamente em branco)

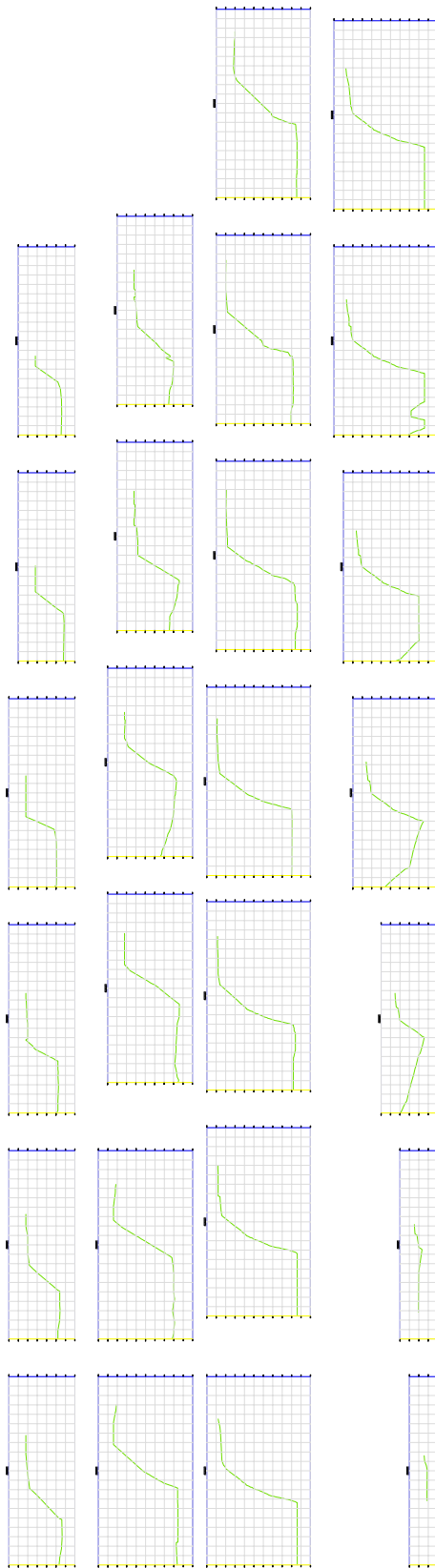
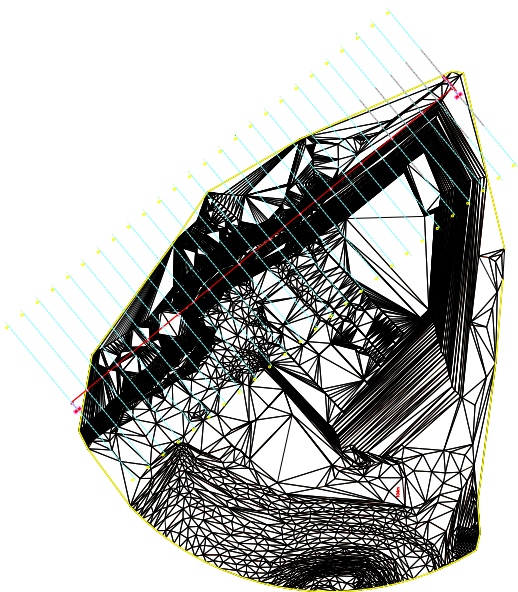
ANEXO 2

Elementos topográficos e modelações



EMPRESA DE LOISAS DE VALDINO
 RUA
 LEVANTAMENTO TOPOGRAFICO
 1:500
 2022

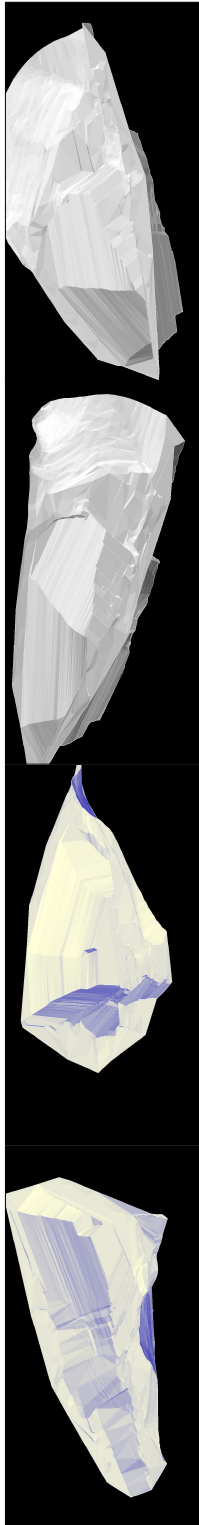




ALÇADO DO HASTEAL EM ESTUDO



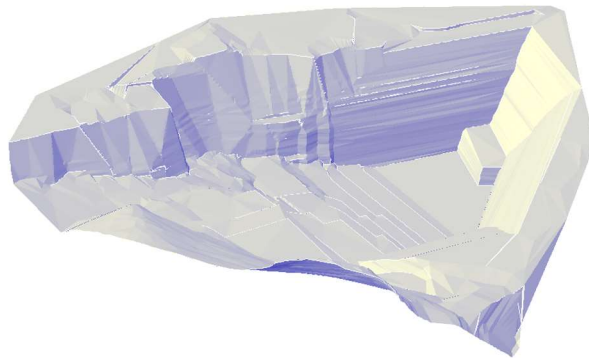
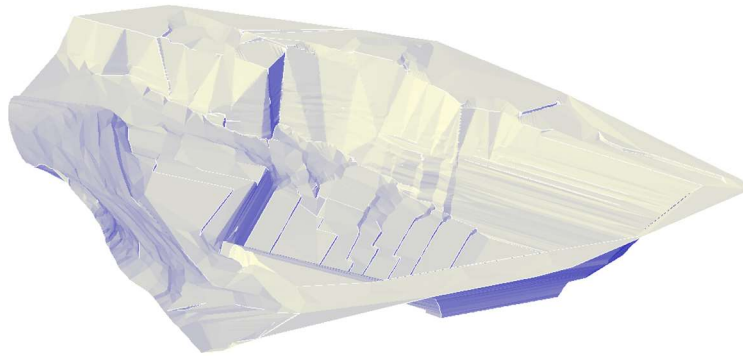
PERSPETIVAS 360º DA ENVOLVENTE



EMPRESA DE LOISAS DE VALONGO	
MODELAÇÃO DOS HASTEALS	Após os Anos em Estudo e Proposta 396

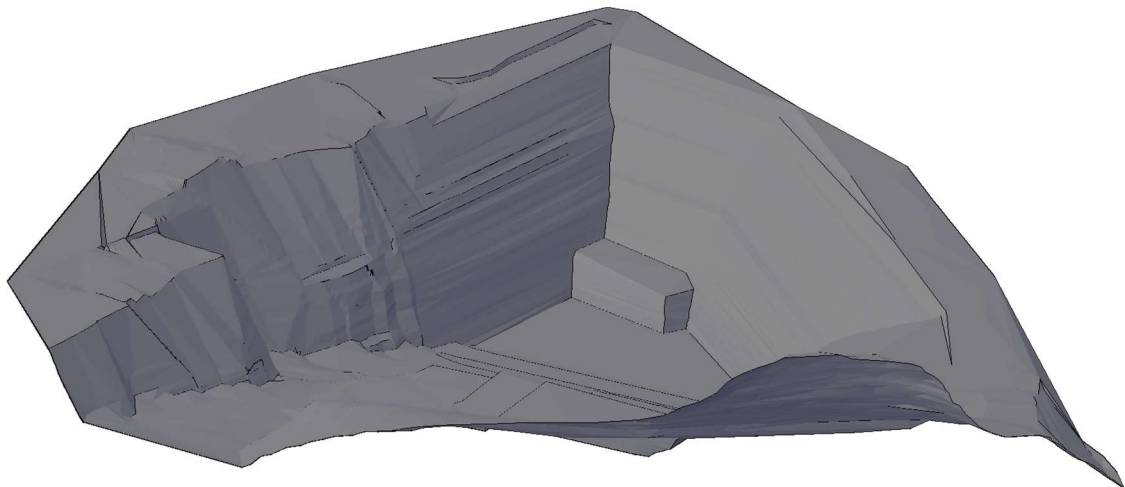
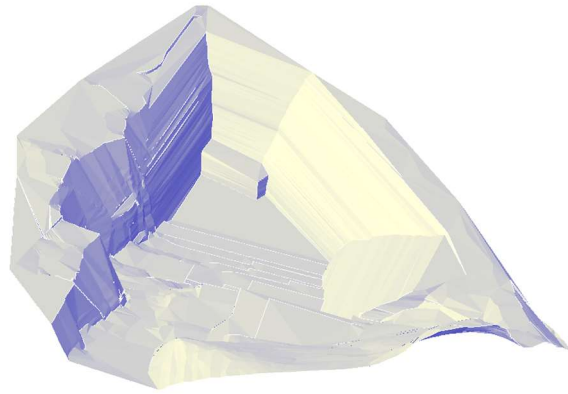
Anexo 2.5

Modelações I; II



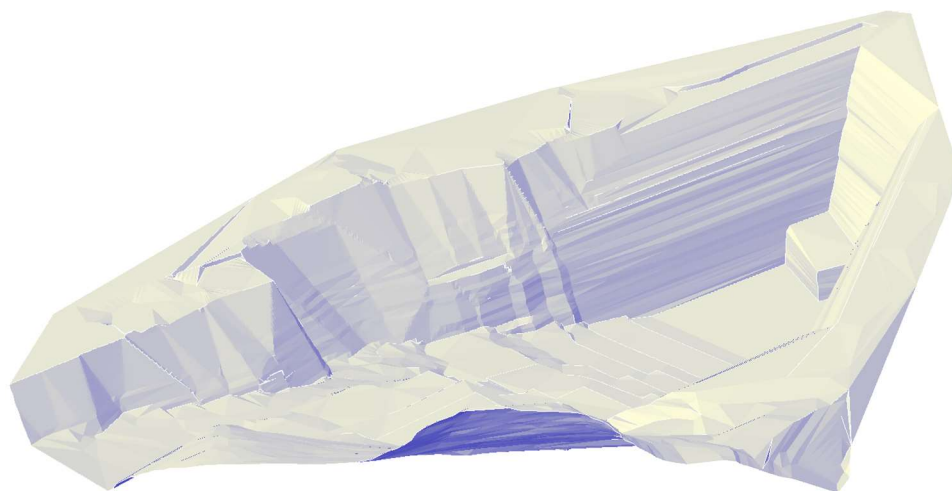
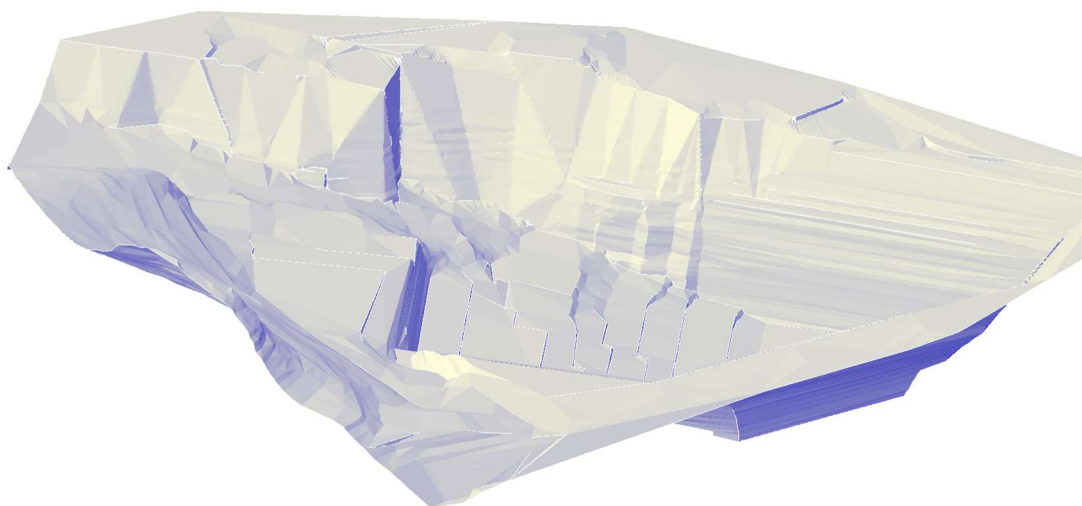
Anexo 2.6

Modelações III; IV



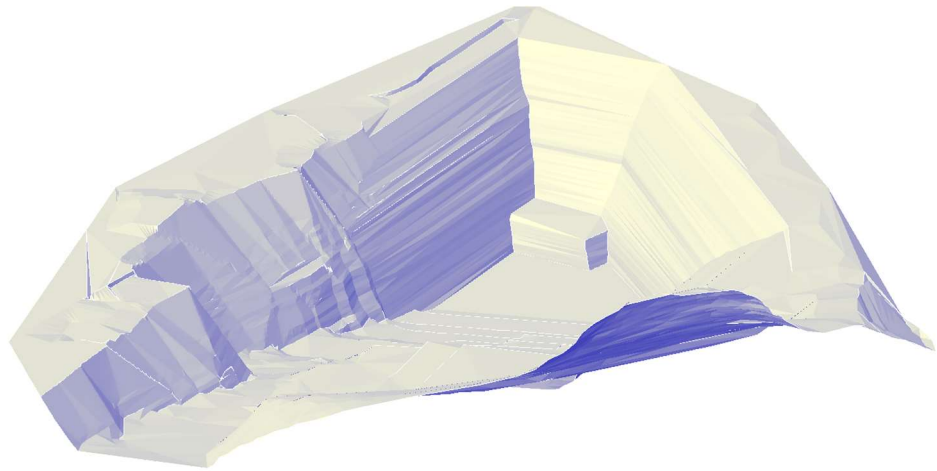
Anexo 2.7

Modelações V; VI



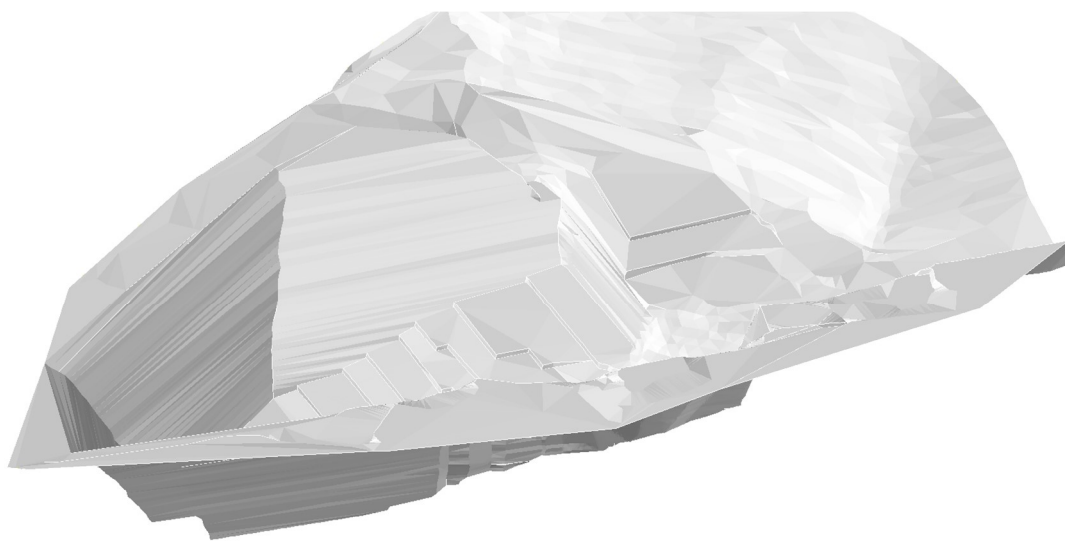
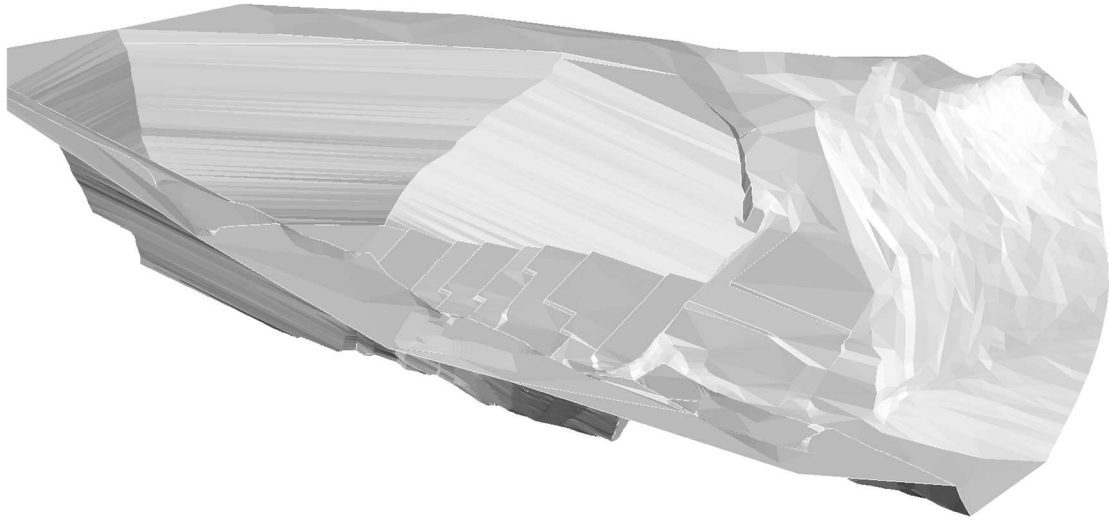
Anexo 2.8

Modelações VII; VIII



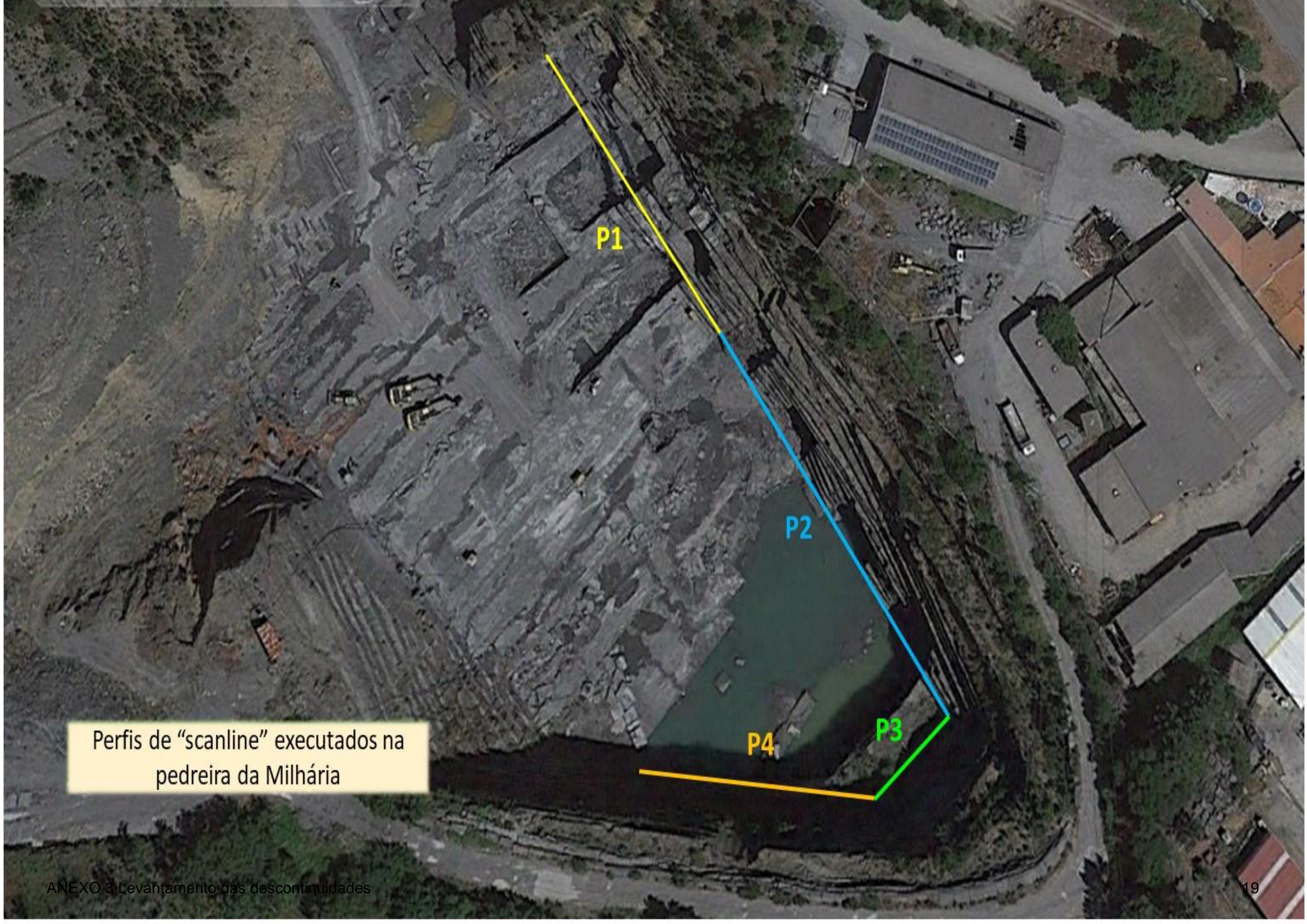
Anexo 2.9

Modelações IX; X



ANEXO 3

Levantamento das descontinuidades



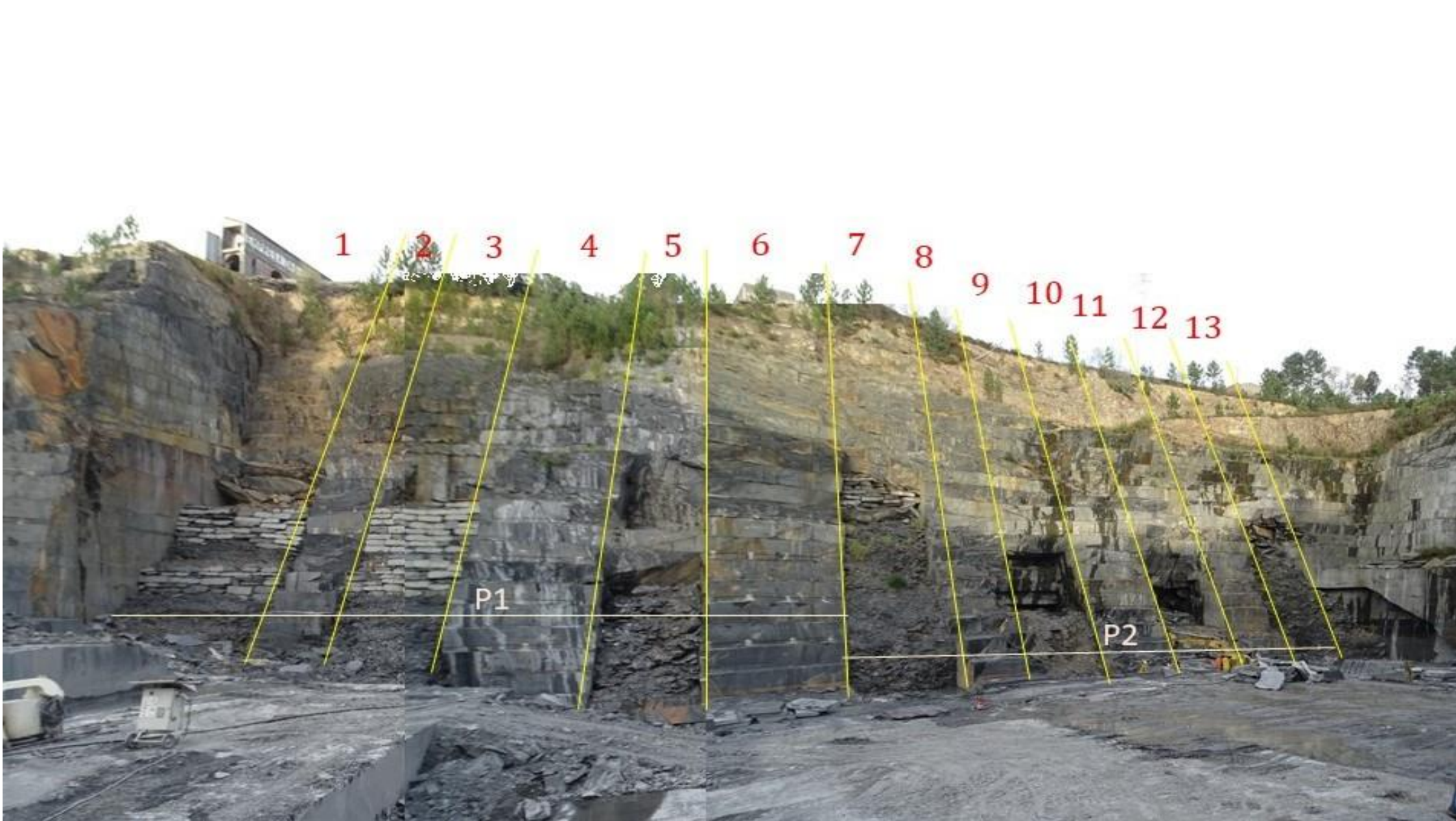
P1

P2

P4

P3

Perfis de "scanline" executados na
pedreira da Milhária



para DIPS	P1 (64,48m*)						P2 (56,25m*)						P3 (26,30m)						P4 (33,95m)										
	dip	dip_dir	OK				dip	dip_dir	OK				dip	dip_dir	OK				dip	dip_dir	OK								
1	25	110	N	20	E;	25	SE	30	325	N	55	E;	30	NW	89	108	N	18	E;	89	SE	90	115	N	25	E;	90	SE	
2	85	145	N	55	E;	85	SE	70	170	N	80	E;	70	SE	89	108	N	18	E;	89	SE	90	115	N	25	E;	90	SE	
3	10	340	N	70	E;	10	NW	50	300	N	30	E;	50	NW	89	108	N	18	E;	89	SE	90	115	N	25	E;	90	SE	
4	85	145	N	55	E;	85	SE	45	135	N	45	E;	45	SE	89	108	N	18	E;	89	SE	90	115	N	25	E;	90	SE	
5	70	180	N	90	E;	70	S	45	135	N	45	E;	45	SE	89	108	N	18	E;	89	SE	87	111	N	21	E;	87	SE	
6	50	120	N	30	E;	50	SE	80	122	N	32	E;	80	NW	89	93	N	3	E;	89	SE	87	93	N	3	E;	87	SE	
7	70	130	N	40	E;	70	SE	20	121	N	150	E;	20	SW	89	145	N	52	E;	89	SE	89	145	N	52	E;	89	SE	
8	70	143	N	43	E;	70	SE	77	118	N	28	E;	77	SE	10	45	N	135	E;	15	NE	77	320	N	50	E;	77	NW	
9	68	130	N	40	E;	68	SE	87	111	N	21	E;	87	SE	30	145	N	54	E;	30	SE	30	144	N	54	E;	30	SE	
10	72	90	N	0	E;	72	E	87	93	N	3	E;	87	SE	70	270	N	90	E;	70	W	70	270	N	90	E;	70	W	
11	73	90	N	0	E;	73	E	89	142	N	52	E;	89	SE	80	300	N	30	E;	80	NW	80	300	N	30	E;	80	NW	
12	68	55	N	145	E;	68	NE	10	50	N	140	E;	10	NE	88	145	N	55	E;	88	SE	87	140	N	50	E;	87	SE	
13	70	100	N	10	E;	70	SE	30	144	N	54	E;	30	SE	88	148	N	58	E;	88	SE	87	140	N	50	E;	87	SE	
14	80	150	N	60	E;	80	SE	70	90	N	90	E;	70	N	88	148	N	58	E;	88	SE	8	48	N	138	E;	8	NE	
15	75	145	N	55	E;	75	SE	80	120	N	30	E;	80	SE	20	60	N	150	E;	20	NE	20	115	N	25	E;	20	SE	
16	78	100	N	10	E;	78	SE	89	147	N	57	E;	89	SE	80	165	N	75	E;	83	SE	70	115	N	25	E;	70	SE	
17	65	145	N	55	E;	65	SE	89	147	N	57	E;	89	SE	80	160	N	70	E;	80	SE	75	115	N	25	E;	75	SE	
18	45	340	N	70	E;	45	NW	89	147	N	57	E;	89	SE	90	140	N	50	E;	90	SE	90	115	N	25	E;	90	SE	
19	45	160	N	70	E;	45	SE	20	60	N	150	E;	20	NE	80	164	N	74	E;	80	SE	80	163	N	73	E;	80	SE	
20	80	245	N	155	E;	80	SW	80	160	N	70	E;	80	SE	80	164	N	74	E;	82	SE	80	163	N	73	E;	80	SE	
21	80	133	N	43	E;	80	SE	80	160	N	70	E;	80	SE	70	120	N	30	E;	70	SE	70	120	N	30	E;	70	SE	
22	72	90	N	0	E;	72	E	90	320	N	50	E;	90	NW	80	145	N	54	E;	80	SE	81	145	N	55	E;	81	SE	
23	78	90	N	0	E;	78	E	80	160	N	70	E;	80	SE	80	145	N	54	E;	80	SE	81	145	N	55	E;	81	SE	
24	65	145	N	55	E;	65	SE	80	160	N	70	E;	80	SE	90	147	N	57	E;	89	SE	88	145	N	55	E;	88	SE	
25	67	135	N	45	E;	67	SE	70	120	N	30	E;	70	SE	90	147	N	57	E;	89	SE	90	145	N	55	E;	90	SE	
26	90	135	N	45	E;	90	SE	40	135	N	45	E;	40	SE	90	150	N	60	E;	90	SE	90	150	N	60	E;	90	SE	
27	80	130	N	40	E;	80	SE	20	70	N	160	E;	20	NE	90	320	N	50	E;	90	NW	90	320	N	50	E;	90	NW	
28	80	145	N	55	E;	80	SE	80	120	N	30	E;	80	SE	86	300	N	30	E;	86	NW	86	300	N	30	E;	86	NW	
29	70	130	N	40	E;	70	SE	80	160	N	70	E;	80	SE	90	315	N	45	E;	90	NW	90	315	N	45	E;	90	NW	
30	50	240	N	150	E;	50	SW	30	340	N	70	E;	30	NW	80	110	N	20	E;	80	SE	80	110	N	20	E;	80	SE	
31	80	115	N	25	E;	80	SE	80	150	N	60	E;	80	SE	90	295	N	25	E;	90	NW	90	295	N	25	E;	90	NW	
32	78	300	N	30	E;	78	NW	87	145	N	55	E;	87	SE	74	334	N	64	E;	74	NW	74	334	N	64	E;	74	NW	
33	75	336	N	66	E;	75	NW	87	145	N	55	E;	87	SE	80	98	N	8	E;	80	SE	85	135	N	45	E;	85	SE	
34	80	340	N	70	E;	80	NW	87	150	N	60	E;	87	SE	75	98	N	8	E;	75	SE	85	135	N	45	E;	85	SE	
35	80	150	N	70	E;	80	SE	87	320	N	50	E;	87	SE	80	98	N	8	E;	80	SE	85	135	N	45	E;	85	SE	
36	70	145	N	55	E;	70	SE	84	300	N	30	E;	84	NW	78	98	N	8	E;	78	SE	88	141	N	51	E;	88	SE	
37	65	145	N	55	E;	65	SE	89	315	N	45	E;	89	NW	72	98	N	8	E;	72	SE	88	141	N	51	E;	88	SE	
38	90	140	N	60	E;	90	SE	80	110	N	20	E;	80	SE	78	98	N	8	E;	78	SE	88	141	N	51	E;	88	SE	
39	80	330	N	50	E;	80	NW	89	295	N	25	E;	89	NW	50	278	N	8	E;	50	NW	50	274	N	4	E;	50	NW	
40	66	300	N	30	E;	66	NW	74	334	N	64	E;	74	NW	85	135	N	45	E;	85	SE	85	135	N	45	E;	85	SE	
41	78	315	N	45	E;	78	NW	85	135	N	45	E;	85	SE	50	275	N	5	E;	45	NW	50	270	N	0	E;	50	W	
42	80	110	N	20	E;	80	SE	85	135	N	45	E;	85	SE	90	150	N	60	E;	88	SE	90	145	N	55	E;	90	SE	
43	78	295	N	25	E;	78	NW	85	135	N	45	E;	85	SE	90	150	N	60	E;	88	SE	90	145	N	55	E;	90	SE	
44	75	334	N	64	E;	75	NW	85	135	N	45	E;	85	SE	90	148	N	58	E;	90	SE	90	150	N	60	E;	90	SE	
45	80	135	N	45	E;	80	SE	85	135	N	45	E;	85	SE															
46	80	135	N	45	E;	80	SE	45	315	N	45	E;	45	NW															
47	80	135	N	45	E;	80	SE	70	110	N	20	E;	70	SE															
48	80	135	N	45	E;	80	SE	70	115	N	25	E;	70	SE															
49	80	135	N	45	E;	80	SE	74	154	N	64	E;	74	SE															
50								50	340	N	70	E;	50	NW															
51								85	135	N	45	E;	85	SE															
52								85	135	N	45	E;	85	SE															
53								50	270	N	0	E;	50	W															
54								90	145	N	55	E;	90	SE															
55								90	145	N	55	E;	90	SE															
56								90	150	N	60	E;	90	SE															
57								90	320	N	50	E;	90	NW															
58								86	300	N	30	E;	86	NW															
59								90	315	N	45	E;	90	NW															
60																													
61																													
62																													

Elementos das descontinuidades, extraídos dos perfis "scanline" realizados, para introdução no DIPS v7.0

PERFIL 1

COMPRIMENTO TOTAL: 64,90m

FICHA DE LEVANTAMENTO

LOUSEIRA 4110 St Baia	Orientação		Hasteal NE - "AVESSAS" cota 75	Obs:										Nome:		Pedreira da Milhária 2017.junho.12/21 (set25) Campo -Valongo					
	do Perfil:			A xistosidade varia entre N146°E;11°NE e N144°E;14°NE										Data:							
	Bancadas:													Localização:							
Parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos segundo ISRM (1978, 1981, 2007), GSE (1995)																					
Descontinuidade nº	Distância à origem (m) D	Litologia	Grau de alteração		Atitude Dir./Inc.				Tipo de descontinuidade	Abertura (mm)		Grau de fracturação (cm)		Comprimento(L) (m)		Terminação T	Curvatura C	Rugosidade R	Tipo de enchimento	Presença de água	Observações
			Tipo	Classificação						Valor	Classificação	Valor	Classificação								
0 pedreira St Baia 3	0,45	ARDOSIA	W1	N	20	E;	25	SE	Diaclase	1	Aberta	45	F3	5	Med. contínua						
	2,70	ARDOSIA	W1	N	55	E;	85	SE	Diaclase	2	Aberta	225	F1	6	Med. contínua						
	3,90	ARDOSIA	W1	N	70	E;	10	NW	Diaclase	3	Razoavel/ larga	120	F2	8	Med. contínua						
	8,90	ARDOSIA	W1	N	55	E;	85	SE	Diaclase	2	Aberta	500	F1	4	Med. contínua						
	13,20	ARDOSIA	W1	N	90	E;	70	S	Diaclase	1	Aberta	210	F1	5	Med. contínua						
	12,10	ARDOSIA	W1	N	30	E;	50	SE	Diaclase	0,5	Aberta	110	F2	10	Contínua						
1 5,9m	13,75	ARDOSIA	W1	N	40	E;	70	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	165	F2	3	Med. contínua		C1	R1	Sem Preenchimento	Seca	Notam-se nódulos de pirite (pipos) com dimensões variadas dos 30cm aos 90cm de comprimento, principalmente à cota de cerca 20m.
	14,07	ARDOSIA	W1	N	43	E;	70	SE	Diaclase	1	Aberta	32	F3	2,4	Pouco contínua		C2	R1	Quartzo	Húmido	
	14,50	ARDOSIA	W1	N	40	E;	68	SE	Diaclase	1	Aberta	43	F3	2,5	Pouco contínua		C1	R1	Sem Preenchimento	Húmido	
	15,10	ARDOSIA	W1	N	0	E;	72	E	Diaclase	2	Aberta	60	F3	2,5	Pouco contínua		C1	R2	Quartzo	Seca	
	16,90	ARDOSIA	W1	N	0	E;	73	E	Diaclase	0,1	Apertada	180	F2	2	Pouco contínua		C1	R2	Quartzo	Seca	
	17,17	ARDOSIA	W1	N	145	E;	68	NE	Diaclase	0,1	Apertada	27	F3	2,5	Pouco contínua		C1	R2	Sem Preenchimento	Seca	
	17,52	ARDOSIA	W1	N	10	E;	70	SE	Diaclase	0,1	Apertada	35	F3	3	Med. contínua		C1	R1	Sem Preenchimento	Seca	
	17,64	ARDOSIA	W1	N	60	E;	80	SE	Falha	2	Aberta	12	F4	2,5	Pouco contínua		C1	R1	Sem Preenchimento	Seca	
	18,22	ARDOSIA	W1	N	55	E;	75	SE	Falha	1	Aberta	58	F3	2,2	Pouco contínua		C1	R1	Sem Preenchimento	Seca	
19,10 pedreira St Baia 2	19,75	ARDOSIA	W1	N	10	E;	78	SE	Diaclase	1	Aberta	153	F2	6	Med. contínua						
	19,80	ARDOSIA	W1	N	55	E;	65	SE	Diaclase	1	Aberta	5	F5	6	Med. contínua						
	21,40	ARDOSIA	W1	N	70	E;	45	NW	Diaclase	2	Aberta	160	F2	5	Med. contínua						
	21,80	ARDOSIA	W1	N	70	E;	45	SE	Diaclase	3	Razoavel/ larga	40	F3	8	Med. contínua						
	29,10	ARDOSIA	W1	N	155	E;	80	SW	Diaclase	2	Aberta	730	F1	4	Med. contínua						
32,50	ARDOSIA	W1	N	43	E;	80	SE	Diaclase	3	Razoavel/ larga	140	F2	6	Med. contínua							
10 10,2m	33,06	ARDOSIA	W1	N	0	E;	72	E	Falha	1	Aberta	256	F1	2,2	Pouco contínua		C1	R1	Rocha esm.	Húmido	
	33,44	ARDOSIA	W1	N	0	E;	78	E	Falha	3	Razoavel/ larga	38	F3	2,5	Pouco contínua		C1	R1	Rocha esm.	Húmido	
	33,98	ARDOSIA	W1	N	55	E;	65	SE	Diaclase	2	Aberta	54	F3	2	Pouco contínua		C3	R2	Sem Preenchimento	Húmido	
	34,47	ARDOSIA	W1	N	45	E;	67	SE	Diaclase	2	Aberta	49	F3	1	Pouco contínua		C3	R2	Sem Preenchimento	Húmido	
	37,06	ARDOSIA	W1	N	45	E;	90	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	259	F1	2	Pouco contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca	
	37,39	ARDOSIA	W1	N	40	E;	80	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	33	F3	3	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca	
	41,01	ARDOSIA	W1	N	55	E;	80	SE	Diaclase	1	Aberta	362	F1	2	Pouco contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Húmido	
41,60	ARDOSIA	W1	N	40	E;	70	SE	Diaclase	2	Aberta	59	F3	6	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Húmido		
42,70 pedreira St Baia 1	43,60	ARDOSIA	W1	N	150	E;	50	SW	Diaclase	1	Aberta	200	F2	25	Muito contínua						
	43,90	ARDOSIA	W1	N	25	E;	80	SE	Diaclase	1	Aberta	30	F3	6	Med. contínua						
	46,20	ARDOSIA	W1	N	30	E;	78	NW	Diaclase	3	Razoavel/ larga	230	F1	6	Med. contínua						
	48,40	ARDOSIA	W1	N	66	E;	75	NW	Diaclase	2	Aberta	220	F1	9	Med. contínua						
	52,40	ARDOSIA	W1	N	70	E;	80	NW	Diaclase	2	Aberta	230	F1	14	Contínua						
	51,10	ARDOSIA	W1	N	70	E;	80	SE	Falha	3	Razoavel/ larga	40	F3	9	Med. contínua						
18 12,5m	52,80	ARDOSIA	W1	N	55	E;	70	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	170	F2	3	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca	
	53,11	ARDOSIA	W1	N	55	E;	65	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	31	F3	5	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca	
	53,26	ARDOSIA	W1	N	60	E;	90	SE	Diaclase	0,1	Apertada	15	F4	5	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca	
	53,82	ARDOSIA	W1	N	50	E;	80	NW	Diaclase	0,1	Apertada	56	F3	2,2	Pouco contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca	
	54,94	ARDOSIA	W1	N	30	E;	66	NW	Diaclase	4	Razoavel/ larga	112	F2	2,2	Pouco contínua		C1	R1	Quartzo	Seca	
	55,09	ARDOSIA	W1	N	45	E;	78	NW	Diaclase	2	Aberta	15	F4	3,2	Muito contínua		C1	R1	Quartzo	Seca	
	56,95	ARDOSIA	W1	N	20	E;	80	SE	Diaclase	1	Aberta	186	F2	2,2	Pouco contínua		C1	R1	Quartzo	Seca	
	57,38	ARDOSIA	W1	N	25	E;	78	NW	Diaclase	0,5	Aberta	43	F3	1,7	Pouco contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca	
	57,53	ARDOSIA	W1	N	64	E;	75	NW	Diaclase	1	Aberta	15	F4	2,2	Pouco contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca	
	57,99	ARDOSIA	W1	N	45	E;	80	SE	Diaclase	0,1	Apertada	46	F3	2,2	Pouco contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca	
	61,50	ARDOSIA	W1	N	45	E;	80	SE	Diaclase	0,1	Apertada	351	F1	1,7	Pouco contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca	
	63,67	ARDOSIA	W1	N	45	E;	80	SE	Diaclase	0,1	Apertada	217	F1	1,7	Pouco contínua		C2	R1	Sem preenchimento	Seca	
	63,71	ARDOSIA	W1	N	45	E;	80	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	4	F5	2,2	Pouco contínua		C2	R1	Sem preenchimento	Húmido	
			W1	N	45	E;	80	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	77	F2	2,2	Pouco contínua		C2	R1	Sem preenchimento	Húmido	

PERFIL 2 COMPRIMENTO TOTAL: 58,66m

FICHA DE LEVANTAMENTO

Orientação		Hasteal NE - "AVESSAS" cota 71										Obs: A xistividade varia entre N146°E;11°NE e N144°E;14°NE		Nome: Pedreira da Milhária							
do Perfil:		N145°E										Data:		2017.junho.12/21 (set25)							
Bancadas:		N145°E										Localização:		Campo -Valongo							
Parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos segundo ISRM (1978, 1981, 2007), GSE (1995)																					
Descontinuidade nº	Distância à origem (m) D	Litologia	Grau de alteração		Atitude Dir./Inc.				Tipo de descontinuidade	Abertura (mm)		Grau de fraturação (cm)		Comprimento(L) (m)		Terminação T	Curvatura C	Rugosidade R	Tipo de enchimento	Presença de água	Observações
			Tipo	Classificação	Valor	Classificação	Valor	Classificação		Valor	Classificação										
64,90 pedreira St Baía 4	65,80	ARDOSIA	W1	N	55	E:	30	NW	Diaclase	2	Aberta	90	F2	5	Med. contínua						
	66,00	ARDOSIA	W1	N	80	E:	70	SE	Diaclase	2	Aberta	20	F3	4	Med. contínua						
	69,60	ARDOSIA	W1	N	30	E:	50	NW	Diaclase	1	Aberta	360	F1	8	Med. contínua						
	71,30	ARDOSIA	W1	N	45	E:	45	SE	Diaclase	1	Aberta	170	F2	9	Med. contínua						
	72,00	ARDOSIA	W1	N	45	E:	45	SE	Diaclase	1	Aberta	70	F2	12	Contínua						
74,70	ARDOSIA	W1	N	32	E:	80	NW	Diaclase	2	Aberta	130	F2	6	Med. contínua							
4 8,9m	32	75,48	ARDOSIA	W1	N	150	E:	20	SW	Diaclase	2	Aberta	218	F1	2,5	Pouco contínua		C1	R1	Quartzo	Húmido
	33	76,24	ARDOSIA	W1	N	28	E:	77	SE	Diaclase	2	Aberta	76	F2	2,2	Pouco contínua		C1	R1	Quartzo	Húmido
	34	76,38	ARDOSIA	W1	N	21	E:	87	SE	Diaclase	1	Aberta	14	F4	2,2	Pouco contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Húmido
	35	78,64	ARDOSIA	W1	N	3	E:	87	SE	Diaclase	1	Aberta	226	F1	5	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Húmido
	36	78,68	ARDOSIA	W1	N	52	E:	89	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	4	F5	6	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
	37	78,75	ARDOSIA	W1	N	140	E:	10	NE	Diaclase	0,01	Mt apertada	7	F4	4	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
	38	78,85	ARDOSIA	W1	N	54	E:	30	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	10	F4	3	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
	39	79,24	ARDOSIA	W1	N	90	E:	70	N	Diaclase	0,01	Mt apertada	39	F3	3	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
	40	79,44	ARDOSIA	W1	N	30	E:	80	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	20	F4	1,5	Pouco contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
	41	79,76	ARDOSIA	W1	N	57	E:	89	SE	Diaclase	1	Aberta	32	F3	6	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
	42	79,79	ARDOSIA	W1	N	57	E:	89	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	3	F5	3	Med. contínua		C1	R2	Sem preenchimento	Seca
	43	81,93	ARDOSIA	W1	N	57	E:	89	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	214	F1	6	Med. contínua		C1	R2	Sem preenchimento	Seca
	44	82,03	ARDOSIA	W1	N	150	E:	20	NE	Diaclase	0,01	Mt apertada	10	F4	1	Pouco contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
	45	82,51	ARDOSIA	W1	N	70	E:	80	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	48	F3	2	Pouco contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
	46	82,65	ARDOSIA	W1	N	70	E:	80	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	14	F4	4	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
	47	83,24	ARDOSIA	W1	N	50	E:	90	NW	Diaclase	0,01	Mt apertada	59	F3	2	Pouco contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
48	83,27	ARDOSIA	W1	N	70	E:	80	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	3	F5	3	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca	
49	83,52	ARDOSIA	W1	N	70	E:	80	SE	Diaclase	3	Razoavel/ larga	25	F3	4	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Húmido	
50	83,58	ARDOSIA	W1	N	30	E:	70	SE	Diaclase	2	Aberta	6	F5	6	Med. contínua				Sem preenchimento	Húmido	
83,60 pedreira St Baía 8	85,30	ARDOSIA	W1	N	45	E:	40	SE	Diaclase	1	Aberta	172	F2	6	Med. contínua						
	86,30	ARDOSIA	W1	N	160	E:	20	NE	Diaclase	1	Aberta	100	F2	8	Med. contínua						
	86,90	ARDOSIA	W1	N	30	E:	80	SE	Diaclase	1	Aberta	60	F2	12	Contínua						
	88,00	ARDOSIA	W1	N	70	E:	80	SE	Diaclase	3	Razoavel/ larga	110	F2	30	Muito contínua						
	89,40	ARDOSIA	W1	N	70	E:	30	NW	Diaclase	2	Aberta	140	F2	7	Med. contínua						
93,30	ARDOSIA	W1	N	60	E:	80	SE	Diaclase	1	Aberta	130	F2	8	Med. contínua							
5 11,14m	51	93,62	ARDOSIA	W1	N	55	E:	87	SE	Diaclase	1	Aberta	292	F1	8	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
	52	93,74	ARDOSIA	W1	N	55	E:	87	SE	Diaclase	0,1	Apertada	12	F4	8	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
	53	93,86	ARDOSIA	W1	N	60	E:	87	SE	Diaclase	0,1	Apertada	12	F4	8	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
	54	94,55	ARDOSIA	W1	N	50	E:	87	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	69	F2	2,1	Pouco contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
	55	94,69	ARDOSIA	W1	N	30	E:	84	NW	Diaclase	3	Razoavel/ larga	14	F4	3	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
	56	96,18	ARDOSIA	W1	N	45	E:	89	NW	Diaclase	2	Aberta	149	F2	2,9	Pouco contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
	57	96,77	ARDOSIA	W1	N	20	E:	80	SE	Diaclase	1	Aberta	59	F3	3,2	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
	58	99,51	ARDOSIA	W1	N	25	E:	89	NW	Diaclase	1	Aberta	274	F1	3,1	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
	59	99,63	ARDOSIA	W1	N	64	E:	74	NW	Diaclase	0,5	Aberta	12	F4	3,5	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
	60	99,72	ARDOSIA	W1	N	45	E:	85	SE	Diaclase	0,1	Apertada	9	F4	2,5	Pouco contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Húmido
	61	100,21	ARDOSIA	W1	N	45	E:	85	SE	Diaclase	0,1	Apertada	49	F3	3	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Húmido
	62	100,55	ARDOSIA	W1	N	45	E:	85	SE	Diaclase	0,1	Apertada	34	F3	5	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
	63	101,64	ARDOSIA	W1	N	45	E:	85	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	109	F2	4	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
64	102,42	ARDOSIA	W1	N	45	E:	85	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	78	F2	4	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca	
104,50 pedreira St Baía 5	106,20	ARDOSIA	W1	N	45	E:	45	NW	Diaclase	1	Aberta	378	F1	5	Med. contínua						
	106,90	ARDOSIA	W1	N	20	E:	70	SE	Diaclase	1	Aberta	70	F2	6	Med. contínua						
	109,90	ARDOSIA	W1	N	25	E:	70	SE	Diaclase	2	Aberta	300	F1	8	Med. contínua						
	110,50	ARDOSIA	W1	N	64	E:	74	SE	Diaclase	4	Razoavel/ larga	60	F3	9	Med. contínua						
	111,00	ARDOSIA	W1	N	70	E:	50	NW	Diaclase	3	Razoavel/ larga	50	F3	9	Med. contínua						
114,76	ARDOSIA	W1	N	45	E:	85	SE	Diaclase	2	Aberta	170	F2	4	Med. contínua							
6 8,03m	65	117,05	ARDOSIA	W1	N	45	E:	85	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	435	F1	2,2	Pouco contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
	66	118,21	ARDOSIA	W1	N	0	E:	50	W	Diaclase	0,01	Mt apertada	116	F2	2,2	Pouco contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
	67	118,74	ARDOSIA	W1	N	55	E:	90	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	53	F3	8	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
	68	119,63	ARDOSIA	W1	N	55	E:	90	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	89	F2	5,7	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
	69	119,74	ARDOSIA	W1	N	60	E:	90	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	11	F4	9	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
	70	120,11	ARDOSIA	W1	N	50	E:	90	NW	Diaclase	0,01	Mt apertada	37	F3	3,3	Med. contínua		C1	R1	Sem preenchimento	Seca
	71	120,24	ARDOSIA	W1	N	30	E:	86	NW	Diaclase	3	Razoavel/ larga	13	F4	2,2	Pouco contínua		C1	R1	Quartzo	Húmido
	72	120,73	ARDOSIA	W1	N	45	E:	90	NW	Diaclase	0,1	Apertada	49	F3	2,4	Pouco contínua		C1	R1	Quartzo	Seca

Notam-se nódulos de pirite com dimensões variadas dos 30cm aos 90cm de comprimento, principalmente à cota de cerca 20m (pipos).

PERFIL 3 COMPRIMENTO TOTAL: 26,30m **FICHA DE LEVANTAMENTO**

Orientação		Hasteal SE cota 71	Obs: A xistosidade varia entre N146°E;11°NE e N144°E;14°NE	Nome:	Pedreira da Milhária
do Perfil:	N40°E			Data:	2017.junho.12/21 (set25)
Bancadas:	N145°E			Localização:	Campo -Valongo

Parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos segundo ISRM (1978, 1981, 2007), GSE (1995)

Descontinuidade nº	Distância à origem (m) D	Litologia	Grau de alteração		Atitude Dir./Inc.				Tipo de descontinuidade	Abertura (mm)		Grau de fracturação (cm)		Comprimento(L) (m)		Terminação T	Curvatura C	Rugosidade R	Tipo de enchimento	Presença de água	Observações
			Tipo	Classificação						Valor	Classificação	Valor	Classificação								
	0,00																				
73	2,20	ARDOSIA	W1	N	18	E;	89	SE	Diaclase	2	Aberta	220	F1	2,2	Pouco contínua		C1		Quartzo	Húmido	
74	2,80	ARDOSIA	W1	N	18	E;	89	SE	Diaclase	2	Aberta	60	F3	2,2	Pouco contínua		C1		Quartzo	Húmido	
75	3,40	ARDOSIA	W1	N	18	E;	89	SE	Diaclase	2	Aberta	60	F3	2,2	Pouco contínua		C1		Quartzo	Húmido	
76	3,70	ARDOSIA	W1	N	18	E;	89	SE	Diaclase	2	Aberta	30	F3	2,2	Pouco contínua		C1		Quartzo	Húmido	
77	3,90	ARDOSIA	W1	N	18	E;	89	SE	Diaclase	2	Aberta	20	F4	2,2	Pouco contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
78	4,80	ARDOSIA	W1	N	3	E;	89	SE	Diaclase	2	Aberta	90	F2	5	Med. contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
79	5,90	ARDOSIA	W1	N	52	E;	89	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	110	F2	6	Med. contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
80	6,20	ARDOSIA	W1	N	135	E;	15	NE	Diaclase	0,01	Mt apertada	30	F3	5	Med. contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
81	6,40	ARDOSIA	W1	N	54	E;	30	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	20	F4	3	Med. contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
82	7,70	ARDOSIA	W1	N	90	E;	70	W	Diaclase	0,01	Mt apertada	130	F2	3	Med. contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
83	7,89	ARDOSIA	W1	N	30	E;	80	NW	Diaclase	0,1	Apertada	19	F4	1,5	Pouco contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
84	8,00	ARDOSIA	W1	N	55	E;	88	SE	Diaclase	0,1	Apertada	11	F4	6	Med. contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
85	8,12	ARDOSIA	W1	N	58	E;	88	SE	Diaclase	0,1	Apertada	12	F4	3	Med. contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
86	8,41	ARDOSIA	W1	N	58	E;	88	SE	Diaclase	0,1	Apertada	29	F3	6	Med. contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
87	8,73	ARDOSIA	W1	N	150	E;	20	NE	Diaclase	0,1	Apertada	32	F3	1	Pouco contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
88	9,90	ARDOSIA	W1	N	75	E;	83	SE	Diaclase	0,1	Apertada	117	F2	2	Pouco contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
89	10,35	ARDOSIA	W1	N	70	E;	80	SE	Diaclase	0,1	Apertada	45	F3	4	Med. contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
90	10,48	ARDOSIA	W1	N	50	E;	90	SE	Diaclase	0,1	Apertada	13	F4	2	Pouco contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
91	10,97	ARDOSIA	W1	N	74	E;	80	SE	Diaclase	0,1	Apertada	49	F3	3	Med. contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
92	11,23	ARDOSIA	W1	N	74	E;	82	SE	Diaclase	4	Razoavel/ larga	26	F3	4	Med. contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
93	11,25	ARDOSIA	W1	N	30	E;	70	SE	Diaclase	2	Aberta	2	F5	6	Med. contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
94	11,29	ARDOSIA	W1	N	54	E;	80	SE	Diaclase	2	Aberta	4	F5	10	Contínua		C1		Quartzo	Húmido	
95	14,59	ARDOSIA	W1	N	54	E;	80	SE	Diaclase	1	Aberta	330	F1	10	Contínua		C1		Quartzo	Húmido	
96	14,68	ARDOSIA	W1	N	57	E;	89	SE	Diaclase	0,1	Apertada	9	F4	10	Contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
97	14,95	ARDOSIA	W1	N	57	E;	89	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	27	F3	10	Contínua		C2		Sem preenchimento	Húmido	
98	15,82	ARDOSIA	W1	N	60	E;	90	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	87	F2	10	Contínua		C2		Sem preenchimento	Seca	
99	15,93	ARDOSIA	W1	N	50	E;	90	NW	Diaclase	0,01	Mt apertada	11	F4	2,2	Pouco contínua		C2		Sem preenchimento	Seca	
100	16,49	ARDOSIA	W1	N	30	E;	86	NW	Diaclase	10	Larga	56	F3	2,2	Pouco contínua		C1		Quartzo	Seca	
101	16,52	ARDOSIA	W1	N	45	E;	90	NW	Diaclase	8	Razoavel/ larga	3	F5	2,2	Pouco contínua		C1		Quartzo	Seca	
102	17,43	ARDOSIA	W1	N	20	E;	80	SE	Diaclase	8	Razoavel/ larga	91	F2	2,2	Pouco contínua		C1		Quartzo	Seca	
103	17,86	ARDOSIA	W1	N	25	E;	90	NW	Diaclase	9	Razoavel/ larga	43	F3	2,2	Pouco contínua		C1		Quartzo	Seca	
104	19,22	ARDOSIA	W1	N	64	E;	74	NW	Diaclase	7	Razoavel/ larga	136	F2	2,2	Pouco contínua		C1		Quartzo	Seca	
105	19,89	ARDOSIA	W1	N	8	E;	80	SE	Falha	3	Razoavel/ larga	67	F2	2,5	Pouco contínua		C1		Rocha esm.	Seca	
106	20,57	ARDOSIA	W1	N	8	E;	75	SE	Falha	4	Razoavel/ larga	68	F3	2,2	Pouco contínua		C1		Rocha esm.	Seca	
107	22,34	ARDOSIA	W1	N	8	E;	80	SE	Falha	3	Razoavel/ larga	177	F2	2,2	Pouco contínua		C1		Rocha esm.	Seca	
108	22,89	ARDOSIA	W1	N	8	E;	78	SE	Falha	4	Razoavel/ larga	55	F2	2,2	Pouco contínua		C1		Rocha esm.	Seca	
109	23,45	ARDOSIA	W1	N	8	E;	72	SE	Falha	2	Aberta	56	F2	2,2	Pouco contínua		C1		Rocha esm.	Seca	
110	25,52	ARDOSIA	W1	N	8	E;	78	SE	Falha	1	Aberta	207	F1	2,2	Pouco contínua		C1		Rocha esm.	Seca	
111	25,74	ARDOSIA	W1	N	8	E;	50	NW	Diaclase	0,01	Mt apertada	22	F3	2,2	Pouco contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
112	25,80	ARDOSIA	W1	N	45	E;	85	SE	Diaclase	0,1	Apertada	6	F4	2,2	Pouco contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
113	26,13	ARDOSIA	W1	N	5	E;	45	NW	Diaclase	0,1	Apertada	33	F3	2,2	Pouco contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
114	26,21	ARDOSIA	W1	N	60	E;	88	SE	Diaclase	0,1	Apertada	8	F4	10	Contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
115	26,27	ARDOSIA	W1	N	60	E;	88	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	6	F5	10	Contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
116	26,30	ARDOSIA	W1	N	58	E;	90	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	3	F5	10	Contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	

PERFIL 4

COMPRIMENTO TOTAL: 33,95m

FICHA DE LEVANTAMENTO

Orientação		Hasteal SW cota 71	Obs: A xistosidade varia entre N146°E;11°NE e N144°E;14°NE	Nome:	Pedreira da Milhária
do Perfil:	N100°E			Data:	2017.junho.12/21 (set25)
Bancadas:	N140°E			Localização:	Campo -Valongo

Parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos segundo ISRM (1978, 1981, 2007), GSE (1995)

Descontinuidade nº	Distância à origem (m) D	Litologia	Grau de alteração		Atitude Dir./Inc.				Tipo de descontinuidade	Abertura (mm)		Grau de fracturação (cm)		Comprimento(L) (m)		Terminação T	Curvatura C	Rugosidade R	Tipo de enchimento	Presença de água	Observações
			Tipo	Classificação						Valor	Classificação	Valor	Classificação F								
117	0,00	ARDOSIA	W1	N	25	E:	90	SE	Diaclase		Mt apertada	5	F5	2,1	Pouco contínua		C1		Quartzo	Húmido	
118	0,05	ARDOSIA	W1	N	25	E:	90	SE	Diaclase	2	Aberta	2	F5	2,2	Pouco contínua		C1		Quartzo	Húmido	
118	0,15	ARDOSIA	W1	N	25	E:	90	SE	Diaclase	2	Aberta	8	F4	2,5	Pouco contínua		C1		Quartzo	Húmido	
119	0,19	ARDOSIA	W1	N	25	E:	90	SE	Diaclase	2	Aberta	4	F5	2,4	Pouco contínua		C1		Quartzo	Húmido	
119	0,25	ARDOSIA	W1	N	21	E:	87	SE	Diaclase	2	Aberta	6	F5	2,2	Pouco contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
120	0,34	ARDOSIA	W1	N	3	E:	87	SE	Diaclase	2	Aberta	9	F4	7	Med. contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
120	0,55	ARDOSIA	W1	N	52	E:	89	SE	Diaclase	0,1	Apertada	21	F3	7	Med. contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
121	0,84	ARDOSIA	W1	N	50	E:	77	NW	Diaclase	0,1	Apertada	29	F3	4	Med. contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
121	0,92	ARDOSIA	W1	N	54	E:	30	SE	Diaclase	0,1	Apertada	8	F4	3	Med. contínua		C3		Sem preenchimento	Seca	
122	1,48	ARDOSIA	W1	N	90	E:	70	W	Diaclase	0,1	Apertada	56	F3	3	Med. contínua		C3		Sem preenchimento	Seca	
122	1,95	ARDOSIA	W1	N	30	E:	80	NW	Diaclase	0,1	Apertada	47	F3	1,5	Pouco contínua		C3		Sem preenchimento	Seca	
123	2,54	ARDOSIA	W1	N	50	E:	87	SE	Diaclase	0,1	Apertada	59	F3	5	Med. contínua		C3		Sem preenchimento	Seca	
123	2,64	ARDOSIA	W1	N	50	E:	87	SE	Diaclase	0,1	Apertada	10	F4	4	Med. contínua		C3		Sem preenchimento	Seca	
124	4,23	ARDOSIA	W1	N	138	E:	8	NE	Diaclase	0,1	Apertada	159	F2	8	Med. contínua		C3		Sem preenchimento	Seca	
124	4,56	ARDOSIA	W1	N	25	E:	20	SE	Diaclase	0,1	Apertada	33	F3	1	Pouco contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
125	4,88	ARDOSIA	W1	N	25	E:	70	SE	Diaclase	0,1	Apertada	32	F3	2	Pouco contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
125	5,4	ARDOSIA	W1	N	25	E:	75	SE	Diaclase	0,1	Apertada	52	F3	4	Med. contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
126	5,9	ARDOSIA	W1	N	25	E:	90	SE	Diaclase	0,1	Apertada	50	F3	2	Pouco contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
126	6,8	ARDOSIA	W1	N	73	E:	80	SE	Diaclase	0,1	Apertada	90	F2	3	Med. contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
127	6,94	ARDOSIA	W1	N	73	E:	80	SE	Diaclase	4	Razoavel/ larga	14	F4	4	Med. contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
127	7,61	ARDOSIA	W1	N	30	E:	70	SE	Diaclase	2	Aberta	67	F2	6	Med. contínua		C2		Sem preenchimento	Húmido	
128	7,68	ARDOSIA	W1	N	55	E:	81	SE	Diaclase	2	Aberta	7	F4	11	Contínua		C1		Quartzo	Húmido	
128	7,72	ARDOSIA	W1	N	55	E:	81	SE	Diaclase	2	Aberta	4	F5	8	Med. contínua		C1		Quartzo	Húmido	
129	8,23	ARDOSIA	W1	N	55	E:	88	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	51	F3	12	Contínua		C2		Sem preenchimento	Húmido	
129	9,24	ARDOSIA	W1	N	55	E:	90	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	101	F2	14	Contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
130	9,54	ARDOSIA	W1	N	60	E:	90	SE	Diaclase	0,1	Apertada	30	F3	11	Contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
130	9,77	ARDOSIA	W1	N	50	E:	90	NW	Diaclase	2	Aberta	23	F3	2,2	Pouco contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
131	10,12	ARDOSIA	W1	N	30	E:	86	NW	Diaclase	80	Mt larga	35	F3	2,2	Pouco contínua		C1		Quartzo	Húmido	
131	11,32	ARDOSIA	W1	N	45	E:	90	NW	Diaclase	10	Larga	120	F2	2,1	Pouco contínua		C1		Quartzo	Húmido	
132	11,54	ARDOSIA	W1	N	20	E:	80	SE	Diaclase	12	Larga	22	F3	2,2	Pouco contínua		C1		Quartzo	Húmido	
132	14,31	ARDOSIA	W1	N	25	E:	90	NW	Diaclase	8	Razoavel/ larga	277	F1	2,2	Pouco contínua		C1		Quartzo	Húmido	
133	14,56	ARDOSIA	W1	N	64	E:	74	NW	Diaclase	15	Larga	25	F3	2,2	Pouco contínua		C1		Quartzo	Húmido	
133	16,8	ARDOSIA	W1	N	45	E:	85	SE	Diaclase	0,1	Apertada	224	F1	2,5	Pouco contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
134	16,99	ARDOSIA	W1	N	45	E:	85	SE	Diaclase	0,1	Apertada	19	F4	2,2	Pouco contínua		C2		Sem preenchimento	Húmido	
134	17,5	ARDOSIA	W1	N	45	E:	85	SE	Diaclase	0,1	Apertada	51	F3	2,2	Pouco contínua		C2		Sem preenchimento	Húmido	
135	17,84	ARDOSIA	W1	N	51	E:	88	SE	Diaclase	0,1	Apertada	34	F3	1,9	Pouco contínua		C2		Sem preenchimento	Húmido	
135	19,01	ARDOSIA	W1	N	51	E:	88	SE	Diaclase	0,1	Apertada	117	F2	2,2	Pouco contínua		C2		Sem preenchimento	Húmido	
136	19,67	ARDOSIA	W1	N	51	E:	88	SE	Diaclase	0,1	Apertada	66	F2	2,2	Pouco contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
136	20,12	ARDOSIA	W1	N	4	E:	50	NW	Diaclase	0,01	Mt apertada	45	F3	2,2	Pouco contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
137	20,65	ARDOSIA	W1	N	45	E:	85	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	53	F3	2,3	Pouco contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
137	21,6	ARDOSIA	W1	N	0	E:	50	W	Diaclase	0,01	Mt apertada	95	F2	2,4	Pouco contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
138	22,4	ARDOSIA	W1	N	55	E:	90	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	80	F2	10	Contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
138	23,05	ARDOSIA	W1	N	55	E:	90	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	65	F2	10	Contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
139	23,09	ARDOSIA	W1	N	60	E:	90	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	4	F5	10	Contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
139	23,16	ARDOSIA	W1	N	50	E:	90	NW	Diaclase	0,01	Mt apertada	7	F4	2	Pouco contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
140	23,29	ARDOSIA	W1	N	8	E:	79	SE	Falha	90	Mt larga	13	F4	2,2	Pouco contínua		C1		Quartzo	Húmido	
140	23,54	ARDOSIA	W1	N	8	E:	79	SE	Falha	10	Larga	25	F3	2,3	Pouco contínua		C1		Quartzo esmagado	Húmido	
141	23,59	ARDOSIA	W1	N	8	E:	79	SE	Falha	20	Mt larga	5	F5	2,1	Pouco contínua		C1		Quartzo esmagado	Húmido	
141	23,62	ARDOSIA	W1	N	8	E:	79	SE	Falha	4	Razoavel/ larga	3	F5	2	Pouco contínua		C1		Quartzo esmagado	Húmido	
142	23,94	ARDOSIA	W1	N	8	E:	79	SE	Falha	2	Aberta	32	F3	5	Med. contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
142	25,4	ARDOSIA	W1	N	52	E:	89	SE	Diaclase	0,1	Apertada	146	F2	7	Med. contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
143	26,7	ARDOSIA	W1	N	145	E:	18	NE	Diaclase	0,1	Apertada	130	F2	5	Med. contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
143	28,21	ARDOSIA	W1	N	54	E:	30	SE	Diaclase	0,1	Apertada	151	F2	3	Med. contínua		C2		Sem preenchimento	Seca	
144	28,82	ARDOSIA	W1	N	90	E:	70	N	Diaclase	0,1	Apertada	61	F2	3	Med. contínua		C2		Sem preenchimento	Húmido	
144	29,23	ARDOSIA	W1	N	30	E:	80	NW	Diaclase	0,1	Apertada	41	F3	1,5	Pouco contínua		C2		Sem preenchimento	Húmido	
145	29,59	ARDOSIA	W1	N	55	E:	88	SE	Diaclase	0,01	Mt apertada	36	F3	6	Med. contínua		C2		Sem preenchimento	Seca	
145	30,54	ARDOSIA	W1	N	30	E:	80	NW	Diaclase	0,01	Mt apertada	95	F2	1,5	Pouco contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	
146	31,8	ARDOSIA	W1	N	35	E:	85	SE	Diaclase	0,2	Apertada	126	F2	5	Med. contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
146	31,94	ARDOSIA	W1	N	35	E:	85	SE	Diaclase	0,2	Apertada	14	F4	3	Med. contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
147	32,09	ARDOSIA	W1	N	35	E:	85	SE	Diaclase	0,2	Apertada	15	F4	7	Med. contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
147	32,87	ARDOSIA	W1	N	155	E:	27	NE	Diaclase	0,1	Apertada	78	F2	1	Pouco contínua		C1		Sem preenchimento	Húmido	
148	33,12	ARDOSIA	W1	N	55	E:	80	SE	Diaclase	0,1	Apertada	25	F3	2	Pouco contínua		C1		Sem preenchimento	Seca	

ANEXO 4

Esclerómetro

Esclerómetro ou martelo de Schmidt

1. Dureza de Schmidt

Como se sabe, rocha sã é considerada aquela que apresenta uma dureza igual ou superior à do granito. LIMA e MENEZES (2008) ensinam que dureza e resistência à compressão são propriedades correlacionáveis das rochas. Explicam, ainda, que a dureza das rochas é um conceito associado com a chamada dureza de Schmidt (R), que é determinada através do ensaio com o martelo de Schmidt.

O martelo de Schmidt, também denominado de esclerómetro Schmidt, é um instrumento portátil para ensaio não-destrutivo que tem como base a aplicação de um impacto através de uma massa de aço na superfície a ser ensaiada (no caso a rocha), a qual reage, sendo essa reação proporcional à sua dureza (GUERREIRO, 2000).

Por causa da sua aparente simplicidade, o esclerómetro tem-se revelado um dos mais utilizados métodos para indicar a resistência das rochas (HUDSON e HARRISON, 2000).

O aparelho é usado forçando o êmbolo do martelo contra a superfície a testar. Quando o êmbolo é largado (pelo sistema do próprio equipamento), origina a libertação de uma carga sobre a superfície a ensaiar, a qual reage originando um “ressalto” no martelo, que é designado por R (número de Schmidt). Este ressalto é registrado instantaneamente numa escala existente no martelo, que pode ir de 10 a 100 (WEST, 1991). Conforme consta no Manual Schmidt Hammers (PROCEQ, 2011), para o estudo das propriedades mecânicas das rochas, podem ser utilizados dois tipos de martelos, tipo N ou tipo L, que possuem diferentes energias de impacto, senão vejamos:

Tipo N: Energia de impacto padrão de 2,207 Nm (1.63 lb pé). O objeto de teste deve ter espessura mínima de 100 mm (3,9 pol.) e estar firmemente fixo (em laboratório, numa estrutura).

Tipo L: Energia de impacto padrão de 0,735 Nm (0,54 lb pé). Para objetos frágeis ou unidades estruturais com espessura inferior a 100 mm (3,9 pol.).

De acordo com as boas normas para o uso deste género de equipamentos, é necessário ter atenção ao estado da superfície a ensaiar, ou seja, à existência de descontinuidades, qualquer que seja a sua orientação ou o estado de alteração no local de ensaio, pois os resultados obtidos

nestas condições poderão ser diferentes dos resultados dos demais locais do maciço são. Para além disso, a superfície a testar deve ser, sempre que possível, relativamente plana e limpa.

Nos manuais dos equipamentos utilizados (Controls e Procec) consta-se que os esclerómetros, no geral, incorrem no problema que resulta de o valor do impacto variar ligeiramente em função do ângulo aplicado o mesmo durante a realização de cada ensaio. Além disso, o valor do impacto poderá ser afetado pela fricção interna do martelo, devendo-se, neste caso, atentar à sua correta manutenção conforme prescrito nos respetivos manuais. Nas Figuras 1 e 2, abaixo, é possível observar os martelos utilizados na realização dos ensaios sobre uma superfície rochosa e o esquema simplificado do funcionamento mecânico do esclerómetro, respetivamente.

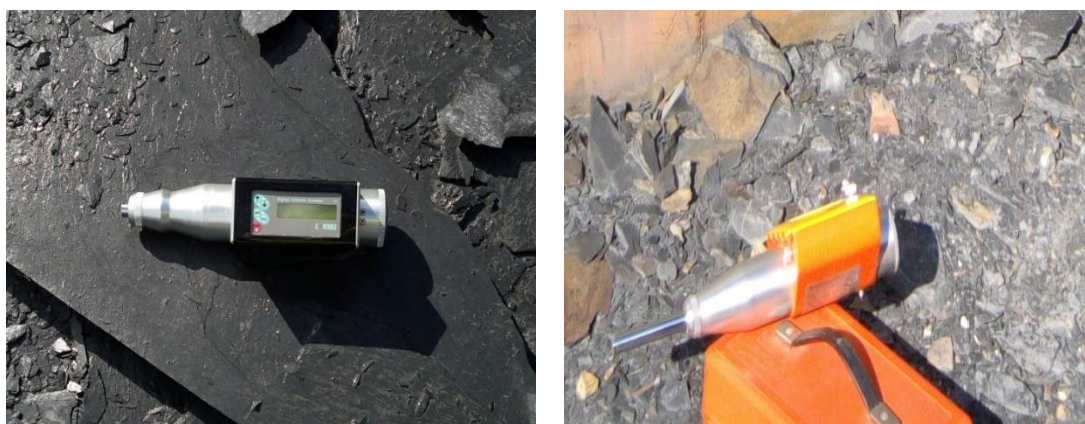


Ilustração 4.1 Aspeto dos esclerómetros - martelos de Schmidt (das marcas Controls e Procec) utilizados nos trabalhos de campo realizados em 15 e 22 de março de 21 de Maio de 2018 na Empresa de Lousas de Valongo.

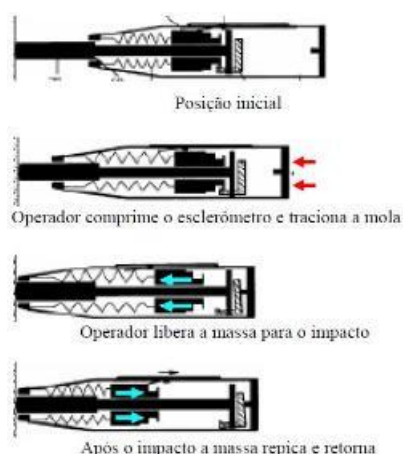


Ilustração 4.2 Esquema simplificado do funcionamento mecânico do esclerómetro (origem: THOMAZ).

A dureza de Schmidt é representada pelo valor do “ressalto” R. Este valor pode depois ser correlacionado com a resistência à compressão simples da rocha constituinte da superfície ensaiada ou com o seu módulo de elasticidade, de acordo com o valor do seu peso específico (GUERREIRO, 2000).

A Ilustração 4.3, abaixo, mostra um gráfico do corelacionamento da dureza de Schmidt com a resistência à compressão das rochas.

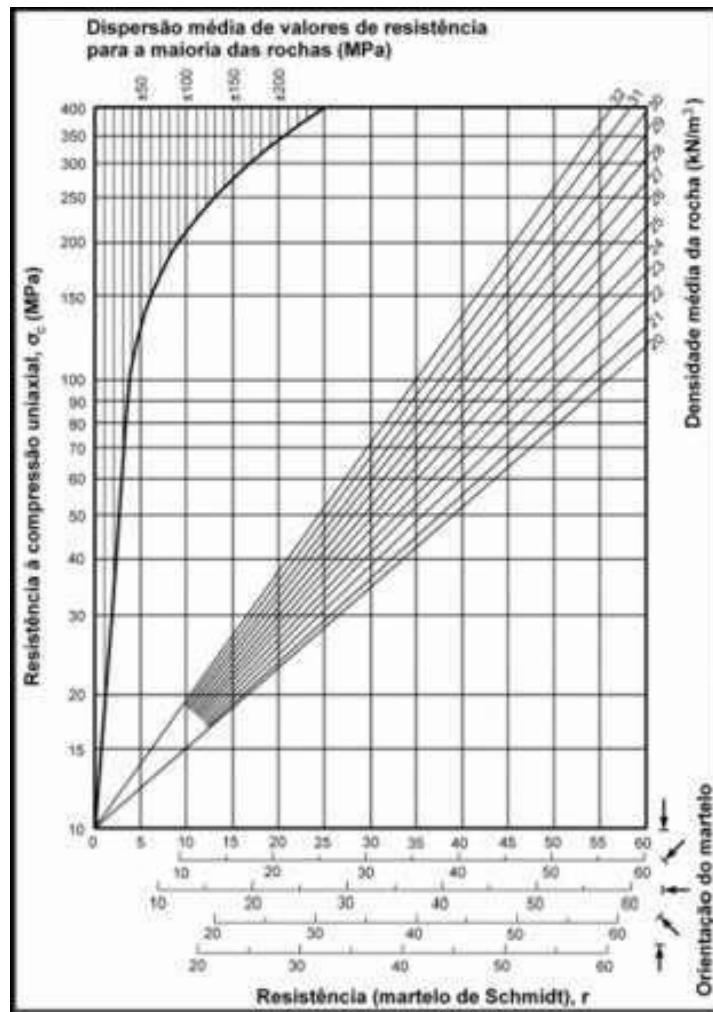


Ilustração 4.3 Gráfico correlacionando dureza com a resistência à compressão das rochas (Ábaco de Miller – adaptado de ISRM 2015).

Como se pode observar no gráfico acima, conhecido o peso específico da rocha, é possível determinar sua resistência à compressão apenas com base no ensaio do martelo de Schmidt.

AUFMUTH (1974 citado por FIORI e CARMIGNANI, 2001), combinando valores obtidos pelo ensaio de carga pontual, para a determinação da resistência à compressão das rochas, e do esclerómetro, elaborou a seguinte equação, relacionando ambos os valores para predizer o valor do módulo de elasticidade:

$$\text{Log Et} = 4,79 + 0,855\text{MC} + 0,299\text{Log Is}$$

Na equação acima,

Et é a tangente do módulo de elasticidade, **MC** é o valor do martelo de Schmidt e **Is** é o valor da resistência à compressão fornecida pelo ensaio da carga pontual. Com relação ao uso do esclerómetro, cabem ainda as seguintes ressalvas:

- Devido às diferentes energias entre os tipos de esclerómetro e ao fato de que as condições de manutenção do equipamento podem influenciar nos resultados, a utilização de diferentes equipamentos pode apresentar resultados um pouco divergentes. Portanto, deve-se evitar a comparação direta de índices obtidos com equipamentos diferentes, utilizando-se, nesses casos, fórmulas obtidas nos respectivos manuais para corrigir e padronizar os valores obtidos nos ensaios.
- Em alguns modelos de equipamento deve-se atentar ao ângulo de aplicação do martelo, pois ele pode influenciar nos resultados obtidos.

2. Metodologia

Para a concretização dos ensaios de campo realizados artigo empregaram-se dois tipos de esclerómetros.

Começou-se por recorrer a um martelo de Schmidt digital do LGMC|ISEP do ISEP, da marca Controls e modelo (58-C0181G). Este aparelho é do tipo N, com energia de impacto de 2,207 joule (Mm) e com as seguintes características:

Energia de impacto: 2,207 Nm

Amplitude de medição: de 10 a 70 N/mm²

Ecran 2 x 16 caracteres.

Precisão ± 0.1 R.

Sistema de energia: Bateria recarregável integrada – 9V.

Autonomia (em uso médio) > 5 horas.

Memoria: até 5.000 testes.

Saída de dados: porta de série RS 232 C.

“Shut down” automático por falta de ação.

Dimensões (com leitor): 190 x 100x 350 mm.

Peso aproximado: 2 kg..

Mais tarde e de modo a confirmar os resultados, uma vez que o martelo do ISEP não estaria completamente calibrado, recorreu-se a um esclerómetro Silver Schmidt tipo H 2975NR da marca Proceq, cuja energia de impacto é de 2,207 Nm (gentilmente cedido pelo Prof. Dr. Agostinho Mendonça) e com as seguintes características:

Energia de impacto: 2,207 Nm

Amplitude de medição: de 10 a 70 N/mm²

Impressão integral, imediata dos resultados em papel.

Precisão ± 0.1 R.

Sistema de energia: mola acoplada para a impressora.

Capacidade por rolo de papel: até 4.000 testes.

Saída de dados: papel.

Dimensões (com impressora): 190 x 120 x 350 mm.

Peso aproximado: 2 kg..

Foram realizados diversos ensaios em diferentes locais da pedreira, consoante as frentes libertas e acessíveis, que totalizaram 74 leituras (58 com o martelo Controls e 16 com o martelo Proseq de índices esclerométricos. A aplicação do martelo foi realizada diretamente no maciço rochoso, como referido anteriormente, nas suas frentes livres, acessíveis e limpas.

Tomou-se o cuidado de registar, além da litologia da rocha, o seu grau de alteração, conforme classificação visual. Ressalva-se que não houve preocupação quanto ao ângulo de aplicação do martelo, uma vez que, invariavelmente os ensaios foram realizados com o equipamento na posição horizontal ou muito próximo disso, de modo que o índice obtido não careceu de qualquer de correção angular.

Na realização dos ensaios esclerométricos procurou-se manter uma área de ensaio de aproximadamente 400cm² (20 X 20cm), relativamente afastada dos cantos da rocha, com aplicação do esclerómetro distribuída uniformemente nessa área, segundo malha definida previamente. Sempre que possível, as superfícies irregulares, ásperas ou curvas foram evitadas por não fornecerem resultados homogêneos. Em cada área de ensaio foram efetuados dezasseis impactos, sendo que, de cada uma dessas áreas foi obtido um único índice esclerométrico médio.

Esclarece-se que não foram necessárias aferições periódicas e eventuais calibrações do esclerómetro, porque o tempo e o uso alteram as características das molas, produz desgastes e aumenta o atrito entre as partes deslizantes e móveis. No entanto, verificados os resultados obtidos nos ensaios de campo e comparados com os existentes nos arquivos da Pedreira da Milhária verificou-se uma aproximação de valores pelo que se registaram com válidos os ensaios realizados. Relativamente ao Martelo tipo N usado, entendeu-se, então, não ser necessária calibração dado tratar-se de um equipamento recente e com muito pouca utilização. De qualquer forma, e como referido anteriormente, os resultados obtidos estão alinhados com os esperados e consonantes com os dados existentes para a o maciço em estudo. Assim sendo, optou-se pela não utilização de qualquer coeficiente de correção dos índices esclerométricos obtidos.

3. Resultados e discussão

Os resultados dos ensaios esclerométricos realizados na pedreira da Milhária, no maciço ardósífero em exploração, conforme metodologia antes descrita, encontram-se no Quadro 4.1.

A média dos resultados de índice esclerométrico obtidos para o granito foi de 69,8 e o desvio-padrão 4,6. Vale o registo que os valores das medianas se aproximaram bastante dos valores médios.

Quadro 4.1 Resultados dos ensaios esclerométricos na ardósia da pedreira da Milhária

teste nº	média M1	S	σ Mpa	σ Mpa	teste nº	média M1	S	σ Mpa	σ Mpa
1	50,4	1,5	59,8	149,35	38	41,6	7,1	42,3	97,29
2	33,0	4,7	28,4	64,00	39	43,5	9,2	46,8	106,72
3	36,4	4,2	34,1	75,53	40	46,1	9,0	51,7	121,13
4	52,1	3,4	52,6	162,24	41	51,2	3,2	61,4	155,28
5	48,1	2,9	55,4	133,52	42	44,1	4,5	47,9	109,89
6	41,8	3,1	43,8	98,24	43	41,4	1,8	43,0	96,35
7	47,7	3,2	54,8	130,94	44	46,1	1,8	51,7	121,13
8	38,7	6,6	42,5	84,48	45	50,2	5,1	59,4	147,90
9	44,8	3,7	45,4	113,70	46	50,8	3,3	60,7	152,28
10	41,4	7,8	42,6	96,35	47	49,3	4,1	58,7	141,56
11	43,5	2,2	45,7	106,72	48	46,6	3,1	54,4	124,11
12	45,4	3,0	46,6	117,07	49	44,4	2,1	49,7	111,50
13	47,2	3,1	53,2	127,79	50	50,1	3,3	60,2	147,18
14	43,5	2,2	45,8	106,72	51	49,1	3,8	58,8	140,18
15	54,9	2,3	68,5	185,94	52	48,9	3,7	57,9	138,83
16	50,5	2,5	60,1	150,08	53	52,1	3,8	61,8	162,24
17	52,4	3,7	63,8	164,62	54	48,2	2,1	56,5	134,17
18	50,2	1,2	59,5	147,90	55	49,7	2,8	62,4	144,34
19	52,1	2,7	63,2	162,24	56	48,8	4,4	57,8	138,15
20	49,4	3,8	58,1	142,25	57	44,7	3,1	49,7	113,15
21	48,1	2,9	55,5	133,52	58	50,8	4,1	58,5	152,28
22	50,5	2,4	60,2	150,08	59	57,0	2,3	72,0	205,96
23	52,4	3,7	63,9	164,62	60	40,5	5,3	42,6	92,22
24	54,9	2,2	68,6	185,94	61	56,3	2,9	70,3	199,06
25	44,4	5,2	48,6	111,50	62	43,1	2,4	42,7	104,66
26	49,2	8,2	57,7	140,87	63	54,2	3,5	66,4	179,71
27	39,7	2,9	38,2	88,69	64	45,3	2,9	50,0	116,50
28	37,0	3,0	35,1	77,76	65	48,6	2,7	56,1	136,81
29	41,8	6,2	43,6	98,24	66	51,3	2,4	62,0	156,04
30	43,0	5,2	45,9	104,16	67	45,6	2,8	50,2	118,22
31	44,8	4,9	48,9	113,70	68	42,5	5,9	44,9	101,65
32	49,1	3,1	57,4	140,18	69	51,6	3,2	62,0	158,33
33	51,5	4,0	62,0	157,56	70	48,0	5,1	54,8	132,87
34	52,6	2,5	64,2	166,24	71	51,4	7,8	62,0	156,80
35	46,3	4,9	48,6	122,31	72	43,3	4,1	46,4	105,69
36	47,5	2,9	54,3	129,68	73	38,1	4,4	37,6	82,04
37	53,4	3,3	65,6	172,84	74	37,6	3,5	38,2	80,07

Quadro 4.2 Resultados dos ensaios com martelo de Schmidt na ardósia da pedreira da Milhária.

teste nº	RM	σ Mpa	teste nº	RM	σ Mpa	teste nº	RM	σ Mpa	teste nº	RM	σ Mpa
1	50,4	149,35	19	52,1	162,24	38	41,6	97,29	56	48,8	138,15
2	33,0	64,00	20	49,4	142,25	39	43,5	106,72	57	44,7	113,15
3	36,4	75,53	21	48,1	133,52	40	46,1	121,13	58	50,8	152,28
4	52,1	162,24	22	50,5	150,08	41	51,2	155,28	59	57,0	205,96
5	48,1	133,52	23	52,4	164,62	42	44,1	109,89	60	40,5	92,22
6	41,8	98,24	24	54,9	185,94	43	41,4	96,35	61	56,3	199,06
7	47,7	130,94	25	44,4	111,50	44	46,1	121,13	62	43,1	104,66
8	38,7	84,48	26	49,2	140,87	45	50,2	147,90	63	54,2	179,71
9	44,8	113,70	27	39,7	88,69	46	50,8	152,28	64	45,3	116,50
10	41,4	96,35	28	37,0	77,76	47	49,3	141,56	65	48,6	136,81
11	43,5	106,72	29	41,8	98,24	48	46,6	124,11	66	51,3	156,04
12	45,4	117,07	30	43,0	104,16	49	44,4	111,50	67	45,6	118,22
13	47,2	127,79	31	44,8	113,70	50	50,1	147,18	68	42,5	101,65
14	43,5	106,72	32	49,1	140,18	51	49,1	140,18	69	51,6	158,33
15	54,9	185,94	33	51,5	157,56	52	48,9	138,83	70	48,0	132,87
16	50,5	150,08	34	52,6	166,24	53	52,1	162,24	71	51,4	156,80
17	52,4	164,62	35	46,3	122,31	54	48,2	134,17	72	43,3	105,69
18	50,2	147,90	36	47,5	129,68	55	49,7	144,34	73	38,1	82,04
			37	53,4	172,84				74	37,6	80,07

Constatou-se que os resultados destes ensaios coincidem, em larga medida, com os anteriormente executados na mesma pedreira no que se refere aos valores resultantes.

Nota-se, no entanto, algumas variações que dependem de alguns fatores a saber:

- Primeiramente a orientação da xistosidade. De fato constata-se que os valores mais altos se verificam nos ensaios efetuados perpendicularmente à xistosidade.
- Por outro lado, também os ensaios realizados em zonas ligeiramente alteradas ou com descontinuidades apresentam valores de resistência inferiores à média.

De um modo geral constata-se que a dureza da rocha presente neste maciço corresponde às expectativas iniciais e sem variações muito apreciáveis ao longo de toda a pedreira, se excluirmos os casos particulares antes referidos (orientação da xistosidade e grau de alteração)

Como se pode observar, a ardósia pouco alterada se enquadraria como sendo rocha dura, mas rochas medianamente alteradas já seriam classificadas como sendo de 2ª categoria. Observa-se que o índice esclerométrico é muito sensível ao grau de alteração da rocha, variando de valores superiores a 100 para as ardósias sãs até valores abaixo de 30 para os xistos extremamente alterados.

No caso presente, onde o maciço se encontra muito pouco alterado, a escolha do martelo utilizado, cuja energia de percussão é de 2.207 Nm, mostrou-se muito adequado, em linha com o preconizado pelos fabricantes.

Por fim, a prática demonstrou ser necessária atenção às superfícies irregulares ou ásperas, pois podem fornecer resultados dispersos, o que no nosso caso levou a que alguns ensaios não pudessem ser aproveitados, quer por indicação do próprio equipamento (caso do equipamento Controls que faz automaticamente essa leitura – caso a dispersão dos valores passa o previsto na Norma (Europeia - EN 12504-2) o teste é considerado nulo) quer por aferição aos valores da Norma. Assim, e uma vez que, segundo a Norma, o principal fator de variabilidade dos ensaios numa mesma superfície é o seu estado, é conveniente a realização dos ensaios em superfícies devidamente preparadas e polidas (na pedreira da Milhária, devido ao método de desmonte – fio diamantado - e às propriedades da rocha que ao clivar deixa superfícies muito limpa não houve necessidade de preparação especial das superfícies, pouco além de uma limpeza de pó).

4. Conclusões

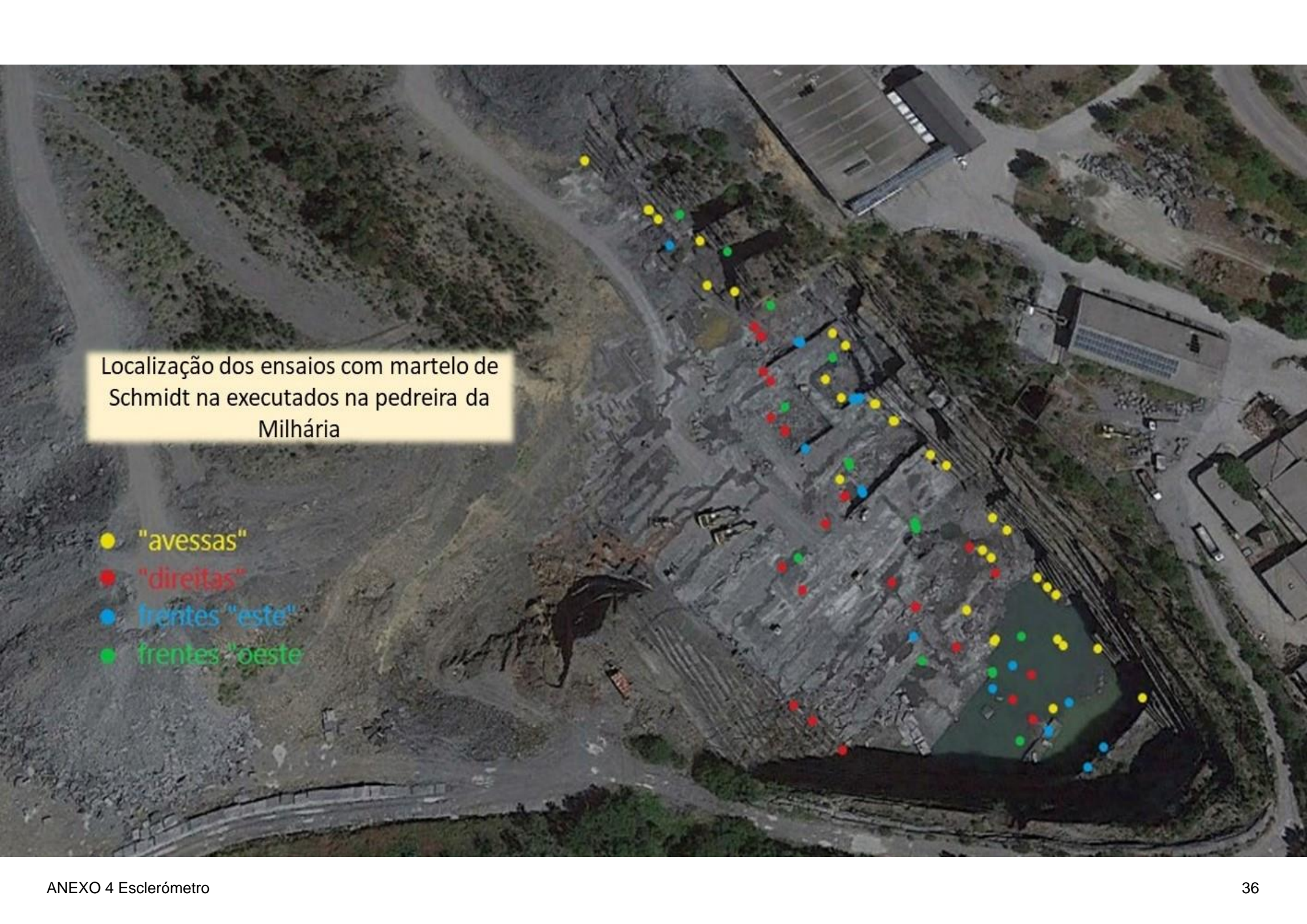
O martelo de Schmidt pode ser considerado um método complementar, útil para avaliações expeditas em trabalhos de campo, porém não substitui os demais métodos de investigação geotécnicos utilizados nas fases de projeto e construção.

Com o índice esclerométrico obtém-se informações a respeito da dureza superficial da rocha, fornecendo uma boa medida da dureza relativa dessa grandeza, podendo ser feitas, ainda, correlações com as demais propriedades da rocha, como por exemplo, a sua resistência e/ou o módulo de elasticidade.

O método mostra-se particularmente útil para estabelecer a comparação da dureza de rochas com um referencial.

A rocha testada apresentou valores médios de resistência de 130,54 Mpa para os 74 ensaios realizados, com um mínimo de 64,00 Mpa e um máximo de 205,96 Mpa com um desvio padrão de 30,33. Estes resultados tiveram origem nos “rebounds” dos equipamentos que tiveram uma média de 47,05 com um máximo de 57,00 e um mínimo de 33,00 para um desvio padrão calculado em 4,99.

Estes valores foram trabalhados conjuntamente com os obtidos em laboratório em ensaios de carga efetuados em provetes de material com origem na mesma pedreira e cedidos gentilmente pela ELV.

An aerial photograph of a quarry site. The quarry floor is a large, flat area of grey rock. Numerous small, colored dots are scattered across the quarry floor, indicating the locations of tests. The dots are yellow, red, blue, and green. The quarry is surrounded by a dirt road and some industrial buildings. A small pond is visible in the lower right corner of the quarry area.

Localização dos ensaios com martelo de Schmidt na executados na pedreira da Milhária

- "avessas"
- "direitas"
- frentes "este"
- frentes "oeste"

Localização e orientação dos ensaios com martelo de Schmidt na pedra da Milhária (ver planta)																			
avessas Az 42°				direitas Az 222°				este Az 132°				oeste Az 312°							
nº ensaio	design	nível	prof (m)	nº ensaio	design	nível	prof (m)	nº ensaio	design	nível	prof (m)	nº ensaio	design	nível	prof (m)				
5	T5	17	37,4	3	T3	17	37,2	10	T10	21	46,2	1	17	17	37,4				
6	T6	17	37,4	4	T4	17	37,2	21	T21	24	52,8	2	T2	17	37,4				
7	T7	17	37,4	13	T13	21	46,2	25	T25	17	37,4	8	T8	20	44				
9	T9	17	37,4	14	T14	21	46,2	27	E1	16	35,2	11	T11	21	46,2				
14	T14	21	46,2	19	T19	24	52,8	28	E2	15	33	12	T12	21	46,2				
16	T16	21	46,2	20	T20	24	52,8	43	E3	24	52,8	44	W1	24	52,8				
17	T17	22	48,4	23	T23	22	48,4	60	P2	21	46,2	51	W2	24	52,8				
18	T18	22	48,4	24	T24	22	48,4	62	P4	21	46,2	52	W3	24	52,8				
22	T22	22	48,4	29	D1	20	44	68	P10	21	46,2	55	W4	24	52,8				
26	A1	14	30,8	37	D2	20	44	70	P12	24	52,8	64	P6	24	52,8				
30	A2	16	35,2	38	D3	21	46,2	72	P14	22	48,4	67	P9	22	48,4				
31	A3	15	33	39	D4	22	48,4	74	P16	15	33	73	P15	17	37,4				
32	A4	17	37,4	40	D5	22	48,4	<p>Considerou-se, para uniformização de critérios, que a altura das bancadas é de 2,2m (1 nível =2,2m)</p> <p>Os ensaios das "direitas" e "avessas" foram executados perpendicularmente à orientação da xistosidade, sendo os restantes paralelamente à mesma.</p> <p>A negro estão os resultados dos ensaios executados com martelo "Controls"; A azul os executados por martelo "Prosec".</p> <p>A profundidade foi referenciada relativamente à cota de implantação da fábrica</p>											
33	A5	17	37,4	48	D6	24	52,8												
34	A6	19	41,8	49	D7	24	52,8												
35	A7	19	41,8	50	D8	24	52,8												
36	A8	20	44	56	D9	25	55												
41	A9	24	52,8	57	D10	24	52,8												
42	A10	24	52,8	58	D11	23	50,6												
45	A11	24	52,8	65	P7	22	48,4												
46	A12	24	52,8	66	P8	22	48,4												
47	A13	24	52,8																
53	A14	25	55																
54	A15	24	52,8																
59	P1	24	52,8																
61	P3	19	41,8																
63	P5	17	37,4																
69	P11	24	52,8																
71	P13	25	55																

Resumo dos testes efetuados na pedra da Milhária com martelo de Schmidt

teste nº	RM	σ Mpa	teste nº	RM	σ Mpa	teste nº	RM	σ Mpa	teste nº	RM	σ Mpa
1	50,4	149,35	19	52,1	162,24	38	41,6	97,29	56	48,8	138,15
2	33,0	64,00	20	49,4	142,25	39	43,5	106,72	57	44,7	113,15
3	36,4	75,53	21	48,1	133,52	40	46,1	121,13	58	50,8	152,28
4	52,1	162,24	22	50,5	150,08	41	51,2	155,28	59	57,0	205,96
5	48,1	133,52	23	52,4	164,62	42	44,1	109,89	60	40,5	92,22
6	41,8	98,24	24	54,9	185,94	43	41,4	96,35	61	56,3	199,06
7	47,7	130,94	25	44,4	111,50	44	46,1	121,13	62	43,1	104,66
8	38,7	84,48	26	49,2	140,87	45	50,2	147,90	63	54,2	179,71
9	44,8	113,70	27	39,7	88,69	46	50,8	152,28	64	45,3	116,50
10	41,4	96,35	28	37,0	77,76	47	49,3	141,56	65	48,6	136,81
11	43,5	106,72	29	41,8	98,24	48	46,6	124,11	66	51,3	156,04
12	45,4	117,07	30	43,0	104,16	49	44,4	111,50	67	45,6	118,22
13	47,2	127,79	31	44,8	113,70	50	50,1	147,18	68	42,5	101,65
14	43,5	106,72	32	49,1	140,18	51	49,1	140,18	69	51,6	158,33
15	54,9	185,94	33	51,5	157,56	52	48,9	138,83	70	48,0	132,87
16	50,5	150,08	34	52,6	166,24	53	52,1	162,24	71	51,4	156,80
17	52,4	164,62	35	46,3	122,31	54	48,2	134,17	72	43,3	105,69
18	50,2	147,90	36	47,5	129,68	55	49,7	144,34	73	38,1	82,04
			37	53,4	172,84				74	37,6	80,07

Valores médios de σ perpendicularmente e paralelamente à xistosidade					
perpendicular		paralelo			
ensaio nº	valor	ensaio nº	valor		
3	75,53	1	149,35		
4	162,24	2	64,00		
5	133,52	8	84,48		
6	98,24	10	96,35		
7	130,94	11	106,72		
9	113,70	12	117,07		
13	127,79	21	133,52		
14	106,72	25	111,50		
16	150,08	27	88,69		
17	164,62	28	77,76		
18	147,90	43	96,35		
19	162,24	44	121,13		
20	142,25	51	140,18		
22	150,08	52	138,83		
23	164,62	55	144,34		
24	185,94	60	92,22		
26	140,87	62	104,66		
29	98,24	64	116,50		
30	104,16	67	118,22		
31	113,70	68	101,65		
32	140,18	70	132,87		
33	157,56	72	105,69		
34	166,24	74	80,07		
35	122,31				
36	129,68	23	2522,15		
37	172,84	nº ensaios	soma		
38	97,29	Valor médio de σ			
39	106,72	109,66			
40	121,13				
41	155,28				
42	109,89				
45	147,90				
46	152,28				
47	141,56				
48	124,11				
49	111,50				
50	147,18				
53	162,24				
54	134,17				
56	138,15				
57	113,15				
58	152,28				
59	205,96				
61	199,06				
63	179,71				
65	136,81				
66	156,04				
69	158,33				
70	132,87				
49	6845,80				
nº ensaios	soma				
Valor médio de σ					
139,71					

ANEXO 5

Tilt test

ENSAIO DE "TILT TESTE" PARA DETERMINAÇÃO DO ÂNGULO DE ATRITO INTERNO

Empresa de Lousas de Valongo - 2018.04.14

Ardósia

1. Introdução

Na exploração de um maciço rochoso, independentemente do propósito, torna-se essencial realizar uma avaliação da segurança nomeadamente no que toca às suas descontinuidades.

Segundo Hu e Cruden (1992) o ângulo de atrito interno intrínseco ao maciço é essencial na avaliação da estabilidade de taludes criados pela atividade de exploração do maciço devido às combinações de descontinuidades com a superfície aberta que poderá originar blocos instáveis. A forma de analisar a possibilidade de quedas desses blocos necessita da obtenção do ângulo de atrito interno.

O ensaio "tilt teste" é um procedimento destinado à verificação do ângulo de atrito interno, de fácil preparação de amostras e rápida execução, porém, teoricamente, não muito preciso. A possibilidade de ter o resultado do "tilt teste" como um resultado confiável diminuirá o custo na obtenção experimental das variáveis utilizadas para o estudo da estabilidade das escavações.

2. Condições

- densidade da ardósia em avaliação: 2850 kg/m³ (valores fornecido pela ELV segundo ensaios anteriores).
- os ensaios foram efetuados com materiais obtidos nos locais de interesse para este estudo na pedreira da Milhária.
- foram utilizadas placas com acabamento "aplainado" e "clivado" (na impossibilidade de fazer o ensaio com blocos que apresentassem descontinuidades reais, conforme se apresentam no maciço original), procurando simular as condições reais, mais adversas, em pedreira (fraturas no maciço com diferentes tipos de rugosidade), uma vez que, dificilmente, nas condições naturais se verificará uma situação em que as fraturas se apresentem tão "limpas" e isentas de rugosidades. Consideramos, assim, que esta

situações seria a de maior “risco” que, teoricamente, se nos poderia deparar num caso real.

3. Metodologia

Para a realização deste ensaio, foram utilizadas placas de ardósia (em pares conjugados consoante o seu acabamento) e utilizou-se ainda um empilhador e um "batente" de madeira no solo (que impedia a placa inferior de se movimentar na horizontal mas, ao mesmo tempo, permitia o seu basculamento sobre esse mesmo ponto - ver ilustração 5.1).



Ilustração 5.1 Realização de ensaio de tilt test na pedreira da Milhária

Colocou-se então a segunda pedra, de dimensões semelhantes e iniciou-se o basculamento das pedras até se obter deslizamento da superior, sendo esse movimento devidamente registado quer quanto ao deslocamento entre as placas, quer quanto ao ângulo em que tal deslocamento ocorreu, medido num transferidor instalado para o fim pretendido.

Os resultados podem ser visualizados no Quadro abaixo.

4. Resultados obtidos

ensaio 1							
medidas da pedra superior (CxLxA) m			peso C*L*A*2850	deslocamento		ângulo	
				inicial	nv	nv	
2,708	1,095	0,034	287,33	final	> 30 mm	27°	

ensaio 2							
medidas da pedra superior (CxLxA) m			peso C*L*A*2850	deslocamento		ângulo	
				inicial	nv	nv	
2,708	1,095	0,034	287,33	final	> 30 mm	27°	

nv - não verificado

ensaio 3							
medidas da pedra superior (CxLxA) m			peso C*L*A*2850	deslocamento		ângulo	
				inicial	nv	nv	
2,2	1,1	0,025	172,43	final	> 30 mm	28°	

ensaio 4							
medidas da pedra superior (CxLxA) m			peso C*L*A*2850	deslocamento		ângulo	
				inicial	6 mm	21°	
2,2	1,1	0,025	172,43	final	> 30 mm	28°	

Obs: Os ensaios 1 e 2 foram realizados com pedras "aplainadas". Os 3 e 4 com "clivadas".
O movimento "inicial", no ensaio 4, poderá dever-se a um ajuste devido ao clivado da pedra.

nv - não verificado

5. Conclusões

Após avaliação dos resultados patentes na tabela antes apresentada, concluímos que os ensaios realizados não refletem as condições reais das descontinuidades na pedreira.

Desde logo, ao utilizarem-se as placas disponíveis, com acabamento "liso", não estamos a refletir as condições da pedreira em que as descontinuidades apresentam rugosidades diversas. Por outro lado, as placas utilizadas são perfeitamente planas o que, nas fraturas do maciço em estudo, não se verifica, notando-se sempre alguma deflexão de todas as descontinuidades observadas.

Assim sendo, os resultados obtidos dar-nos-ão uma aproximação àquilo que poderemos considerar as "piores condições possíveis (embora não atingíveis)" no maciço rochoso em apreciação. Por tal, podemos considerar que os valores obtidos que rondam os 27° a 28° para o ângulo de atrito interno, estarão sempre num limiar consideravelmente inferior ao real, que por

estimativa deverá rondar um valor bastante superior e que, a fazer fé na experiência empírica, aceite na pedreira, poderá estar próximo dos 45° ou mesmo acima desse valor.

Algumas fotos dos ensaios realizados:



(página propositadamente em branco)

ANEXO 6

Compressão uniaxial

Teste de Compressão Uniaxial



Ilustração 6.1 Equipamento usado no laboratório LGMC|ISEP

A tensão de rutura por compressão uniaxial é indicativa da resistência das rochas ao cisalhamento quando submetidas à pressão de carga, o que normalmente ocorre em funções estruturais.

O ensaio de compressão uniaxial é exigível para todas as utilizações possíveis de uma rocha.

Este género de ensaio de avaliação é realizado em provetes (neste caso, cubos de 50x50x50mm), preferencialmente de faces bem lisas, paralelas entre si, e calibradas, no estado seco, segundo diretrizes da norma EN-1926, sendo os resultados expressos em kgf/cm^2 ou MPa.

Rochas anisótropas e principalmente as movimentadas, com estruturas definidas por minerais placoides (micas), tendem a apresentar valores distintos da tensão de rutura, de acordo com o posicionamento do eixo do corpo de prova em relação a essas estruturas. Rochas isotrópicas, de granulação fina a média, são, por sua vez, normalmente mais resistentes à rutura por compressão uniaxial.

1. Ensaio de compressão simples de rochas

Objetivo:

Trata-se de um ensaio destrutivo para determinar a carga de rutura e examinar a superfície de rutura de um provete de granito sujeito a compressão simples. Calcular o valor de tensão de rutura e comparar o resultado com os dados publicados.

Dados:

Provetes a ensaiar: ardósia proveniente do local de interesse (pedreira da ELV – 10 provetes 50x50x50mm idênticos, obtidos de uma mesma e única amostra)

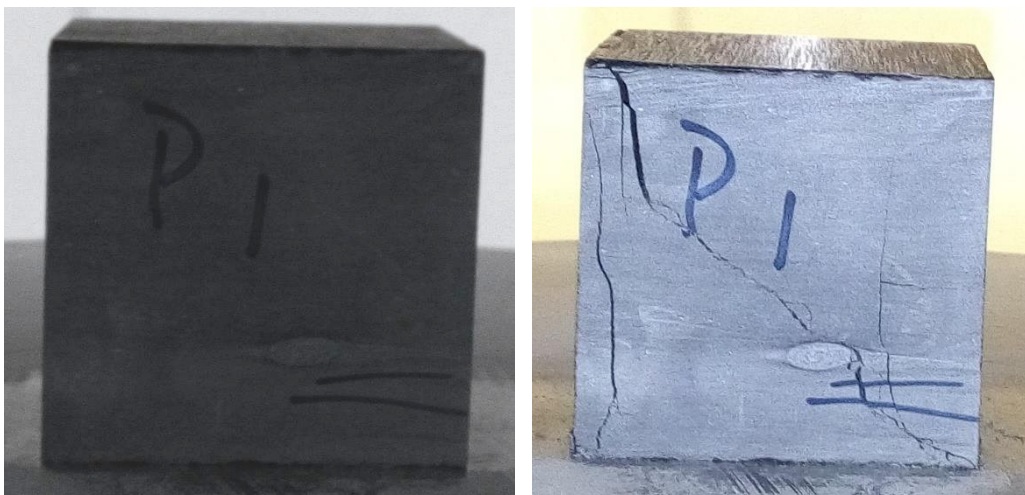


Ilustração 6.2 Proвете antes e após ensaio de compressão simples

2. Tipo de ensaio: compressão simples

Equipamento usado: prensa CONTROLS 3000 kN cap. 50-C56C02 PILOT Automatic Compact-Line (Ilustração 6.1).



Ilustração 6.3 Aspecto da consola digital da prensa durante ensaio

3. Execução e preparação dos ensaios

1. Realizar as medições necessárias (faces e pesos) dos provetes e apontar os valores numa tabela.
2. Verificar a calibração do aparelho.
3. Colocar o provete de ardósia na mesa da máquina de ensaio, em posição central.
4. Fechar a porta, tendo cuidado de manter o provete bem centralizado.
5. Ligar a máquina de ensaio.
6. Aplicar compressão uniaxial lentamente.
7. Levar o provete até à rutura.
8. Descarregar a máquina de ensaio.
9. Apontar a carga de rutura.
10. Desligar a máquina de ensaio (abrir o circuito de circulação de óleo).
11. Abrir a porta, retirar o provete partido e limpar as superfícies da máquina.
12. Descrever e analisar a superfície de rutura verificada no provete ensaiado.

4. Realização dos ensaios

Realizaram-se entre 24 e 27 de abril de 2018 no LGMC|ISEP, sob o acompanhamento e supervisão da Eng^a Isilda Costa Cruz e Dr. Eng^o Agostinho Mendonça.

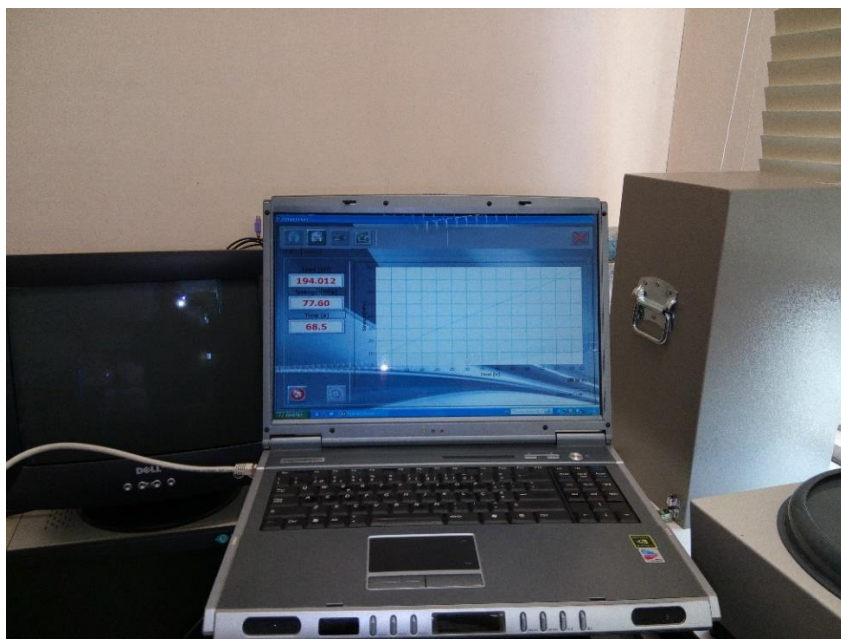


Ilustração 6.4 Portátil de controlo durante ensaio de compressão uniaxial.

Os trabalhos iniciaram-se com a calibração e aferição de resultados para o que, dado o nº diminuto de provetes disponíveis, se fez com provetes gentilmente cedidos pelo LGMC|ISEP .

Por esse motivo inicialmente só se fizeram 2 ensaios (um perpendicular e outro paralelo à xistosidade) com saída direta de resultados na máquina (por fita impressa – ensaios nº 6 e nº 12 realizados e 24 de abril).

Após se chegar à calibração geral e adaptação do software específico, efetivaram-se os ensaios nos restantes provetes, sendo que estes foram realizados no dia 27 de abril).

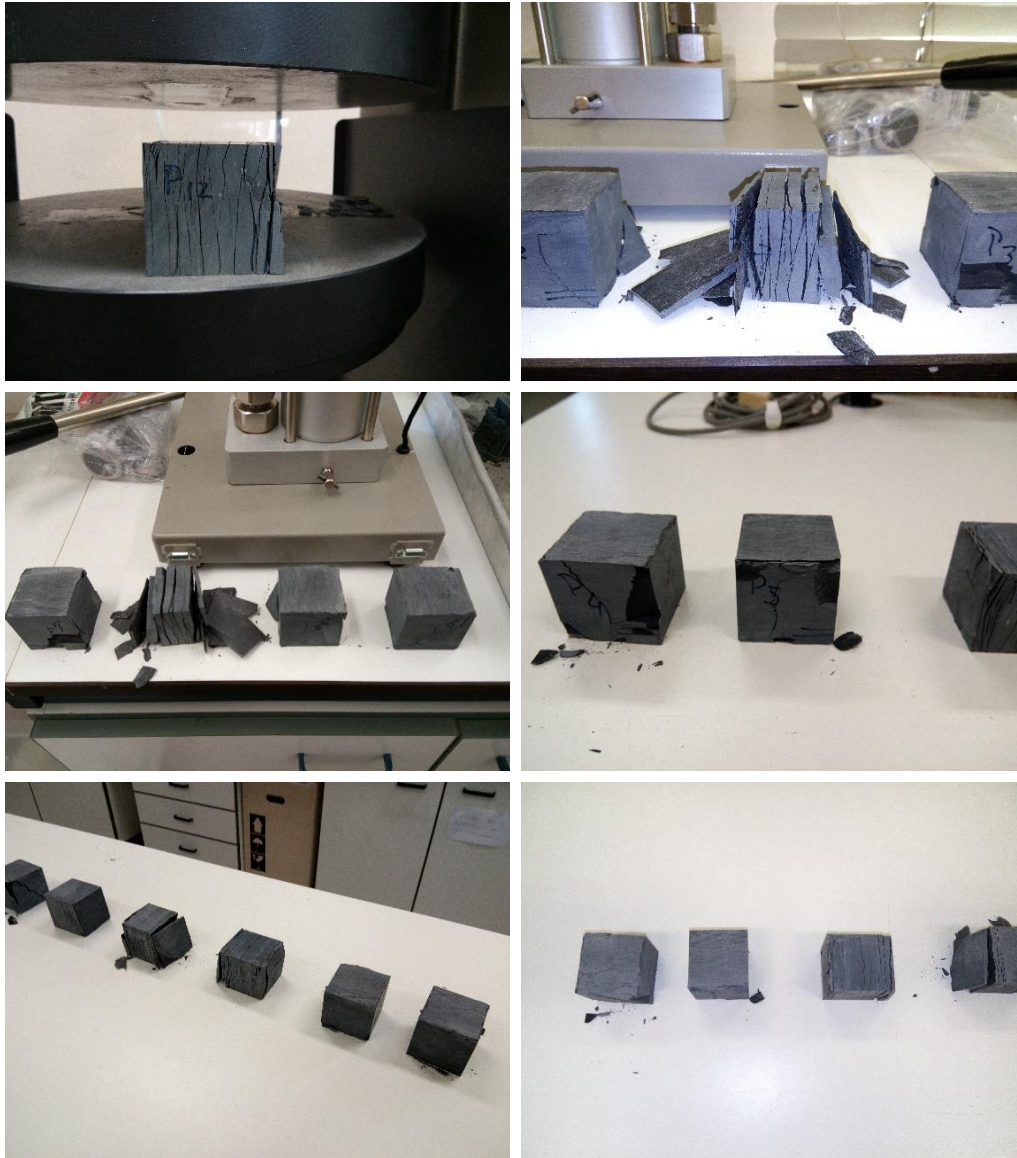
5. Resultados obtidos

Os resultados são os constantes no quadro abaixo:

Quadro 6.1: Resultados dos ensaios efetuados

Provete	peso (g)	densidade (Kg/m ³)	orientação. da carga rel. à Xistosidade	carga rutura (Mpa)	Carga aplicada (KN)
1	347	2776	perpendicular	116,18	290,45
2	347	2776	perpendicular	114,36	285,9
3	350	2800	perpendicular	122,87	307,17
4	344	2752	perpendicular	142,65	356,63
5	349	2792	perpendicular	140,15	350,39
6	365	2920	perpendicular	150,08	375,2
7	347	2776	paralela	103,92	259,79
8	347	2776	paralela	91,17	227,92
9	348	2784	paralela	100,68	251,69
10	359	2872	perpendicular	133,91	334,78
11	353	2824	paralela	75,96	189,91
12	365	2920	paralela	89,76	224,4

Algumas fotos dos resultados:



6. Análise e discussão dos resultados

Os provetes utilizados nestes ensaios apresentaram um peso que variou entre os 0,344kg e os 0,365kg, sendo que as medidas das arestas não apresentavam variação superior a 1mm por face. Apesar de todos os provetes testados terem origem numa mesma amostra de pedra da Pedreira da Milhária, notavam-se algumas diferenças físicas, notoriamente resultantes da anisotropia

normal neste tipo de rocha - ardósia. Desde logo, e como esperado, a diferença resultante da orientação da xistosidade! Mas, mesmo nesse particular, mais evidente numas amostras, que noutras. Outra particularidade deve-se à presença de alguns nódulos (material mais duro e sem clivagem- ver Fig. 1, p.e.) que poderão ter tido influência nos resultados. Por último notou-se que as faces não estavam absolutamente paralelas (embora, neste caso, e dadas as condições da prensa utilizada no ensaio, que possuindo pratos oscilatórios amenizava esse fator, tornando diminuto valor de falta de paralelismo observada pelo que não tenha considerado tal fator).

Os valores registados nos ensaios realizados mostraram-se em linha com o esperado para este tipo de rocha e para a orientação da carga aplicada relativamente à orientação da xistosidade.

Deste modo, os valores da carga de rutura aplicados quando numa orientação perpendicular à xistosidade foram, em média de 131,46 MPa, com um mínimo de 114,36 MPa e um máximo de 150,08 MPa. No que toca à carga aplicada, variou entre os 375,20 KN e os 285,9 KN.

Para as cargas de ruturas aplicados numa orientação paralela à xistosidade os valores foram, em média de 92,30 MPa, com um mínimo de 75,96 MPa e um máximo de 103,92 MPa. Relativamente à carga aplicada, variou entre os 103.92 KN e os 189.91 KN, respetivamente.

Avaliaram-se, seguidamente as superfícies de rutura. Foram as esperadas para estes materiais ardosíferos, apresentando-se com fraturação mais intensa quando a carga foi aplicada paralelamente à xistosidade, demonstrado uma maior fragilidade quando a força é aplicada nessa direção.

Apresentam-se, seguidamente, os resultados obtidos na prensa, no decorrer dos ensaios.

Note-se que nos ensaios 6 e 12 os resultados foram recolhidos através da impressora acoplada ao painel de controlo e que nos restantes ensaios se optou pela recolha da informação e controlo da máquina a partir de um computador portátil no qual estava instalado o software específico para o efeito.

Refira-se, ainda, que o ensaio P7 aparece na folha de ensaio nomeado como P3, por lapso, embora os restantes valores estejam corretos (como se poderá verificar pelos diferentes valores do peso da amostra e valores resultantes do ensaio).

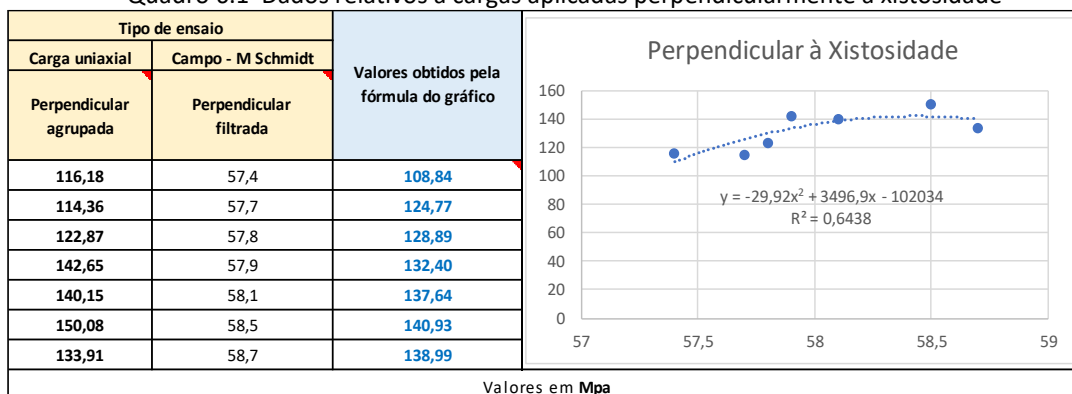
7. Correlação com esclerómetro e gráficos

7.1. Determinação de r^2

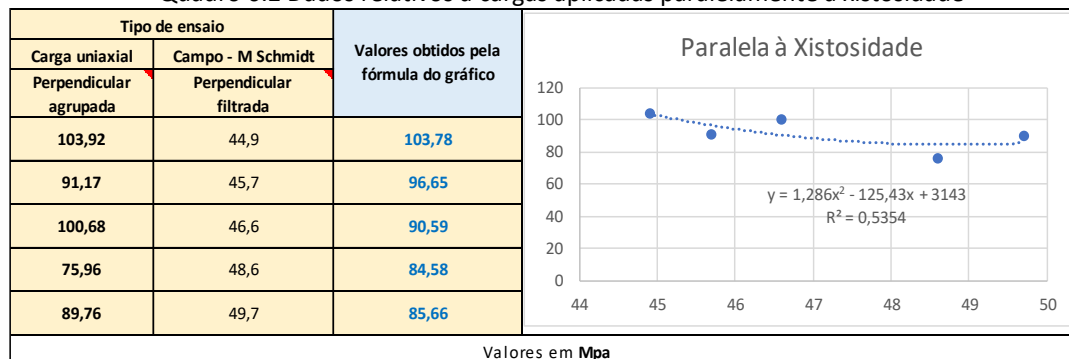
O *Coefficiente de determinação* (r^2) é uma medida de ajustamento de um modelo estatístico linear generalizado, como a regressão linear, em relação aos valores observados.

O r^2 varia entre 0 e 1, indicando, em percentagem, o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. Quanto maior o r^2 , mais explicativo é o modelo, melhor ele se ajusta à amostra.

Quadro 6.1 Dados relativos a cargas aplicadas perpendicularmente à xistosidade



Quadro 6.2 Dados relativos a cargas aplicadas paralelamente à xistosidade

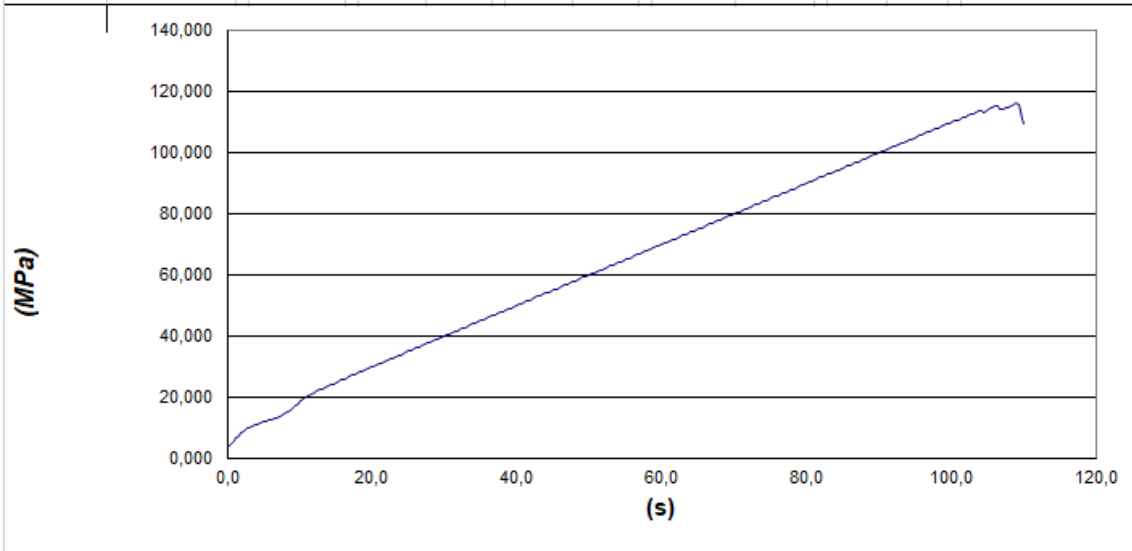


Constata-se que, no nosso caso, apesar do escasso volume de dados inseridos, estes se mostraram bem ajustados como pode ser verificado pelos resultados obtidos (sempre superiores a 0,5).

8. Boletins e saídas dos ensaios:

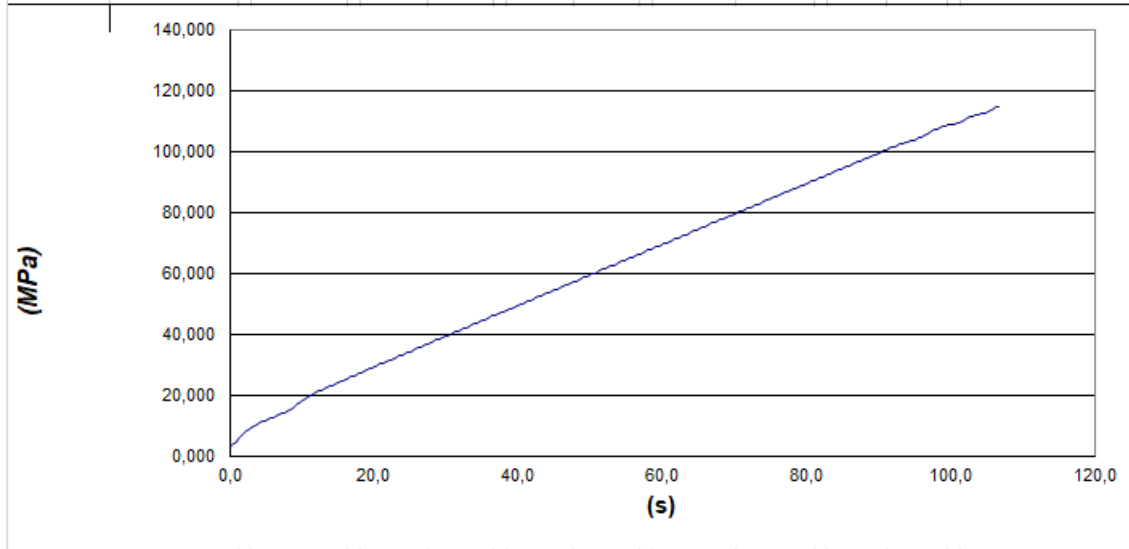
(Nas páginas seguintes)

ISEP						
Teste de compressão em cubo de ardósia: EN 1926						
Certificate number	P1	Certificate date	01-01-1904			
Testing machine	PILOT 50C42					
Client	ELV - JMD					
Reference	P1					
Specimen type	Cubo	Cement quantity				
Granito		Test date	01-01-1904			
<i>Sample conditions:</i>						
Condition when received		Condition at test time				
Sampling location		Sampling date	01-01-1904			
Preparation method	cubos serrados e amaciados					
Specimen ID						
Dimensions	a(mm)	50.00	b(mm)	50.00	Mass [Kg]	0.347
	c(mm)	50			Density [Kg/m3]	2776.00
Load Rate [MPa/s]	1.0					
Area [mm2]	2500.0	Specimen age		Preparation date	01-01-1904	
Load [kN]	290.454			Strength [MPa]	116.18	
Failure type	Satisfactory					
Notes						



Operator
JMD

ISEP									
Teste de compressão em cubo de ardósia: EN 1926									
Certificate number	P2				Certificate date	27-04-2018			
Testing machine	PILOT 50C42								
Client	ELV - JMD								
Reference	P2								
Specimen type	Cubo				Cement quantity				
Granito					Test date	27-04-2018			
Sample conditions:									
Condition when received					Condition at test time				
Sampling location					Sampling date	27-04-2018			
Preparation method	cubos serrados e amaciados								
Specimen ID									
Dimensions	a(mm)	50.00	b(mm)	50.00	Mass [Kg]	0.347			
	c(mm)	50			Density [Kg/m ³]	2776.00			
Load Rate [MPa/s]	1.0								
Area [mm ²]	2500.0	Specimen age				Preparation date	27-04-2018		
Load [kN]	285.901				Strength [MPa]	114.36			
Failure type	Satisfactory								
Notes									



Operator									
JMD									

PILLOT SMART-LineV3.20

S.N. : 16000459

PG

Operador : DIAS

24/04/18 16:47:06

Num. Ensaio: 00006

ID proveite : 000000000000

Compressao Ch1

Proveite: Cubo

Area [mm²] : 002500.0

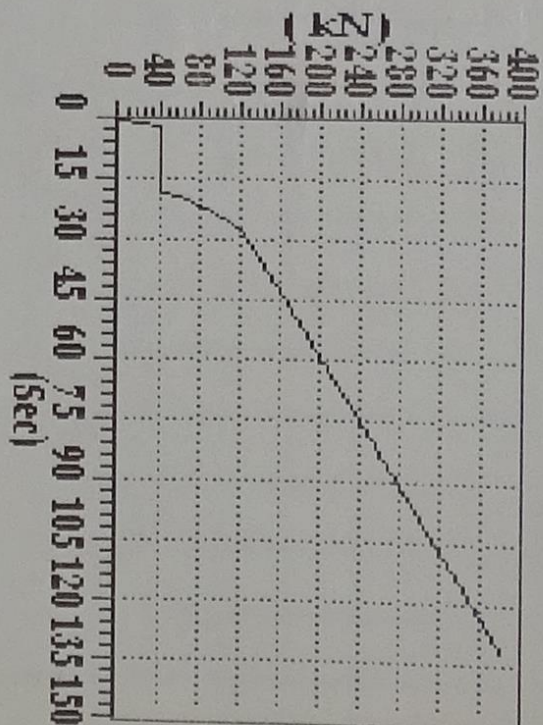
Peso [gr] : 000365

Id [Dias] : 000

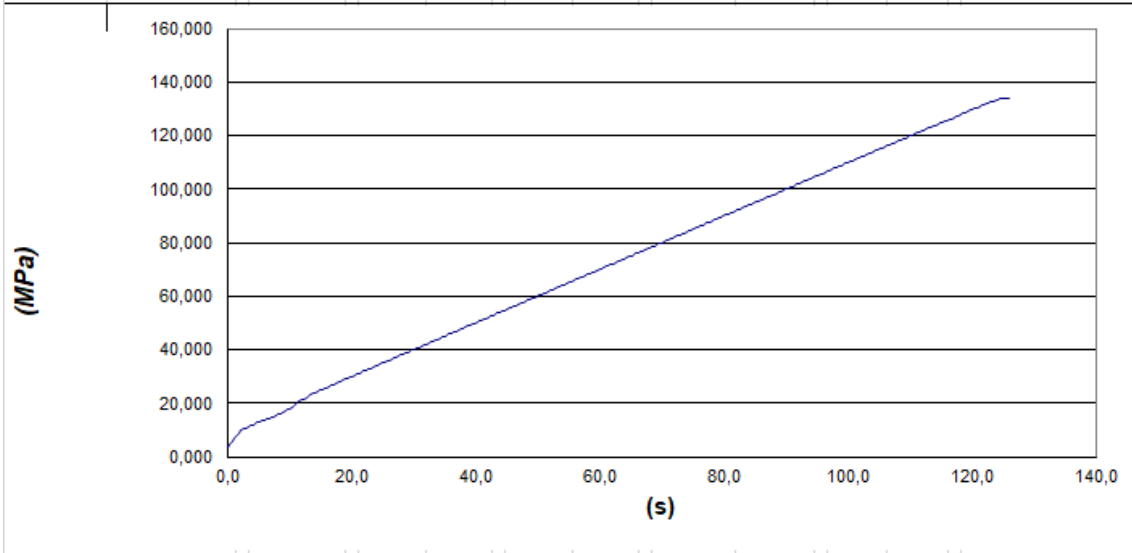
Fm [KN] : 00375.2

Rm [MPa] : 0150.08

VCI [MPa/s] : 001.000

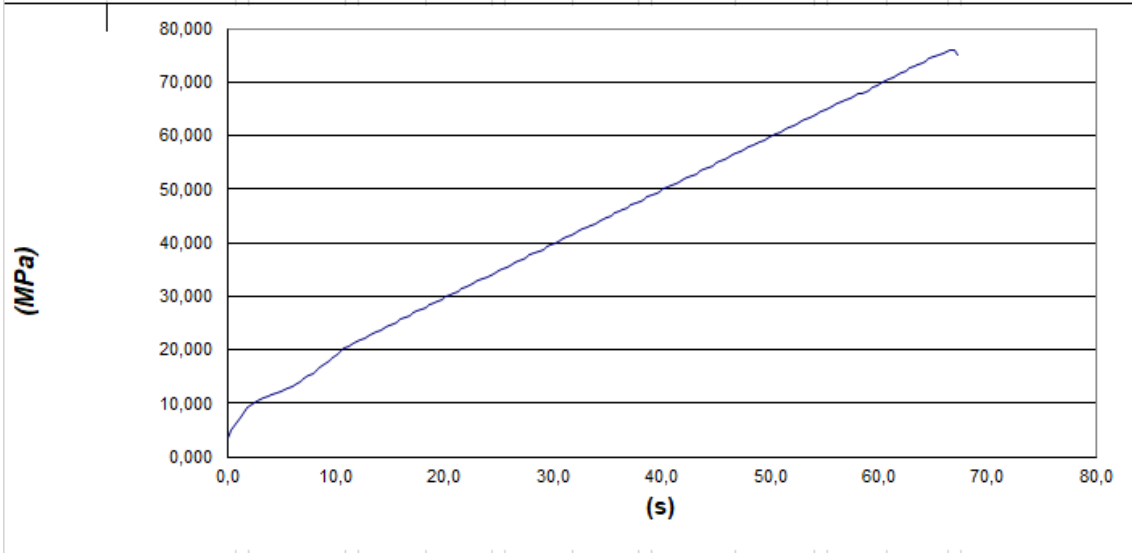


ISEP									
Teste de compressão em cubo de ardósia: EN 1926									
Certificate number	P10			Certificate date	27-04-2018				
Testing machine	PILOT 50C42								
Client	ELV - JMD								
Reference	P10								
Specimen type	Cubo			Cement quantity					
Granito				Test date	27-04-2018				
Sample conditions:									
Condition when received				Condition at test time					
Sampling location				Sampling date	27-04-2018				
Preparation method	cubos serrados e amaciados								
Specimen ID									
Dimensions	a(mm)	50.00	b(mm)	50.00	Mass [Kg]	0.359			
	c(mm)	50			Density [Kg/m3]	2872.00			
Load Rate [MPa/s]	1.0								
Area [mm2]	2500.0	Specimen age				Preparation date	27-04-2018		
Load [kN]	334.78			Strength [MPa]	133.91				
Failure type	Satisfactory								
Notes									



Operator	
JMD	

ISEP									
Teste de compressão em cubo de ardósia: EN 1926									
Certificate number	P11			Certificate date	27-04-2018				
Testing machine	PILOT 50C42								
Client	ELV - JMD								
Reference	P11								
Specimen type	Cubo			Cement quantity					
Granito				Test date	27-04-2018				
Sample conditions:									
Condition when received				Condition at test time					
Sampling location				Sampling date	27-04-2018				
Preparation method	cubos serrados e amaciados								
Specimen ID									
Dimensions	a(mm)	50.00	b(mm)	50.00	Mass [Kg]	0.353			
	c(mm)	50			Density [Kg/m3]	2824.00			
Load Rate [MPa/s]	1.0								
Area [mm2]	2500.0	Specimen age				Preparation date	27-04-2018		
Load [kN]	189.911			Strength [MPa]	75.96				
Failure type	Satisfactory								
Notes									



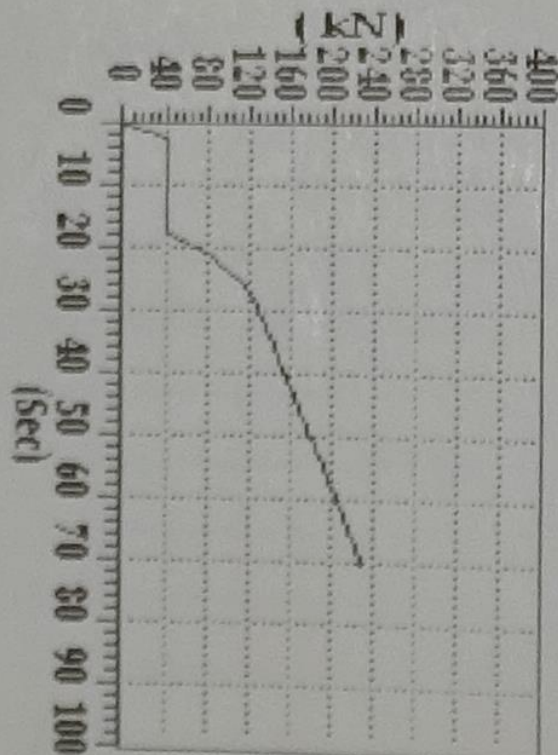
Operator								
JMD								

PILOT SMART-LineV3.20

S.N. : 16000459

P124

Operador : DIAS
24/04/18 16:55:26
Num. Ensaio: 00012
ID provele : 000000000000
Compressao Ch1
Provele: Cubo
Area [mm²] : 002500.0
Peso [gr] : 000365
Id. I Dias : 000
Fm [KN] : 00224.4
Rm [MPa] : 0089.76
VCl [MPa/s] : 001.000



ANEXO 7

Ficha de classificação

FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DE FRENTE DE TRABALHO

data da ultima inspeção: / /

DATA / /

Local	
Orientação e extensão da frente	
Coordenadas GPS (centro da frente)	

1	Ângulo do talude (°)	<50	Baixo 50 - 60	Médio 60 -75	Alto 75 -90	Muito alto >90 numa dimensão> H5
	observações					
2	Altura do talude (m)	<25	25 - 35	35 - 45	45 - 55	>55
	observações					
3	Rugosidade das juntas	Muito rugosas	Rugosas	Levemente Rugosas	Macias	Escorregadias
	observações					
4	Numero de famílias de descontinuidades presentes	1	2	3	4	>=5
	observações					
5	Orientação das juntas e/ou famílias no talude	Favorável à estabilidade	Moderada	Pouco adversa	Adversa	Muito adversa
	observações					
6	Persistência das descontinuidades no talude (m)	Muito baixa >10m	Baixa 10 - 5m	Moderada 5 - 3m	Alta 3 - 1m	Muito alta <1m
	observações					
7	Abertura das descontinuidades no talude (mm)	Sem abertura	Muito baixa < 0,1	Moderada 0,1 - 1	Significativa 1 - 5	Muito significativa > 5
	observações					
8	Preenchimento das juntas no talude	Inexistente	Muito duro	Duro	Macio	Muito macio
	observações					
9	Espaçamento médio das juntas no talude (H= altura do talude)	<H/2	<H/3	<H/6	<H/10	<H/20
	observações					
10	Homogeneidade do maciço na frente considerada	Frente homogénea (rocha sã)	Homogénea mas com maciço alterado na parte superior > H5	Homogénea mas com maciço alterado na parte superior > H4	Homogénea mas com maciço alterado na parte superior > H3	Homogénea mas com maciço alterado em várias zonas > H3
	observações					
11	Resistência na rocha intacta (Mpa)	>150	150 - 125	125 - 100	100 - 75	>75
	observações					
12	Pluviosidade	Rara	Esparsa	Sazonal ligeira	Sazonal intensa	Muito intensa
	observações					
13	Presença de água nas descontinuidades do talude	Seco	Húmido	Molhado	Gotejante	Corrente
	observações					

14	Risco sísmico (coeficiente de aceleração α)	$\alpha < 0.14$	$0.14 < \alpha < 0.16$	$0.16 < \alpha < 0.24$	$0.24 < \alpha < 0.36$	$\alpha > 0.36$
	observações					
15	Presença de vegetação no talude e coroamento	Sem vegetação	Vegetação esparsa	Vegetação de pequeno porte (arbustos)	Vegetação esparsa com árvores de grande porte	Vegetação densa, incluindo árvores de grande porte
	observações					
16	Amplitude da zona de proteção na base do talude (m)	>10	10 - 6	6 - 3	3 - 1	< 1
	observações					
17	Registo de quedas de rochas	Sem registo	Pequena quantidade de pedras nas banquetas	Grande quantidade de pedras nas banquetas	Blocos de dimensões apreciáveis (>1ton) nas banquetas	Quedas frequentes e notórias de pedras
	observações					
18	Acessibilidade do talude (para estabilização)	Todos os tipos de estabilização permitidos	Maioria das estabilizações possíveis	Algumas estabilizações possíveis	Poucos tipos de estabilização exequíveis	Acesso muito difícil
	observações					
19	Impacto potencial das quedas de pedras em estruturas e valores	Negligenciável: pouca presença humana ou atividades e estruturas	Baixa: áreas com pouca presença humana ou estruturas	Moderada: áreas com pouca presença humana, com estruturas significativas	Alta: Áreas com presença humana assídua e estruturas e atividades	Muito alta: presença humana fixa, estruturas e ativ. importantes
	observações					
20	Zonas da frente aparentemente instáveis	Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco	Descontinuidades que se intersectam de forma suspeita	Blocos destacados no talude que se possam instabilizar	Presença de elementos destacados por alteração meteórica e	Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas
	observações					
21	Irregularidade das faces do talude	Face irregular com descontinuidades rugosas (a fricção reduz a aceleração)	Face irregular com descontinuidades planares e ressaltos	Face pouco irregular com muitas descontinuidades	Face suave e com descontinuidades	Face lisa com muitas descontinuidades
	observações					
22	Nº de blocos estimados em perigo no comprimento de talude considerado	0 - 1	1 - 3	3 - 6	6 - 10	>10
	observações					
23	Altura de queda (m) - (H = altura total do talude)	Quedas em pequenas áreas da frente do talude (H/5)	Quedas em pequenas a médias áreas do talude (2H/5)	Quedas em áreas médias da frente do talude (3H/5)	Quedas em médias a grandes áreas do talude (4H/5)	Quedas em toda a área da frente do talude (H)
	observações					
24	Massa dos blocos (m ³)	<1	1 - 2,5	2,5 - 4	4 - 8	>8
	observações					
25	Área afetada por cavidades, naturais ou antigas pedreiras (A=área da frente)	Sem	a>A/10; entulhada	a>A/5; entulhada	a>A/4; entulhada	a>A/3; entulhada ou não
	observações					
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	Com medidas mais significativas implementadas	Com pregagens entre 3 e 6m, ancoragens ou redes pontuais	Com bancadas de captura e pregagens <3m	Com bancadas de captura	Sem nenhuma das medidas anteriores e/ou risco aparente
	observações					
27	Existência de caixas de falhas significativas	Não existem	Com 0 - 10cm e preenchimento consistente	Com 0 - 10cm e preenchimento pouco consistente	Com 10 - 20cm e preenchimento pouco consistente	Com a>20 e preenchimento inconsistente ou milonitizado
	observações					
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas	Inexistente	Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m	Descolamento com significado a>10cm; l>2m	Descolamento múltiplo A<10cm; l>2m	Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m
	observações					

(página propositadamente em branco)

ANEXO 8

Modelações numéricas

Modelações numéricas

8.1 Dips

O programa DIPS (v7.0) da Rocscience foi projetado para a análise interativa de dados geológicos baseados na orientação das descontinuidades de um dado maciço rochoso e é uma ferramenta muito prática para a análise de dados geológicos.

Permite, nomeadamente, analisar e visualizar dados estruturais seguindo as mesmas técnicas usadas em estereogramas manuais. Além disso, possui muitos recursos para análises numéricas, que lhe permitem análises relacionadas com a engenharia de estruturas rochosas, sendo uma das suas grandes vantagens o formato dos seus arquivos de dados que proporcionam a análise de quaisquer dados baseados em orientação (no nosso caso utilizamos tabelas em excel).

8.2 Swedge

Por seu lado, o Swedge (no nosso caso foi utilizada a versão 6.0) é uma ferramenta de análise rápida, interativa e simples de usar para avaliar a geometria e a estabilidade de cunhas de superfície em encostas rochosas. Neste programa as cunhas, definidas por dois (ou três) planos de descontinuidade de interseção, a superfície de declive e uma trinca de tensão opcional.

Relativamente à estabilidade de uma cunha, esta pode ser avaliada usando uma análise:

- Determinística (dá-nos, em retorno, um fator de segurança - FS);
- Probabilística (retorna uma probabilidade de falha - PF) ou
- Combinações dos métodos de análise antes referidos.

Para uma análise determinística, o Swedge calcula o fator de segurança para uma cunha de orientação conhecida. Para uma análise probabilística, os dados de entrada estatísticos podem ser inseridos para considerar a incerteza nos valores de orientação e força da junta. Isso resulta numa distribuição de fator de segurança, a partir da qual uma probabilidade de falha é calculada. Para uma análise de Combinações, qualquer número de planos conjuntos pode ser definido, e o Swedge calculará todas as combinações possíveis de interseções de juntas que podem formar uma cunha.

Neste programa existem ainda outros recursos de modelagem que incluem:

- pressão da água em planos conjuntos;
- forças externas / sísmicas / pressão;
- suporte de parafuso ativo ou passivo;
- suporte de concreto projetado ou pressão;
- opção de cálculo de desenho de bancadas de retenção.

Para todos os casos antes descritos, o modo de falha assumido da cunha é escorregamento translacional, não sendo tomados em consideração quer o escorregamento rotacional quer o “toppling”.

8.3 Análise dos dados de campo no Dips

Reduzindo as orientações das descontinuidades obtidas nos “scanline” efetuados na pedreira da Milhária a tabelas excel, pôde-se introduzir esses elementos no Dips, de que resultaram projeções estereográficas, famílias de descontinuidades e distribuições em roseta como as que se podem observar nas páginas seguintes:

ID	Dip	Dip Direction	Set
1	70	130	1
2	70	143	1
3	68	130	1
4	72	90	2
5	73	90	2
6	68	55	
7	70	100	2
8	80	150	
9	75	145	1
10	72	90	2
11	78	90	2
12	65	145	1
13	67	135	1
14	90	135	3
15	80	130	1
16	80	145	1
17	70	130	1
18	70	145	1
19	65	145	1
20	90	140	3
21	80	330	3
22	66	300	
23	78	315	3
24	80	110	
25	78	295	
26	75	334	3
27	80	135	1
28	80	135	1
29	80	135	1
30	80	135	1
31	80	135	1
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			

ID	Dip	Dip Direction	Set
1	30	325	
2	70	170	
3	50	300	
4	45	135	2
5	45	135	2
6	80	122	3
7	20	121	
8	77	118	3
9	87	111	
10	87	93	
11	89	142	1
12	10	50	
13	30	144	
14	70	90	
15	80	120	3
16	89	147	
17	89	147	
18	89	147	
19	20	60	5
20	80	160	4
21	80	160	4
22	90	320	1
23	80	160	4
24	80	160	4
25	70	120	3
26	40	135	2
27	20	70	5
28	80	120	3
29	80	160	4
30	30	340	
31	80	150	
32	87	145	1
33	87	145	1
34	87	150	
35	87	320	1
36	84	300	
37	89	315	
38	80	110	
39	89	295	
40	74	334	
41	85	135	
42	85	135	
43	85	135	
44	85	135	
45	85	135	
46	45	315	
47	70	110	
48	70	115	3
49	74	154	4
50	50	340	

ID	Dip	Dip Direction	Set
51	85	135	
52	85	135	
53	50	270	
54	90	145	1
55	90	145	1
56	90	150	
57	90	320	1
58	86	300	
59	90	315	
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			
80			
81			
82			
83			
84			
85			
86			
87			
88			
89			
90			
91			
92			
93			
94			
95			
96			
97			
98			
99			
100			

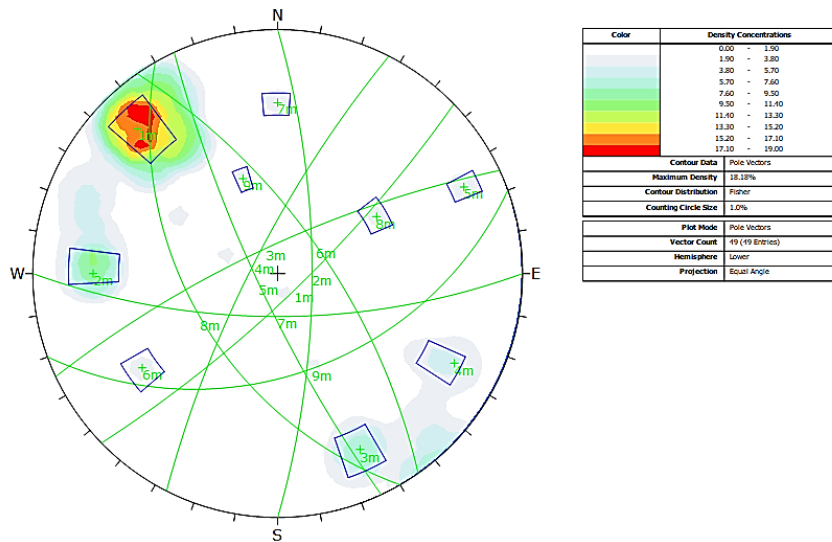


Ilustração 8.1 Planos médios de famílias de descontinuidades - Dips

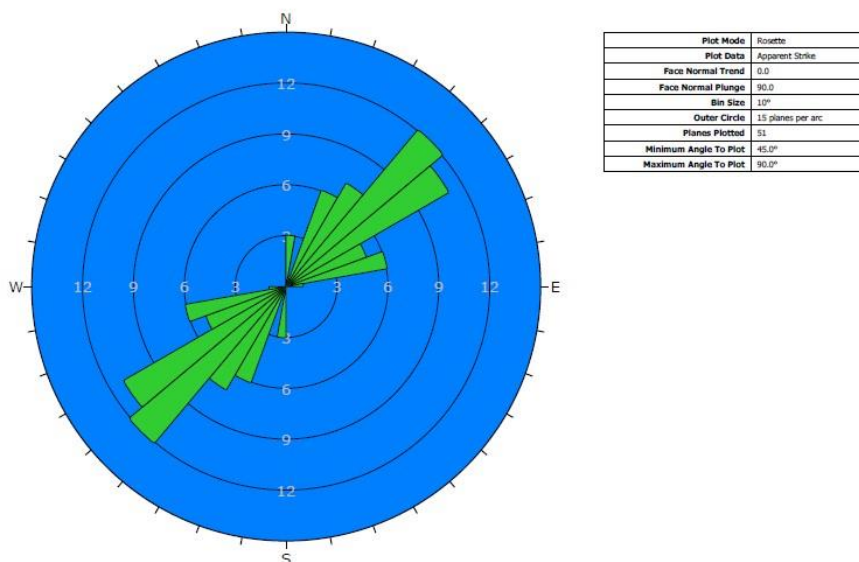


Ilustração 8.2 Representação em roseta das famílias de descontinuidades - Dips

8.4 Modelações efetuadas no Swedge

Conforme visto anteriormente, com os dados de campo, obtiveram-se as famílias médias das descontinuidades verificadas na frente da pedra da Milhária em estudo, através do programa DIPS (v7.0) da Rocscience.

E foi com base nestes novos dados que foram selecionadas as famílias para as simulações a efetuar no programa Swedge. Assim, foram sendo selecionadas as famílias mais representativas que, introduzidas no programa nos foram devolvendo resultados, conforme a análise fosse determinística quer se fosse probabilística. Numa primeira fase e através de análises determinísticas determinaram-se valores de fatores de segurança para os dados antes adquiridos. Após esta fase e alguns exercícios de retro análise, passou-se a uma segunda fase em que se realizaram uma nova série de modelações, desta vez probabilísticas de forma a calcular probabilidades de falha e, assim, melhor podermos trabalhar os dados em conjugação com a análise de risco que efetuamos para a mesma frente da pedra da Milhária.

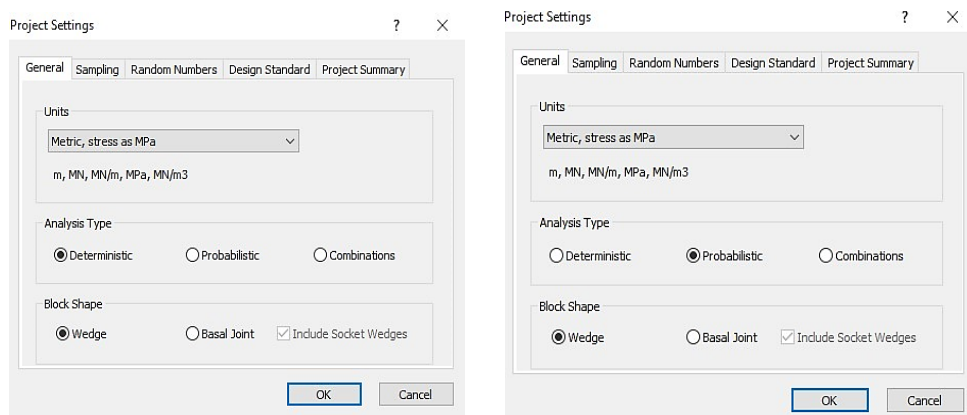


Ilustração 8.4 Seleção do tipo de análise no Swedge v6.0

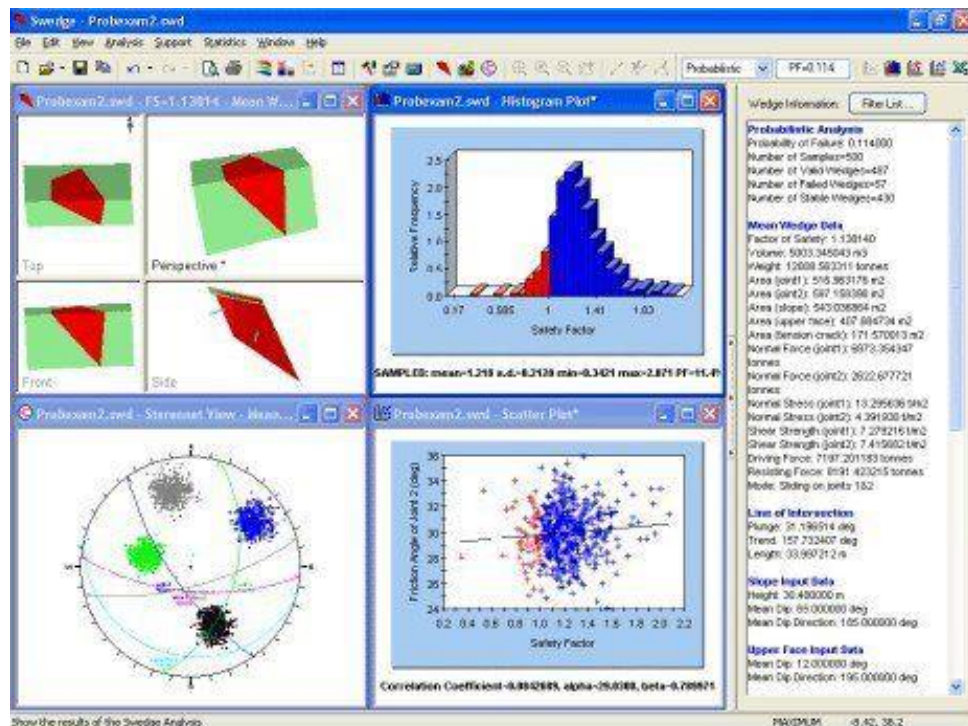


Ilustração 8.5 Exemplo de modelação realizada no Swedge v6.0

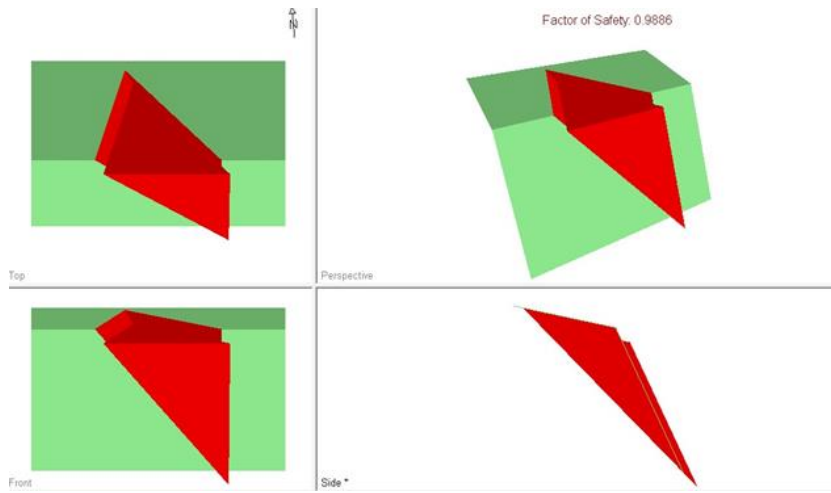


Ilustração 8.6 Modelação efetuada no Swedge v6.0

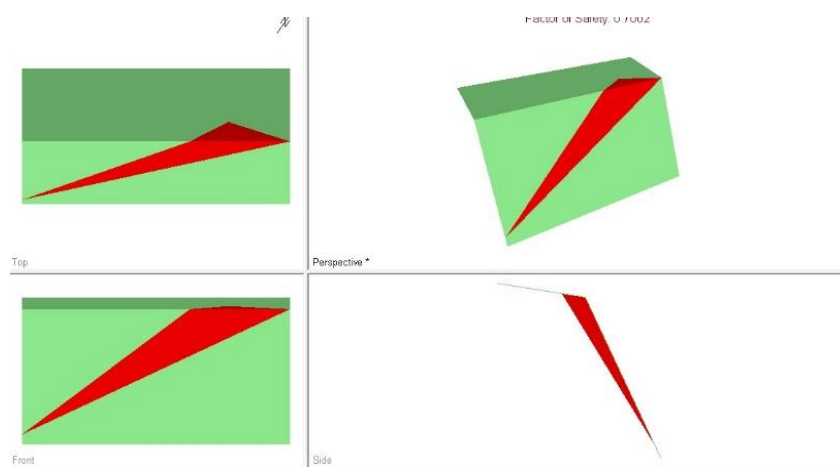


Ilustração 8.7 Modelação efetuada no Swedge v6

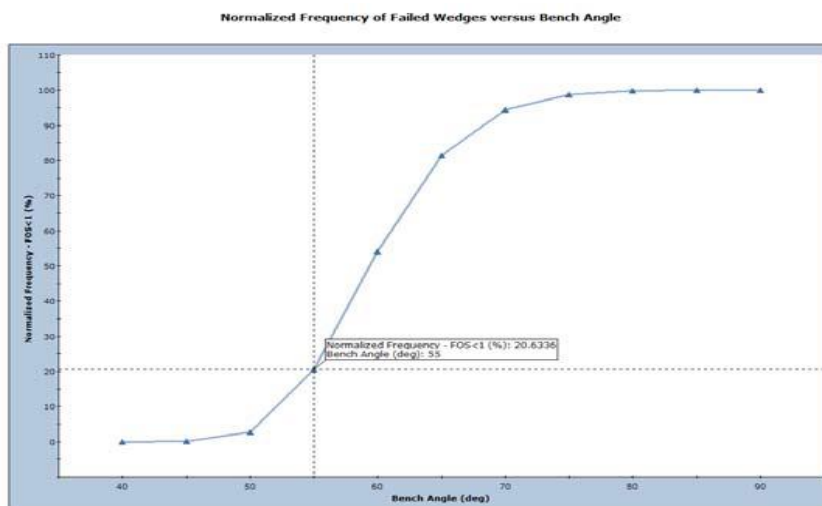


Ilustração 8.8 Modelação de banda no Swedge v6.0

Tabelas para retroanálise

Determinação do fator de segurança - FS

P1

pressupostos:

slope:		uper face:		joint 1		joint 2	
dip	65°	dip	9°	dip	45°	dip	78°
dip dir	145°	dip dir	145°	dip dir	160°	dip dir	297°

densidade da ardósia
altura da bancada
comprimento do perfil

qtd
un.
2,8
t/m³
46
m

Ø (m)	FS																				FS	C (Mpa)	Ø (m)	FS																				FS	C (Mpa)	Ø (m)					
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39				40	41	42	43	44	45	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33				34	35	36	37	38
0	0,364	0,384	0,404	0,425	0,445	0,466	0,488	0,510	0,532	0,554	0,577	0,601	0,625	0,649	0,675	0,700	0,727	0,754	0,781	0,810	0,839	0,869	0,900	0,933	0,966	1,000	0,500	0,004	20	1,761	0,041	20	2,750	0,070	20																
0,001	0,398	0,418	0,438	0,459	0,479	0,500	0,522	0,544	0,566	0,588	0,611	0,635	0,659	0,684	0,709	0,734	0,761	0,788	0,815	0,844	0,873	0,903	0,935	0,967	1,000	0,486	0,003	21	1,747	0,040	21	2,736	0,069	21																	
0,002	0,432	0,452	0,472	0,493	0,513	0,535	0,556	0,578	0,600	0,623	0,646	0,669	0,693	0,718	0,743	0,768	0,795	0,832	0,849	0,878	0,907	0,937	0,969	1,001	1,034	1,068	0,506	0,003	22	1,767	0,040	22	2,756	0,069	22																
0,003	0,466	0,486	0,506	0,527	0,548	0,569	0,590	0,612	0,634	0,657	0,680	0,703	0,727	0,752	0,777	0,802	0,829	0,856	0,884	0,912	0,941	0,972	1,003	1,035	1,068	0,493	0,002	23	1,753	0,039	23	2,742	0,068	23																	
0,004	0,500	0,520	0,540	0,561	0,582	0,603	0,624	0,646	0,668	0,691	0,714	0,737	0,761	0,786	0,811	0,837	0,863	0,890	0,918	0,946	0,975	1,006	1,037	1,069	1,102	1,136	0,513	0,002	24	1,740	0,038	24	2,763	0,068	24																
0,005	0,534	0,554	0,574	0,595	0,616	0,637	0,658	0,680	0,702	0,725	0,748	0,771	0,795	0,820	0,845	0,871	0,897	0,924	0,952	0,980	1,010	1,040	1,071	1,103	1,136	1,170	0,500	0,001	25	1,761	0,038	25	2,749	0,067	25																
0,006	0,568	0,588	0,609	0,629	0,650	0,671	0,692	0,714	0,736	0,759	0,782	0,805	0,829	0,854	0,879	0,905	0,931	0,959	0,986	1,014	1,044	1,074	1,105	1,137	1,170	1,204	0,488	0,000	26	1,749	0,037	26	2,737	0,066	26																
0,007	0,603	0,622	0,643	0,663	0,684	0,705	0,726	0,748	0,770	0,793	0,816	0,839	0,863	0,888	0,913	0,939	0,965	0,992	1,020	1,048	1,078	1,108	1,139	1,171	1,204	1,239	0,739	0,011	20	1,736	0,036	27	2,759	0,066	27																
0,008	0,637	0,657	0,677	0,697	0,718	0,739	0,760	0,782	0,804	0,827	0,850	0,874	0,898	0,922	0,947	0,973	0,999	1,026	1,054	1,083	1,112	1,142	1,173	1,205	1,238	1,273	0,759	0,011	21	1,758	0,036	28	2,747	0,065	28																
0,009	0,671	0,691	0,711	0,731	0,752	0,773	0,794	0,816	0,838	0,861	0,884	0,908	0,932	0,956	0,981	1,007	1,033	1,060	1,088	1,117	1,146	1,176	1,207	1,239	1,272	1,307	0,745	0,010	22	1,747	0,035	29	2,735	0,064	29																
0,01	0,705	0,725	0,745	0,765	0,786	0,807	0,828	0,850	0,872	0,895	0,918	0,942	0,966	0,990	1,015	1,041	1,067	1,094	1,122	1,151	1,180	1,210	1,241	1,273	1,306	1,341	0,765	0,010	23	1,736	0,034	30	2,748	0,064	30																
0,011	0,739	0,759	0,779	0,799	0,820	0,841	0,863	0,884	0,907	0,929	0,952	0,976	1,000	1,024	1,049	1,075	1,101	1,128	1,156	1,185	1,214	1,244	1,275	1,307	1,341	1,375	0,752	0,009	24	1,760	0,034	31	2,748	0,063	31																
0,012	0,773	0,793	0,813	0,833	0,853	0,875	0,897	0,918	0,941	0,963	0,986	1,010	1,034	1,058	1,083	1,109	1,136	1,161	1,190	1,219	1,248	1,278	1,309	1,341	1,375	1,409	0,739	0,008	25	1,750	0,033	32	2,738	0,062	32																
0,013	0,807	0,827	0,847	0,867	0,888	0,909	0,931	0,953	0,975	0,997	1,020	1,044	1,068	1,092	1,117	1,143	1,170	1,195	1,224	1,253	1,282	1,312	1,343	1,376	1,409	1,443	0,752	0,009	24	1,760	0,034	31	2,748	0,063	31																
0,014	0,841	0,861	0,881	0,902	0,922	0,943	0,965	0,987	1,009	1,031	1,054	1,078	1,102	1,126	1,152	1,177	1,204	1,229	1,258	1,287	1,316	1,346	1,377	1,410	1,443	1,477	0,748	0,007	27	1,765	0,032	34	2,763	0,061	34																
0,015	0,875	0,895	0,915	0,936	0,957	0,977	0,999	1,021	1,043	1,065	1,089	1,112	1,136	1,160	1,186	1,211	1,238	1,263	1,292	1,321	1,350	1,380	1,412	1,444	1,477	1,511	0,736	0,006	28	1,757	0,031	35	2,745	0,060	35																
0,016	0,909	0,929	0,949	0,970	0,990	1,012	1,033	1,055	1,077	1,100	1,123	1,146	1,170	1,195	1,220	1,245	1,272	1,297	1,327	1,356	1,384	1,415	1,446	1,478	1,511	1,545	0,759	0,006	29	1,749	0,030	36	2,738	0,059	36																
0,017	0,943	0,963	0,983	1,004	1,025	1,046	1,067	1,089	1,111	1,134	1,157	1,180	1,204	1,229	1,254	1,279	1,306	1,330	1,361	1,390	1,418	1,449	1,480	1,512	1,545	1,579	0,748	0,005	30	1,736	0,029	37	2,749	0,059	37																
0,018	0,977	0,997	1,017	1,038	1,059	1,080	1,101	1,123	1,145	1,168	1,191	1,214	1,238	1,263	1,288	1,314	1,340	1,364	1,395	1,424	1,452	1,483	1,514	1,546	1,579	1,613	0,737	0,004	31	1,765	0,028	38	2,758	0,058	38																
0,019	1,011	1,031	1,052	1,073	1,093	1,114	1,135	1,157	1,179	1,202	1,225	1,248	1,272	1,297	1,322	1,348	1,374	1,398	1,429	1,458	1,487	1,517	1,548	1,580	1,613	1,647	0,761	0,004	32	1,775	0,028	39	2,768	0,058	39																
0,02	1,046	1,066	1,086	1,106	1,126	1,148	1,169	1,191	1,213	1,236	1,259	1,283	1,307	1,331	1,356	1,382	1,408	1,434	1,463	1,492	1,521	1,551	1,582	1,614	1,647	1,682	0,752	0,003	33	1,759	0,027	40	2,747	0,056	40																
0,021	1,080	1,100	1,120	1,140	1,161	1,182	1,203	1,225	1,247	1,270	1,293	1,317	1,341	1,365	1,390	1,416	1,442	1,469	1,497	1,526	1,555	1,585	1,616	1,648	1,681	1,716	0,745	0,002	34	1,759	0,027	40	2,747	0,056	40																
0,022	1,114	1,134	1,154	1,174	1,195	1,216	1,237	1,259	1,281	1,304	1,327	1,351	1,375	1,399	1,424	1,450	1,476	1,503	1,531	1,560	1,589	1,619	1,650	1,682	1,715	1,750	0,735	0,002	34	1,743	0,026	41	2,744	0,055	41																
0,023	1,148	1,168	1,188	1,208	1,229	1,250	1,272	1,293	1,315	1,338	1,361	1,385	1,409	1,433	1,458	1,484	1,510	1,533	1,565	1,594	1,623	1,653	1,684	1,716	1,749	1,784	0,761	0,001	35	1,752	0,025	42	2,740	0,054	42																
0,024	1,182	1,202	1,222	1,242	1,263	1,284	1,306	1,327	1,349	1,372	1,395	1,419	1,443	1,467	1,492	1,518	1,545	1,567	1,599	1,629	1,657	1,687	1,718	1,750	1,784	1,818	0,734	0,001	35	1,752	0,025	42	2,740	0,054	42																
0,025	1,216	1,236	1,256	1,276	1,297	1,318	1,340	1,361	1,384	1,406	1,429	1,453	1,477	1,501	1,526	1,552	1,579	1,601	1,633	1,663	1,691	1,721	1,752	1,784	1,818	1,852	0,761	0,001	36	1,750	0,024	43	2,739	0,053	43																
0,026	1,250	1,270	1,290	1,310	1,331	1,352	1,374	1,396	1,418	1,440	1,463	1,487	1,511	1,535	1,560	1,586	1,613	1,634	1,667	1,697	1,725	1,755	1,786	1,819	1,852	1,886	0,750	0,000	37	1,749	0,023	44	2,738	0,052	44																
0,027	1,284	1,304	1,324	1,345	1,365	1,386	1,408	1,430	1,452	1,474	1,498	1,521	1,545	1,569	1,594	1,620	1,647	1,668	1,701	1,731	1,759	1,789	1,820	1,853	1,886	1,920	0,997	0,018	21	2,000	0,048	20	3,022	0,078	20																
0,028	1,318	1,338	1,358	1,379	1,399	1,420	1,442	1,464	1,486	1,508	1,532	1,555	1,579	1,603	1,628	1,654	1,681	1,702	1,735	1,765	1,793	1,823	1,854	1,887	1,920	1,954	1,012	0,019	20	1,986	0,047	21	3,008	0,077	21																
0,029	1,352	1,372	1,392	1,413	1,434	1,455	1,476	1,498	1,520	1,542	1,566	1,589	1,613	1,637	1,663	1,688	1,715	1,736	1,770	1,799	1,827	1,858	1,889	1,921	1,954	1,988	1,004	0,017	23	2,006	0,047	22	2,994	0,076	22																
0,03	1,386	1,406	1,426	1,447	1,468	1,489	1,510	1,532	1,554	1,577	1,600	1,623	1,647	1,672	1,697	1,722	1,749	1,770	1,804	1,833	1,861	1,892	1,923	1,955	1,988	2,022	1,012	0,016	25	2,013	0,046	24	3,001	0,075	24																
0,031	1,420	1,440	1,461	1,481	1,502	1,523	1,544	1,566	1,58																																										

Tabelas para retroanálise

Determinação do fator de segurança - FS

P1	pressupostos:																												slope:				uper face:				joint 1		joint 2		densidade da ardósia				qtđ	un.	t/m3	m	m				
																													dip	65°	dip	9°	dip	45°	dip	78°	altura da bancada				38	39	40	41						42	43	44	45
																													dip dir	145°	dip dir	145°	dip dir	160°	dip dir	297°	comprimento do perfil																
0.068	2,681	2,702	2,721	2,742	2,763	2,783	2,805	2,827	2,849	2,871	2,895	2,919	2,943	2,966	2,991	3,017	3,044	3,053	3,099	3,130	3,156	3,187	3,217	3,250	3,283	3,317	1,224	0,013	38	2,243	0,044	37																					
0.069	2,715	2,736	2,756	2,776	2,797	2,818	2,839	2,861	2,883	2,905	2,929	2,953	2,977	3,000	3,025	3,051	3,078	3,087	3,133	3,164	3,190	3,221	3,252	3,284	3,317	3,351	1,219	0,012	39	2,247	0,043	38																					
0.07	2,750	2,770	2,790	2,810	2,831	2,852	2,873	2,895	2,917	2,940	2,963	2,987	3,011	3,034	3,059	3,085	3,113	3,121	3,167	3,198	3,224	3,255	3,286	3,318	3,351	3,385	1,214	0,011	40	2,243	0,042	39																					
0.071	2,784	2,804	2,824	2,844	2,865	2,886	2,907	2,929	2,951	2,974	2,997	3,021	3,045	3,068	3,093	3,119	3,147	3,155	3,201	3,232	3,258	3,289	3,320	3,352	3,385	3,419	2,210	0,010	41	2,236	0,041	40																					
0.072	2,818	2,838	2,858	2,878	2,899	2,920	2,941	2,963	2,985	3,008	3,031	3,055	3,079	3,102	3,128	3,154	3,181	3,189	3,235	3,266	3,292	3,323	3,354	3,386	3,419	3,453	1,241	0,010	42	2,232	0,040	41																					
0.073	2,852	2,872	2,892	2,912	2,933	2,954	2,975	2,997	3,019	3,042	3,065	3,089	3,113	3,137	3,162	3,188	3,215	3,222	3,269	3,300	3,327	3,357	3,388	3,420	3,453	3,487	1,239	0,009	43	2,263	0,040	42																					
0.074	2,886	2,906	2,926	2,946	2,967	2,988	3,009	3,031	3,053	3,076	3,099	3,123	3,147	3,171	3,196	3,222	3,249	3,256	3,303	3,335	3,361	3,391	3,422	3,454	3,487	3,522	1,238	0,008	44	2,262	0,039	43																					
0.075	2,920	2,940	2,960	2,980	3,001	3,022	3,044	3,065	3,087	3,110	3,133	3,157	3,181	3,205	3,230	3,256	3,283	3,290	3,337	3,369	3,395	3,425	3,456	3,488	3,521	3,556	1,238	0,008	44	2,261	0,038	44																					
0.076	2,954	2,974	2,994	3,014	3,035	3,056	3,078	3,099	3,121	3,144	3,167	3,191	3,215	3,239	3,264	3,290	3,317	3,324	3,371	3,403	3,429	3,459	3,490	3,522	3,556	3,590	1,489	0,033	20	2,261	0,037	45																					
0.077	2,988	3,008	3,028	3,048	3,069	3,090	3,112	3,133	3,155	3,178	3,202	3,225	3,249	3,273	3,298	3,324	3,351	3,357	3,405	3,437	3,463	3,493	3,524	3,556	3,590	3,624	1,509	0,033	21	2,511	0,063	20																					
0.078	3,022	3,043	3,062	3,083	3,103	3,124	3,146	3,168	3,190	3,212	3,236	3,260	3,284	3,307	3,332	3,358	3,385	3,391	3,439	3,471	3,497	3,527	3,558	3,591	3,624	3,658	1,495	0,032	22	2,497	0,062	21																					
0.079	3,056	3,077	3,096	3,117	3,137	3,158	3,180	3,202	3,224	3,246	3,270	3,294	3,318	3,341	3,366	3,392	3,419	3,425	3,473	3,505	3,531	3,561	3,592	3,625	3,658	3,692	1,515	0,032	23	2,483	0,061	22																					
0.08	3,090	3,111	3,130	3,151	3,172	3,192	3,214	3,236	3,258	3,280	3,304	3,328	3,352	3,375	3,400	3,426	3,453	3,459	3,507	3,539	3,565	3,595	3,626	3,659	3,692	3,726	1,502	0,031	24	2,530	0,061	23																					
0.081	3,124	3,145	3,165	3,185	3,206	3,226	3,248	3,270	3,292	3,314	3,338	3,362	3,386	3,409	3,434	3,460	3,487	3,493	3,542	3,573	3,599	3,630	3,660	3,693	3,726	3,760	1,489	0,030	25	2,490	0,060	24																					
0.082	3,158	3,179	3,199	3,219	3,240	3,261	3,282	3,304	3,326	3,348	3,372	3,396	3,420	3,443	3,468	3,494	3,522	3,526	3,576	3,607	3,633	3,664	3,695	3,727	3,760	3,794	1,510	0,030	26	2,511	0,060	25																					
0.083	3,193	3,213	3,233	3,253	3,274	3,295	3,316	3,338	3,360	3,382	3,406	3,430	3,454	3,477	3,502	3,528	3,556	3,560	3,610	3,642	3,667	3,698	3,729	3,761	3,794	3,828	1,498	0,029	27	2,498	0,059	26																					
0.084	3,227	3,247	3,267	3,287	3,308	3,329	3,350	3,372	3,394	3,417	3,440	3,464	3,488	3,511	3,536	3,562	3,590	3,594	3,644	3,676	3,701	3,732	3,763	3,795	3,828	3,862	1,486	0,028	28	2,486	0,058	27																					
0.085	3,261	3,281	3,301	3,321	3,342	3,363	3,384	3,406	3,428	3,451	3,474	3,498	3,522	3,545	3,570	3,597	3,624	3,628	3,678	3,710	3,735	3,766	3,797	3,829	3,862	3,896	1,508	0,028	29	2,508	0,058	28																					
0.086	3,295	3,315	3,335	3,355	3,376	3,397	3,418	3,440	3,462	3,485	3,508	3,532	3,556	3,579	3,605	3,631	3,658	3,662	3,712	3,744	3,770	3,800	3,831	3,863	3,896	3,930	1,498	0,027	30	2,497	0,057	29																					
0.087	3,329	3,349	3,369	3,389	3,410	3,431	3,452	3,474	3,496	3,519	3,542	3,566	3,590	3,614	3,639	3,665	3,692	3,695	3,746	3,778	3,804	3,834	3,865	3,897	3,930	3,964	1,487	0,026	31	2,486	0,056	30																					
0.088	3,363	3,383	3,403	3,423	3,444	3,465	3,487	3,508	3,530	3,553	3,576	3,600	3,624	3,648	3,673	3,699	3,726	3,729	3,780	3,812	3,838	3,868	3,899	3,931	3,964	3,999	1,511	0,026	32	2,510	0,056	31																					
0.089	3,397	3,417	3,437	3,457	3,478	3,499	3,521	3,542	3,564	3,587	3,610	3,634	3,658	3,682	3,707	3,733	3,760	3,763	3,814	3,846	3,872	3,902	3,933	3,965	3,999	4,033	1,501	0,025	33	2,500	0,055	32																					
0.09	3,431	3,452	3,471	3,491	3,512	3,533	3,555	3,576	3,598	3,621	3,645	3,669	3,693	3,716	3,741	3,767	3,794	3,797	3,848	3,880	3,906	3,936	3,967	3,999	4,033	4,067	1,492	0,024	34	2,489	0,054	33																					
0.091	3,465	3,486	3,505	3,526	3,546	3,567	3,589	3,611	3,632	3,655	3,679	3,703	3,727	3,750	3,775	3,801	3,828	3,830	3,882	3,915	3,940	3,970	4,001	4,034	4,067	4,101	1,484	0,023	35	2,514	0,054	34																					
0.092	3,499	3,520	3,539	3,560	3,580	3,601	3,623	3,645	3,667	3,689	3,713	3,737	3,761	3,784	3,809	3,835	3,862	3,864	3,916	3,949	3,974	4,004	4,035	4,068	4,101	4,135	1,510	0,023	36	2,506	0,053	35																					
0.093	3,533	3,554	3,573	3,594	3,615	3,635	3,657	3,679	3,701	3,723	3,747	3,771	3,795	3,818	3,843	3,869	3,896	3,898	3,950	3,983	4,008	4,038	4,069	4,102	4,135	4,169	1,499	0,022	37	2,499	0,052	36																					
0.094	3,567	3,588	3,608	3,628	3,649	3,669	3,691	3,713	3,735	3,757	3,781	3,805	3,829	3,852	3,877	3,903	3,931	3,932	3,985	4,017	4,042	4,073	4,103	4,136	4,169	4,203	1,497	0,021	38	2,513	0,052	37																					
0.095	3,602	3,622	3,642	3,662	3,683	3,704	3,725	3,747	3,769	3,791	3,815	3,839	3,863	3,886	3,911	3,937	3,965	3,966	4,019	4,051	4,076	4,107	4,137	4,170	4,203	4,237	1,492	0,020	39	2,485	0,050	38																					
0.096	3,636	3,656	3,676	3,696	3,717	3,738	3,759	3,781	3,803	3,825	3,849	3,873	3,897	3,920	3,945	3,971	3,999	3,999	4,053	4,085	4,110	4,141	4,172	4,204	4,237	4,271	1,487	0,019	40	2,482	0,049	39																					
0.097	3,670	3,690	3,710	3,730	3,751	3,772	3,793	3,815	3,837	3,860	3,883	3,907	3,931	3,954	3,979	4,005	4,033	4,033	4,087	4,119	4,144	4,175	4,206	4,238	4,271	4,305	1,483	0,018	41	2,509	0,049	40																					
0.098	3,704	3,724	3,744	3,764	3,785	3,806	3,827	3,849	3,871	3,894	3,917	3,941	3,965	3,988	4,013	4,039	4,067	4,067	4,121	4,153	4,178	4,209	4,240	4,272	4,305	4,339	1,514	0,018	42	2,505	0,048	41																					
0.099	3,738	3,758	3,778	3,798	3,819	3,840	3,861	3,883	3,905	3,928	3,951	3,975	3,999	4,022	4,047	4,074	4,101	4,101	4,155	4,188	4,212	4,243	4,274	4,306	4,339	4,373	1,512	0,017	43	2,502	0,047	42																					
0.1	3,772	3,792	3,812	3,832	3,853	3,874	3,896	3,917	3,940	3,962	3,985	4,009	4,033	4,057	4,082	4,108	4,134	4,161	4,189	4,218	4,247	4,277	4,308	4,340	4,374	4,408	1,511	0,016	44	2,500	0,046	43																					
0.2	7,180	7,200	7,220	7,240	7,261	7,282	7,304	7,325	7,347	7,370	7,393	7,417	7,441	7,465	7,490	7,516	7,542	7,569	7,597	7,626	7,655	7,685	7,716	7,748	7,781	7,816	1,511	0,015	45	2,499	0,045	44																					
0.3	10,588	10,608	10,628	10,648	10,669	10,690	10,711	10,733	10,755	10,778	10,801	10,824	10,849	10,873	10,898	10,924	10,950	10,977	11,005	11,033	11,063	11,093	11,124	11,156	11,189	11,234	2,499	0,044	45																								

obs: considerou-se, para simplificação da análise, o θ com o mesmo valor para as duas descontinuidades (e a variar de 20° a 45°).

Tabelas para retroanálise

Determinação do fator de segurança - FS

P2

pressupostos:

slope:		uper face:		joint 1		joint 2	
dip	65°	dip	9°	dip	43°	dip	79°
dip dir	145°	dip dir	145°	dip dir	135°	dip dir	159°

densidade da ardósia
altura da bancada
comprimento do perfil

qtd
un.
2,8
t/m3
40
m
56
m

Ø (v)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	FS	C (Mpa)	Ø (v)	FS	C (Mpa)	Ø (v)	FS	C (Mpa)	Ø (v)
0	0,390	0,412	0,433	0,455	0,477	0,500	0,523	0,546	0,570	0,594	0,619	0,644	0,670	0,696	0,723	0,751	0,779	0,808	0,838	0,868	0,898	0,932	0,966	1,000	1,036	1,072	0,507	0,004	20	1,765	0,047	20	2,759	0,081	20
0.01	0,420	0,441	0,463	0,484	0,507	0,529	0,552	0,576	0,599	0,624	0,648	0,674	0,699	0,726	0,753	0,780	0,808	0,837	0,867	0,898	0,929	0,961	0,995	1,029	1,065	1,102	0,499	0,003	21	1,757	0,046	21	2,751	0,080	21
0.002	0,449	0,470	0,492	0,514	0,536	0,559	0,582	0,605	0,629	0,653	0,678	0,703	0,729	0,755	0,782	0,809	0,838	0,867	0,896	0,927	0,958	0,991	1,024	1,059	1,094	1,131	0,514	0,002	23	1,742	0,044	23	2,736	0,078	23
0.003	0,478	0,499	0,521	0,543	0,565	0,588	0,611	0,634	0,658	0,682	0,707	0,732	0,758	0,784	0,811	0,839	0,867	0,896	0,926	0,956	0,988	1,020	1,053	1,088	1,123	1,160	0,507	0,001	24	1,765	0,044	24	2,759	0,078	24
0.004	0,507	0,529	0,550	0,572	0,594	0,617	0,640	0,663	0,687	0,711	0,736	0,761	0,787	0,813	0,840	0,868	0,896	0,925	0,955	0,985	1,017	1,049	1,083	1,117	1,153	1,189	0,500	0,000	25	1,757	0,043	25	2,752	0,077	25
0.005	0,537	0,558	0,580	0,601	0,624	0,646	0,669	0,693	0,716	0,741	0,765	0,791	0,816	0,843	0,870	0,897	0,925	0,954	0,984	1,015	1,046	1,078	1,112	1,146	1,182	1,219	0,537	0,012	20	1,751	0,042	26	2,745	0,076	26
0.006	0,566	0,587	0,609	0,631	0,653	0,676	0,698	0,722	0,746	0,770	0,795	0,820	0,846	0,872	0,899	0,926	0,955	0,984	1,013	1,043	1,074	1,105	1,137	1,170	1,205	1,241	0,566	0,011	21	1,745	0,041	27	2,740	0,075	27
0.007	0,595	0,616	0,638	0,660	0,682	0,705	0,728	0,751	0,775	0,799	0,824	0,849	0,875	0,901	0,928	0,956	0,984	1,013	1,043	1,073	1,104	1,135	1,166	1,199	1,234	1,269	0,595	0,010	22	1,740	0,040	28	2,735	0,075	28
0.008	0,624	0,646	0,667	0,689	0,711	0,734	0,757	0,780	0,804	0,828	0,853	0,878	0,904	0,930	0,957	0,985	1,013	1,042	1,072	1,102	1,132	1,163	1,195	1,229	1,263	1,299	0,624	0,010	23	1,764	0,040	29	2,759	0,074	29
0.009	0,653	0,675	0,697	0,718	0,741	0,763	0,786	0,810	0,833	0,858	0,882	0,908	0,934	0,960	0,987	1,014	1,042	1,071	1,101	1,132	1,163	1,195	1,229	1,263	1,299	1,335	0,653	0,009	24	1,760	0,039	30	2,754	0,073	30
0.01	0,683	0,704	0,726	0,748	0,770	0,793	0,816	0,839	0,863	0,887	0,912	0,937	0,963	0,989	1,016	1,043	1,072	1,101	1,130	1,161	1,192	1,225	1,259	1,293	1,328	1,365	0,683	0,009	25	1,756	0,038	31	2,751	0,072	31
0.011	0,712	0,733	0,755	0,777	0,799	0,822	0,845	0,868	0,892	0,916	0,941	0,966	0,992	1,018	1,045	1,073	1,101	1,130	1,160	1,190	1,222	1,254	1,287	1,322	1,357	1,394	0,712	0,008	26	1,752	0,037	32	2,747	0,071	32
0.012	0,741	0,763	0,784	0,806	0,829	0,851	0,874	0,897	0,921	0,945	0,970	0,995	1,021	1,047	1,074	1,102	1,130	1,159	1,189	1,219	1,251	1,283	1,316	1,351	1,386	1,423	0,741	0,007	27	1,749	0,036	33	2,744	0,070	33
0.013	0,770	0,792	0,813	0,835	0,858	0,880	0,903	0,927	0,950	0,975	0,999	1,025	1,050	1,077	1,104	1,131	1,159	1,188	1,218	1,249	1,280	1,312	1,346	1,380	1,416	1,452	0,770	0,006	28	1,747	0,035	34	2,742	0,069	34
0.014	0,800	0,821	0,843	0,865	0,887	0,909	0,932	0,956	0,980	1,004	1,029	1,054	1,080	1,107	1,133	1,161	1,189	1,218	1,247	1,278	1,309	1,342	1,375	1,409	1,445	1,482	0,800	0,005	29	1,745	0,034	35	2,739	0,068	35
0.015	0,829	0,850	0,872	0,894	0,916	0,939	0,962	0,985	1,009	1,033	1,058	1,083	1,109	1,135	1,162	1,190	1,218	1,247	1,277	1,307	1,339	1,371	1,404	1,439	1,474	1,511	0,829	0,004	30	1,744	0,033	36	2,739	0,067	36
0.016	0,858	0,880	0,901	0,923	0,946	0,968	0,991	1,014	1,038	1,062	1,087	1,112	1,138	1,164	1,191	1,219	1,247	1,276	1,306	1,336	1,368	1,400	1,433	1,468	1,503	1,540	0,858	0,004	31	1,743	0,032	37	2,738	0,066	37
0.017	0,887	0,909	0,930	0,952	0,975	0,997	1,020	1,044	1,067	1,092	1,116	1,142	1,167	1,194	1,221	1,248	1,276	1,305	1,335	1,366	1,397	1,429	1,463	1,497	1,533	1,569	0,887	0,003	32	1,745	0,031	38	2,739	0,065	38
0.018	0,917	0,938	0,960	0,982	1,004	1,026	1,049	1,073	1,097	1,121	1,146	1,171	1,197	1,223	1,250	1,277	1,306	1,335	1,365	1,396	1,426	1,459	1,492	1,526	1,562	1,599	0,917	0,002	33	1,746	0,030	39	2,740	0,064	39
0.019	0,946	0,967	0,989	1,011	1,033	1,056	1,079	1,102	1,126	1,150	1,175	1,200	1,226	1,252	1,279	1,307	1,335	1,364	1,394	1,424	1,456	1,488	1,521	1,556	1,591	1,628	0,946	0,001	34	1,748	0,029	40	2,740	0,063	40
0.02	0,975	0,997	1,018	1,040	1,063	1,085	1,108	1,131	1,155	1,179	1,204	1,229	1,255	1,281	1,308	1,336	1,364	1,393	1,423	1,454	1,485	1,517	1,550	1,585	1,620	1,657	0,975	0,000	35	1,751	0,028	41	2,745	0,062	41
0.021	1,004	1,026	1,047	1,069	1,092	1,114	1,137	1,161	1,184	1,209	1,233	1,259	1,284	1,311	1,338	1,365	1,393	1,422	1,452	1,483	1,514	1,546	1,580	1,614	1,650	1,686	1,004	0,021	20	1,755	0,027	42	2,749	0,061	42
0.022	1,034	1,056	1,077	1,098	1,121	1,143	1,166	1,190	1,214	1,238	1,263	1,288	1,314	1,340	1,367	1,394	1,423	1,452	1,481	1,512	1,543	1,576	1,609	1,643	1,679	1,716	1,034	0,020	21	1,760	0,026	43	2,755	0,060	43
0.023	1,063	1,084	1,106	1,128	1,150	1,173	1,196	1,219	1,242	1,267	1,292	1,317	1,343	1,369	1,396	1,424	1,452	1,481	1,511	1,541	1,573	1,605	1,638	1,673	1,708	1,745	1,063	0,019	22	1,737	0,024	44	2,760	0,059	44
0.024	1,092	1,114	1,135	1,157	1,180	1,202	1,225	1,248	1,271	1,296	1,321	1,346	1,372	1,398	1,425	1,453	1,481	1,510	1,540	1,570	1,602	1,634	1,667	1,702	1,737	1,774	1,092	0,018	23	1,745	0,023	45	2,739	0,057	45
0.025	1,121	1,143	1,164	1,186	1,209	1,231	1,254	1,278	1,301	1,326	1,350	1,376	1,401	1,428	1,455	1,482	1,510	1,539	1,569	1,600	1,631	1,663	1,696	1,731	1,766	1,803	1,121	0,017	24	1,999	0,055	20	2,993	0,089	20
0.026	1,151	1,172	1,194	1,215	1,238	1,260	1,283	1,307	1,331	1,355	1,380	1,405	1,430	1,457	1,484	1,511	1,540	1,568	1,598	1,629	1,660	1,693	1,726	1,760	1,796	1,833	1,151	0,016	25	1,991	0,054	21	3,015	0,089	21
0.027	1,180	1,201	1,223	1,245	1,267	1,290	1,313	1,336	1,360	1,384	1,409	1,434	1,460	1,486	1,513	1,540	1,569	1,598	1,628	1,658	1,690	1,722	1,755	1,790	1,825	1,862	1,180	0,015	26	2,003	0,054	22	3,007	0,088	22
0.028	1,209	1,231	1,252	1,274	1,297	1,319	1,342	1,365	1,389	1,413	1,438	1,463	1,489	1,515	1,542	1,570	1,598	1,627	1,657	1,687	1,719	1,751	1,784	1,819	1,854	1,891	1,209	0,014	27	2,015	0,053	23	2,999	0,087	23
0.029	1,236	1,258	1,281	1,303	1,326	1,348	1,371	1,395	1,418	1,443	1,467	1,493	1,518	1,545	1,572	1,599	1,627	1,656	1,686	1,717	1,748	1,780	1,813	1,848	1,883	1,920	1,236	0,013	28	1,999	0,052	24	2,993	0,086	24
0.03	1,267	1,289	1,311	1,332	1,354	1,377	1,400	1,424	1,448	1,472	1,496	1,522	1,547	1,574	1,601	1,628	1,657	1,685	1,715	1,746	1,777	1,810	1,843	1,877	1,913	1,950	1,267	0,012	29	1,991	0,051	25	2,986	0,085	25
0.031	1,297	1,318	1,340	1,362	1,384	1,407	1,430	1,453	1,477	1,501	1,526	1,551	1,577	1,603	1,630	1,657	1,686	1,715	1,745	1,775	1,805	1,839	1,872	1,907	1,942	1,979	1,297	0,011	30	2,014	0,051	26	3,009	0,085	26
0.032	1,326	1,348	1,369	1,391	1,414	1,436	1,459	1,482	1,506	1,530	1,555	1,580	1,606	1,632																					

8.5 Conclusões

Realizados várias séries de modelações, resultaram nos valores que se apresentam no Quadro 8.1 (abaixo), que foram então equacionados conjuntamente com a análise de risco realizada por forma a, para cada zona geotécnica definida no talude em estudo, se poderem preconizar as medidas mais indicadas para a estabilização do mesmo. Realça-se que embora sendo objetivo inicial deste trabalho a modelação no programa Rocfall e o cálculo de bancadas de retenção no Swedge, não houve oportunidade de realizar esses trabalhos em consequência de problemas relacionados com a licença destes programas entre junho e setembro do corrente ano

Do mesmo modo, não foram calculados elementos estabilizadores tais como pregagens ou ancoragens que ficarão para desenvolvimentos futuros deste trabalho.

Quadro 8.1 Valores de FS e PF obtidos nas modelações

		Distribuição UNIFORME			
Ø méd	máx / min	P1		P2	
		DET (FS)	PRO (PF)	DET (FS)	PRO (PF)
45	(+/-) 10	1,0000	0,5001	1,0724	0,4778
35	(+/-) 10	0,7002	0,5000	0,7509	0,4714
25	(+/-) 10	0,4663	0,7000	0,5001	0,6600

		Distribuição NORMAL			
desvio padrão - 2		P1		P2	
Ø méd	máx / min	DET (FS)	PRO (PF)	DET (FS)	PRO (PF)
45	(+/-) 10	1,0000	0,5000	1,0724	0,1586
35	(+/-) 10	0,7004	1,0000	0,7509	1,0000
25	(+/-) 10	0,4664	1,0000	0,5001	1,0000

		Distribuição TRIANGULAR			
Ø méd	máx / min	P1		P2	
		DET (FS)	PRO (PF)	DET (FS)	PRO (PF)
45	(+/-) 5	1,0000	0,5415	1,0724	0,5039
35	(+/-) 5	0,7003	0,7428	0,7509	0,7074
25	(+/-) 5	0,4664	0,9500	0,5001	0,9208

(página propositadamente em branco)

ANEXO 9

Análise de risco

Zona de RISCO	Impacto do Risco (a)	Probabilidade de ocorrência (b)	Mapa geral de risco (c)	Estratégia de resposta ao risco	Estratégia de resposta local	Plano de contingência
1	M	M	2	M	Saneamento dos blocos instáveis; Monitorização mensal	Monitorização de detalhe; Intervenção de urgente
2	M	B	1	A	Monitorização mensal.	Monitorização a definir
3	M	B	1	A	Monitorização mensal.	Monitorização a definir
4	M	B	1	A	Monitorização mensal.	Monitorização a definir
5	M	B	1	A	Monitorização mensal.	Monitorização a definir
6	M	B	1	A	Monitorização mensal.	Monitorização a definir
7	M	B	1	A	Monitorização mensal.	Monitorização a definir
8	M	B	1	A	Monitorização mensal.	Monitorização a definir
9	M	M	2	M	Saneamento e pregagens nas zonas afetadas. Monitorização quinzenal.	Monitorização de detalhe; Intervenção de urgente
10	M	M	2	M	Saneamento e pregagens nas zonas afetadas. Monitorização quinzenal.	Monitorização de detalhe; Intervenção de urgente
11	M	A	3	C	Saneamento e pregagens. Eventuais redes e monitorização a definir.	Intervenção muito urgente com material em stock
12	M	M	2	M	Saneamento e pregagens nas zonas afetadas. Monitorização quinzenal.	Monitorização de detalhe; Intervenção de urgente
13	M	A	3	C	Saneamento e pregagens. Eventuais redes e monitorização a definir.	Intervenção muito urgente com material em stock
Legenda:	Alto	Alta	Alto	Aceitar	(a) Alto, médio ou baixo (A ; M ; B) (b) Alta, média ou baixa (A ; M ; B) (c) VERDE - (alto/baixa; baixo/média; médio/baixa); AMARELO - (baixo/alta; médio/média; alto; baixa); VERMELHO - (alto/média; médio/alta; alto/alto)	
	Médio	Média	Médio	Prevenir		
	Baixo	Baixa	Baixo	Mitigação		
				Controlo		

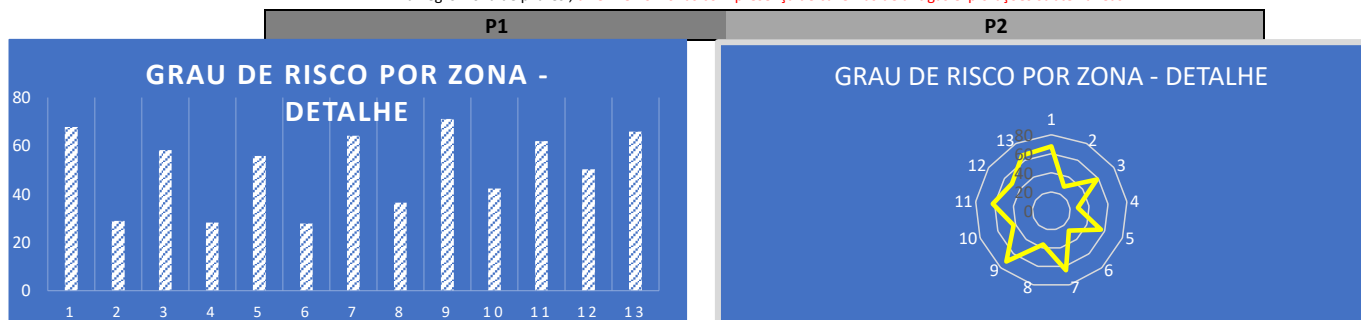
Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro	Classificação (peso do fator) X (ponderação)													valorização dos parâmetros
			%	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Ângulo do talude (°)	8	8	1,6	8	3,2	8	3,2	8	3,2	8	3,2	8	3,2	8	73,6
2	Altura do talude (m)	12	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	108
4	Nº de famílias de descontinuidades presentes	10	3	1,5	3	1,5	3	3	6	3	3	3	1,5	6	3	40,5
9	Espaçamento médio das juntas no talude (H= altura do talude)	10	6	3	6	3	6	3	3	3	1,5	3	3	3	3	46,5
20	Zonas da frente aparentemente instáveis	13	13	3,9	13	3,9	13	1,95	13	1,95	13	7,8	13	7,8	13	118,3
25	Área afetada por cavidades, naturais ou antigas pedreiras	12	9,6	1,2	12	1,2	9,6	1,2	12	1,2	12	1,2	9,6	1,2	12	84
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	15	15	4,5	9	2,25	9	2,25	9	4,5	9	4,5	2,25	4,5	2,25	78
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas	20	6	6	0	6	0	6	6	10	15	10	15	15	15	110

% 67,8 28,9 58,2 28,25 55,8 27,8 64,2 36,45 71,1 42,3 61,95 50,3 65,85 **658,9**

100

ZONA **1** **2** **3** **4** **5** **6** **7** **8** **9** **10** **11** **12** **13** ZONA

a negro: zona de pilares ; a vermelho: zonas com presença de cavernas de antigas explorações subterrâneas



Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro	Classificação													valorização dos parâmetros	
			(peso do fator) X (ponderação)														
			%	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		13
1	Ângulo do talude (°)	A	6	6	2,4	6	2,4	6	3,6	6	3,6	6	3,6	6	3,6	6	61,2
2	Altura do talude (m)	A	9	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	59,4
3	Rugosidade das juntas	B	2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,6	0,3	0,3	0,6	0,3	0,3	0,6	4,8
4	Nº de famílias de descontinuidades presentes		3	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	3	1,8	1,8	1,8	0,9	1,8	23,7
5	Orientação das juntas/ou famílias no talude		3	0,45	0,45	0,45	0,45	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,45	0,45	0,45	8,55
6	Persistência das descontinuidades no talude (m)		2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	2	1,2	1,2	16,4
7	Abertura das descontinuidades no talude (mm)		2	1,2	0,6	1,2	0,6	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	2	0,6		14,6
8	Preenchimento das juntas no talude		2	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3	0,3	0	0,6	6,6
9	Espaçamento médio das juntas no talude (H= altura do talude)		2	2	1,2	1,2	0,6	0,6	0,6	1,2	2	2	1,2	1,2	0,6	1,2	15,6
10	Homogeneidade do maciço na frente considerada		4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	4	0,8	0,8	0,8	13,6
11	Resistência na rocha intacta (MPa) - se baixa facilita a divisão de fragmentos, se alta ajuda o atrito		2	1,6	1,6	1,2	1,6	1,6	1,2	1,2	1,2	0,6	1,2	1,2	1,2	0,6	16
12	Pluviosidade		C	1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	3,9
13	Presença de água nas descontinuidades do talude			2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	3,8
14	Risco sísmico (coeficiente de aceleração a)	1		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,3	
15	5. Presença de vegetação no talude e caminho	1		0,3	0,3	0,3	0,3	0,15	0,15	0,15	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,15	3,3
16	Amplitude da zona de proteção na base do talude (m)	D	2	1,2	1,2	1,2	1,2	2	2	2	2	2	2	1,2	1,2	1,2	20,4
17	Registro de quedas de rochas		3	1,8	0,9	1,8	0,9	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	9,45
18	Acessibilidade do talude (para estabilização)		2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	3,9
19	Impacto potencial das quedas de pedras em estruturas e valores		5	1,5	1,5	3	3	3	3	3	3	3	3	1,5	1,5	1,5	31,5
20	Zonas da frente aparentemente instáveis		4	1,2	1,2	1,2	2,4	1,2	1,2	4	2,4	4	2,4	4	0,6	4	29,8
21	Irregularidade das faces do talude	2	0,3	0,6	0,3	0,6	0,6	0,6	0,3	0,6	0,3	0,3	0,3	0,6	0,3	5,7	
22	Nº de blocos estimados em perigo no comprimento de talude considerado	4	2,4	4	1,2	1,2	1,2	2,4	1,2	1,2	1,2	1,2	2,4	2,4	1,2	23,2	
23	Altura de queda (m) - (H = altura total do talude)	5	1,5	3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	21	
24	11. Massa dos blocos (m³)	E	4	0,6	0,6	1,2	0,6	1,2	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	1,2	0,6	9,6
25	Área afetada por cavidades, naturais ou antigas pedreiras		10	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	70
26	Existência de medidas de mitigação implementadas		6	3,6	0,9	3,6	0,9	3,6	1,8	3,6	0,9	0,9	1,8	1,8	0,9	1,8	26,1
27	Existência de caixas de falhas significativas		3	0,45	0,3	0,45	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	4,2
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas		8	6	6	2,4	2,4	2,4	4	2,4	4	2,4	4	2,4	4	2,4	44,8
			51,4	36,05	47,5	30,25	47,2	34,8	51,4	38,45	51,95	37,05	48,4	32,4	45,55	552,4	
zona			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		



Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro	Avaliação										Classificação (peso do fator) X (ponderação)
			ZONA 1										
			%										
1	A	6	<50		Baixo 50 - 60		Médio 60 -75		Alto 75 -90		Muito alto >90 numa dimensão> H5		6
			20	40	60	80	100	x					
2	A	9	<25		25 - 35		35 - 45		45 - 55		>55		3,6
			20	40	x	60	80	100					
3	B	2	Muito rugosas		Rugosas		Levemente Rugosas		Macias		Escorregadias		0,3
			10	15	x	30	60	100					
4	B	3	0		1 a 2		3 a 4		4 a 5		>5		1,8
			10	15	30	60	x	100					
5	B	3	Favorável à estabilidade		Moderada		Pouco adversa		Adversa		Muito adversa		0,45
			10	15	x	30	60	100					
6	B	2	Muito baixa >10m		Baixa 10 - 5m		Moderada 5 - 3m		Alta 3 - 1m		Muito alta <1m		1,2
			10	15	30	60	x	100					
7	B	2	Sem abertura		Muito baixa < 0,1		Moderada 0,1 - 1		Significativa 1 - 5		Muito significativa > 5		1,2
			0	15	30	60	x	100					
8	B	2	Inexistente		Muito duro		Duro		Macio		Muito macio		0,6
			0	15	30	x	60	100					
9	B	2	<H/2		<H/3		<H/6		<H/10		<H/20		2
			10	15	30	60	100	x					
10	B	4	Frente homogênea (rocha sã)		Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H5		Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H4		Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H3		Homogênea mas com maciço alterado em várias zonas > H3		0,8
			0	20	x	30	60	100					
11	B	2	>150		150 - 125		125 - 100		100 - 75		>75		1,6
			15	30	60	80	x	100					
12	C	1	Rara		Esparsa		Sazonal ligeira		Sazonal intensa		Muito intensa		0,3
			10	15	30	x	60	100					
13	C	2	Seco		Húmido		Molhado		Gotejante		Corrente		0,3
			10	15	x	30	60	100					
14	C	1	$\alpha < 0.14$		$0.14 < \alpha < 0.16$		$0.16 < \alpha < 0.24$		$0.24 < \alpha < 0.36$		$\alpha > 0.36$		0,1
			10	x	15	30	60	100					
15	C	1	Sem vegetação		Vegetação esparsa		Vegetação de pequeno porte (arbustos)		Vegetação esparsa com árvores de grande porte		Vegetação densa, incluindo árvores de grande porte		0,3
			10	15	30	x	60	100					
16	D	2	>10		10 - 6		6 - 3		3 - 1		< 1		1,2
			10	15	30	60	x	100					
17	D	3	Sem		Pequena quantidade de pedras nas banquetas		Grande quantidade de pedras nas banquetas		Blocos de dimensões apreciáveis (>1ton) nas banquetas		Quedas frequentes notórias de pedras		1,8
			0	15	30	60	x	100					
18	D	2	Todos os tipos de estabilização permitidos		Maioria das estabilizações possíveis		Algumas estabilizações possíveis		Poucos tipos de estabilização exequíveis		Acesso muito difícil		0,3
			10	15	x	30	60	100					
19	D	5	Negligenciável: pouca presença humana ou atividades e estruturas		Baixa: áreas com pouca presença humana ou estruturas		Moderada: áreas com pouca presença humana mas com estruturas significativas		Alta: Áreas com presença humana assídua e estruturas e atividades		Muito alta: com presença humana constante e estruturas e atividades importantes		1,5
			10	15	30	x	60	100					
20	D	4	Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco		Descontinuidades que se intersectam de forma suspeita		Blocos destacados no talude que se possam instabilizar		Presença de elementos destacados por alteração meteórica e desconpressão		Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas		1,2
			10	15	30	x	60	100					

21	Irregularidade das faces do talude	2	Face irregular com descontinuidades rugosas (a fricção reduz a aceleração)	Face irregular com descontinuidades planares e resaltos	Face pouco irregular com muitas descontinuidades	Face suave e com descontinuidades	Face lisa com muitas descontinuidades	0,3
			ponderação	10	15	x	30	
22	Nº de blocos estimados em perigo no comprimento de talude considerado	4	0 - 1	1 - 3	3 - 6	6 - 10	>10	2,4
			ponderação	10	30	60	x	
23	Altura de queda (m) (H = altura total do talude)	5	Quedas em pequenas áreas da frente do talude (H/5)	Quedas em pequenas a médias áreas do talude (2H/5)	Quedas em áreas médias da frente do talude (3H/5)	Quedas em médias a grandes áreas do talude (4H/5)	Quedas em toda a área da frente do talude (H)	1,5
			ponderação	10	15	30	x	
24	11. Massa dos blocos (m³)	4	<1	1 - 2,5	2,5 - 4	4 - 8	>8	0,6
			ponderação	10	15	x	30	
25	Área afetada por cavidades, naturais ou antigas pedreiras	10	Sem	a>A/10; entulhada	a>A/5; entulhada	a>A/4; entulhada	a>A/3; entulhada ou não	10
			ponderação	0	20	40	80	
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	6	Com medidas mais significativas implementadas	Com pregagens entre 3 e 6m, ancoragens ou redes pontuais	Com banquetas e pregagens <3m	Com banquetas de proteção	Sem medidas anteriores e risco aparente	3,6
			ponderação	10	15	30	60	
27	Existência de caixas de falhas significativas	3	Não existem	Com 0 - 10cm e preenchimento consistente	Com 0 - 10cm e preenchimento pouco consistente	Com 10 - 20cm e preenchimento pouco consistente	Com a>20 e preenchimento inconsistente ou milonitizado	0,45
			ponderação	10	15	x	30	
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas	8	Inexistente	Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m	Descolamento com significado a>10cm; l>2m	Descolamento múltiplo A<10cm; l>2m	Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m	6
			ponderação	0	30	50	75	
Classificação final (máximo: 100)								51,4

Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro	Avaliação					Classificação (peso do fator) X (ponderação)
			ZONA 2					
			%					
1	A	6	<50	Baixo 50 - 60	Médio 60 -75	Alto 75 -90	Muito alto >90 numa dimensão> H5	2,4
			20	40	60	80	100	
2	A	9	<25	25 - 35	35 - 45	45 - 55	>55	3,6
			20	40	60	80	100	
3	B	2	Muito rugosas	Rugosas	Levemente Rugosas	Macias	Escorregadias	0,3
			10	15	30	60	100	
4	B	3	0	1 a 2	3 a 4	4 a 5	>5	1,8
			10	15	30	60	100	
5	B	3	Favorável à estabilidade	Moderada	Pouco adversa	Adversa	Muito adversa	0,45
			10	15	30	60	100	
6	B	2	Muito baixa >10m	Baixa 10 - 5m	Moderada 5 - 3m	Alta 3 - 1m	Muito alta <1m	1,2
			10	15	30	60	100	
7	B	2	Sem abertura	Muito baixa < 0,1	Moderada 0,1 - 1	Significativa 1 - 5	Muito significativa > 5	0,6
			0	15	30	60	100	
8	B	2	Inexistente	Muito duro	Duro	Macio	Muito macio	0,6
			0	15	30	60	100	
9	B	2	<H/2	<H/3	<H/6	<H/10	<H/20	1,2
			10	15	30	60	100	
10	B	4	Frete homogênea (rocha sã)	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H5	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H4	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H3	Homogênea mas com maciço alterado em várias zonas > H3	0,8
			0	20	30	60	100	
11	B	2	>150	150 - 125	125 - 100	100 - 75	>75	1,6
			15	30	60	80	100	
12	C	1	Rara	Esparsa	Sazonal ligeira	Sazonal intensa	Muito intensa	0,3
			10	15	30	60	100	
13	C	2	Seco	Húmido	Molhado	Gotejante	Corrente	0,3
			10	15	30	60	100	
14	C	1	$\alpha < 0.14$	$0.14 < \alpha < 0.16$	$0.16 < \alpha < 0.24$	$0.24 < \alpha < 0.36$	$\alpha > 0.36$	0,1
			10	15	30	60	100	
15	C	1	Sem vegetação	Vegetação esparsa	Vegetação de pequeno porte (arbustos)	Vegetação esparsa com árvores de grande porte	Vegetação densa, incluindo árvores de grande porte	0,3
			10	15	30	60	100	
16	D	2	>10	10 - 6	6 - 3	3 - 1	< 1	1,2
			10	15	30	60	100	
17	D	3	Sem	Pequena quantidade de pedras nas banquetas	Grande quantidade de pedras nas banquetas	Blocos de dimensões apreciáveis (>1ton) nas banquetas	Quedas frequentes notórias de pedras	0,9
			0	15	30	60	100	
18	D	2	Todos os tipos de estabilização permitidos	Maioria das estabilizações possíveis	Algumas estabilizações possíveis	Poucos tipos de estabilização exequíveis	Acesso muito difícil	0,3
			10	15	30	60	100	
19	D	5	Negligenciável: pouca presença humana ou estruturas	Baixa: áreas com pouca presença humana ou estruturas	Moderada: áreas com pouca presença humana mas com estruturas significativas	Alta: áreas com presença humana assídua e estruturas e actividades	Muito alta: com presença humana constante e estruturas e actividades importantes	1,5
			10	15	30	60	100	
20	D	4	Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco	Descontinuidades que se intersectam de forma suspeita	Blocos destacados no talude que se possam instabilizar	Presença de elementos destacados por alteração meteórica e descompressão	Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas	1,2
			10	15	30	60	100	
21	D	2	Face irregular com descontinuidades rugosas (a fricção reduz a aceleração)	Face irregular com descontinuidades planares e ressaltos	Face pouco irregular com muitas descontinuidades	Face suave e com descontinuidades	Face lisa com muitas descontinuidades	0,6
			10	15	30	60	100	

	ponderação		10		15		30		X		60		100	
22	Nº de blocos estimados em perigo no comprimento de talude considerado	4	0 - 1		1 - 3		3 - 6		6 - 10		>10			4
	ponderação		10		30		60		100		X		100	
23	Altura de queda (m) (H = altura total do talude)	5	Quedas em pequenas áreas da frente do talude (H/5)		Quedas em pequenas a médias áreas do talude (2H/5)		Quedas em áreas médias da frente do talude (3H/5)		Quedas em médias a grandes áreas do talude (4H/5)		Quedas em toda a área da frente do talude (H)		3	
	ponderação		10		15		30		60		X		100	
24	11. Massa dos blocos (m³)	4	<1		1 - 2,5		2,5 - 4		4 - 8		>8			0,6
	ponderação		10		15		X		30		60		100	
25	Área afetada por cavidades, naturais ou antigas pedreiras	10	Sem		a>A/10; entulhada		a>A/5; entulhada		a>A/4; entulhada		a>A/3; entulhada ou não		0	
	ponderação		0		X		20		40		80		100	
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	6	Com medidas mais significativas implementadas		Com pregagens entre 3 e 6m, ancoragens ou redes pontuais		Com banquetas e pregagens <3m		Com banquetas de proteção		Sem medidas anteriores e risco aparente		0,9	
	ponderação		10		15		X		30		60		100	
27	Existência de caixas de falhas significativas	3	Não existem		Com 0 - 10cm e preenchimento consistente		Com 0 - 10cm e preenchimento pouco consistente		Com 10 - 20cm e preenchimento pouco consistente		Com a>20 e preenchimento inconsistente ou milonitizado		0,3	
	ponderação		10		X		15		30		60		100	
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas	8	Inexistente		Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m		Descolamento com significado a>10cm; l>2m		Descolamento múltiplo A<10cm; l>2m		Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m		6	
	ponderação		0		30		50		75		X		100	
Classificação final (máximo: 100)													36,05	

Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro	Avaliação					Classificação (peso do fator) X (ponderação)
			ZONA 3					
			%					
1	A	6	<50	Baixo 50 - 60	Médio 60 -75	Alto 75 -90	Muito alto >90 numa dimensão> H5	6
			20	40	60	80	100	
2	A	9	<25	25 - 35	35 - 45	45 - 55	>55	3,6
			20	40	x	60	80	
3	B	2	Muito rugosas	Rugosas	Levemente Rugosas	Macias	Escorregadias	0,3
			10	15	x	30	60	
4	B	3	0	1 a 2	3 a 4	4 a 5	>5	1,8
			10	15	30	60	x	
5	B	3	Favorável à estabilidade	Moderada	Pouco adversa	Adversa	Muito adversa	0,45
			10	15	x	30	60	
6	B	2	Muito baixa >10m	Baixa 10 - 5m	Moderada 5 - 3m	Alta 3 - 1m	Muito alta <1m	1,2
			10	15	30	60	x	
7	B	2	Sem abertura	Muito baixa < 0,1	Moderada 0,1 - 1	Significativa 1 - 5	Muito significativa > 5	1,2
			0	15	30	60	x	
8	B	2	Inexistente	Muito duro	Duro	Macio	Muito macio	0,6
			0	15	30	x	60	
9	B	2	<H/2	<H/3	<H/6	<H/10	<H/20	1,2
			10	15	30	60	x	
10	B	4	Frete homogênea (rocha sã)	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H5	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H4	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H3	Homogênea mas com maciço alterado em várias zonas > H3	0,8
			0	20	x	30	60	
11	B	2	>150	150 - 125	125 - 100	100 - 75	>75	1,2
			15	30	60	x	80	
12	C	1	Rara	Esparsa	Sazonal ligeira	Sazonal intensa	Muito intensa	0,3
			10	15	30	x	60	
13	C	2	Seco	Húmido	Molhado	Gotejante	Corrente	0,3
			10	15	x	30	60	
14	C	1	$\alpha < 0.14$	$0.14 < \alpha < 0.16$	$0.16 < \alpha < 0.24$	$0.24 < \alpha < 0.36$	$\alpha > 0.36$	0,1
			10	x	15	30	60	
15	C	1	Sem vegetação	Vegetação esparsa	Vegetação de pequeno porte (arbustos)	Vegetação esparsa com árvores de grande porte	Vegetação densa, incluindo árvores de grande porte	0,3
			10	15	30	x	60	
16	D	2	>10	10 - 6	6 - 3	3 - 1	< 1	1,2
			10	15	30	60	x	
17	D	3	Sem	Pequena quantidade de pedras nas banquetas	Grande quantidade de pedras nas banquetas	Blocos de dimensões apreciáveis (>1ton) nas banquetas	Quedas frequentes enotórias de pedras	1,8
			0	15	30	60	x	
18	D	2	Todos os tipos de estabilização permitidos	Maioria das estabilizações possíveis	Algumas estabilizações possíveis	Poucos tipos de estabilização executáveis	Acesso muito difícil	0,3
			10	15	x	30	60	
19	D	5	Negligenciável: pouca presença humana ou atividades e estruturas	Baixa: áreas com pouca presença humana ou estruturas	Moderada: áreas com pouca presença humana mas com estruturas significativas	Alta: Áreas com presença humana assídua e estruturas e atividades	Muito alta: com presença humana constante e estruturas e atividades importantes	3
			10	15	30	60	x	
20	D	4	Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco	Descontinuidades que se intersectam de forma suspeita	Blocos destacados no talude que se possam instabilizar	Presença de elementos destacados por alteração meteórica e descompressão	Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas	1,2
			10	15	30	x	60	
21	D	2	Face irregular com descontinuidades rugosas (a fricção reduz a aceleração)	Face irregular com descontinuidades planares e ressalto	Face pouco irregular com muitas descontinuidades	Face suave e com descontinuidades	Face lisa com muitas descontinuidades	0,3
			10	15	30	60	100	

	ponderação		10		15	x	30		60		100	
22	Nº de blocos estimados em perigo no comprimento de talude considerado	4	0 - 1		1 - 3		3 - 6		6 - 10		>10	1,2
	ponderação		10		30	x	60		100		100	
23	Altura de queda (m) - (H = altura total do talude)	5	Quedas em pequenas áreas da frente do talude (H:5)		Quedas em pequenas a médias áreas do talude (2H:5)		Quedas em áreas médias da frente do talude (3H:5)		Quedas em médias a grandes áreas do talude (4H:5)		Quedas em toda a área da frente do talude (H)	1,5
	ponderação		10		15		30	x	60		100	
24	11. Massa dos blocos (m³)	4	<1		1 - 2,5		2,5 - 4		4 - 8		>8	1,2
	ponderação		10		15		30	x	60		100	
25	Área afetada por cavidades, naturais ou antigas pedreiras	10	Sem		a>A/10; entulhada		a>A/5; entulhada		a>A/4; entulhada		a>A/3; entulhada ou não	10
	ponderação		0		20		40		80		100	x
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	6	Com medidas mais significativas implementadas		Com pregagens entre 3 e 6m, ancoragens ou redes pontuais		Com banquetas e pregagens <3m		Com banquetas de proteção		Sem medidas anteriores e risco aparente	3,6
	ponderação		10		15		30		60	x	100	
27	Existência de caixas de falhas significativas	3	Não existem		Com 0 - 10cm e preenchimento consistente		Com 0 - 10cm e preenchimento pouco consistente		Com 10 - 20cm e preenchimento pouco consistente		Com a>20 e preenchimento inconsistente ou milonitizado	0,45
	ponderação		10		15	x	30		60		100	
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas	8	Inexistente		Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m		Descolamento com significado a>10cm; l>2m		Descolamento múltiplo A<10cm; l>2m		Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m	2,4
	ponderação		0		30	x	50		75		100	
Classificação final (máximo: 100)											47,5	

Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro	Avaliação					Classificação (peso do fator) X (ponderação)
			ZONA 4					
		%						
1	Ângulo do talude (°)	6	<50	Baixo 50 - 60	Médio 60 -75	Alto 75 -90	Muito alto >90 numa dimensão> H5	2,4
			Ponderação	20	40	x	60	
2	Altura do talude (m)	9	<25	25 - 35	35 - 45	45 - 55	>55	3,6
			Ponderação	20	40	x	60	
3	Rugosidade das juntas	2	Muito rugosas	Rugosas	Levemente Rugosas	Macias	Escorregadias	0,3
			Ponderação	10	15	x	30	
4	Nº de famílias de descontinuidades presentes	3	0	1 a 2	3 a 4	4 a 5	>5	1,8
			Ponderação	10	15	30	60	
5	Orientação das juntas/ou famílias no talude	3	Favorável à estabilidade	Moderada	Pouco adversa	Adversa	Muito adversa	0,45
			Ponderação	10	15	x	30	
6	Persistência das descontinuidades no talude (m)	2	Muito baixa >10m	Baixa 10 - 5m	Moderada 5 - 3m	Alta 3 - 1m	Muito alta <1m	1,2
			Ponderação	10	15	30	60	
7	Abertura das descontinuidades no talude (mm)	2	Sem abertura	Muito baixa < 0,1	Moderada 0,1 - 1	Significativa 1 - 5	Muito significativa > 5	0,6
			Ponderação	0	15	30	x	
8	Preenchimento das juntas no talude	2	Inexistente	Muito duro	Duro	Macio	Muito macio	0,6
			Ponderação	0	15	30	x	
9	Espaçamento médio das juntas no talude (H= altura do talude)	2	<H/2	<H/3	<H/6	<H/10	<H/20	0,6
			Ponderação	10	15	30	x	
10	Homogeneidade do maciço na frente considerada	4	Frente homogênea (rocha sã)	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H5	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H4	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H3	Homogênea mas com maciço alterado em várias zonas > H3	0,8
			Ponderação	0	20	x	30	
11	Espessura da rocha intacta (Mpa) - se baixa facilita a divisão de	2	>150	150 - 125	125 - 100	100 - 75	>75	1,6
			Ponderação	15	30	60	80	
12	Pluviosidade	1	Rara	Esparsa	Sazonal ligeira	Sazonal intensa	Muito intensa	0,3
			Ponderação	10	15	30	x	
13	Presença de água nas descontinuidades do talude	2	Seco	Húmido	Molhado	Gotejante	Corrente	0,3
			Ponderação	10	15	x	30	
14	Risco sísmico (coeficiente de aceleração a)	1	$\alpha < 0,14$	$0,14 < \alpha < 0,16$	$0,16 < \alpha < 0,24$	$0,24 < \alpha < 0,36$	$\alpha > 0,36$	0,1
			Ponderação	10	x	15	30	
15	Presença de vegetação no talude e cumieira	1	Sem vegetação	Vegetação esparsa	Vegetação de pequeno porte (arbustos)	Vegetação esparsa com árvores de grande porte	Vegetação densa, incluindo árvores de grande porte	0,3
			Ponderação	10	15	30	x	
16	Amplitude da zona de proteção na base do talude (m)	2	>10	10 - 6	6 - 3	3 - 1	< 1	1,2
			Ponderação	10	15	30	60	
17	Registro de quedas de rochas	3	Sem	Pequena quantidade de pedras nas banquetas	Grande quantidade de pedras nas banquetas	Blocos de dimensões apreciáveis (>1ton) nas banquetas	Quedas frequentes enotórias de pedras	0,9
			Ponderação	0	15	30	x	
18	Acessibilidade do talude (para estabilização)	2	Todos os tipos de estabilização permitidos	Maioria das estabilizações possíveis	Algumas estabilizações possíveis	Poucos tipos de estabilização exequíveis	Acesso muito difícil	0,3
			Ponderação	10	15	x	30	
19	Impacto potencial das quedas de pedras em estruturas e valores	5	Negligenciável: pouca presença humana ou atividades e estruturas	Baixa: áreas com pouca presença humana ou estruturas	Moderada: áreas com pouca presença humana mas com estruturas significativas	Alta: Áreas com presença humana assídua e estruturas e atividades	Muito alta: com presença humana constante e estruturas e atividades importantes	3
			Ponderação	10	15	30	60	
20	Zonas da frente aparentemente instáveis	4	Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco	Descontinuidades que se intersectam de forma suspeita	Blocos destacados no talude que se possam instabilizar	Presença de elementos destacados por alteração meteórica e decompressão	Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas	2,4
			Ponderação	10	15	30	60	
21	Irregularidade das faces do talude	2	Face irregular com descontinuidades rugosas (a fricção reduz a aceleração)	Face irregular com descontinuidades planares e ressaltos	Face pouco irregular com muitas descontinuidades	Face suave e com descontinuidades	Face lisa com muitas descontinuidades	0,6
			Ponderação	10	15	30	60	

	ponderação		10		15		30	X	60		100		
22	Nº de blocos estimados em perigo no comprimento de talude considerado	4	0 - 1		1 - 3		3 - 6		6 - 10		>10	1,2	
	ponderação		10		30	X	60		100		100		
23	Altura de queda (m) (H = altura total do talude)	5	Quedas em pequenas áreas da frente do talude (H/5)		Quedas em pequenas a médias áreas do talude (2H/5)		Quedas em áreas médias da frente do talude (3H/5)		Quedas em médias a grandes áreas do talude (4H/5)		Quedas em toda a área da frente do talude (H)		1,5
	ponderação		10		15		30	X	60		100		
24	11. Massa dos blocos (m3)	4	<1		1 - 2,5		2,5 - 4		4 - 8		>8	0,6	
	ponderação		10		15	X	30		60		100		
25	Área afetada por cavidades, naturais ou antigas pedreiras	10	Sem		a>A/10; entulhada		a>A/5; entulhada		a>A/4; entulhada		a>A/3; entulhada ou não		0
	ponderação		0	X	20		40		80		100		
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	6	Com medidas mais significativas implementadas	Com pregagens entre 3 e 6m, ancoragens ou redes pontuais		Com banquetas e pregagens <3m		Com banquetas de proteção		Sem medidas anteriores e risco aparente			0,9
	ponderação		10		15	X	30		60		100		
27	Existência de caixas de falhas significativas	3	Não existem		Com 0 - 10cm e preenchimento consistente		Com 0 - 10cm e preenchimento pouco consistente		Com 10 - 20cm e preenchimento pouco consistente		Com a>20 e preenchimento inconsistente ou milonitizado		0,3
	ponderação		10	X	15		30		60		100		
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas	8	Inexistente		Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m		Descolamento com significado a>10cm; l>2m		Descolamento múltiplo A<10cm; l>2m		Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m		2,4
	ponderação		0		30	X	50		75		100		
Classificação final (máximo: 100)												30,25	

Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro	Avaliação					Classificação (peso do fator) X (ponderação)												
			ZONA 5																	
			%																	
1	A	6	<table border="1"> <tr> <td><50</td> <td>Baixo 50 - 60</td> <td>Médio 60 -75</td> <td>Alto 75 -90</td> <td>Muito alto >90 numa dimensão> H5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>40</td> <td>60</td> <td>80</td> <td>100</td> <td>x</td> </tr> </table>					<50	Baixo 50 - 60	Médio 60 -75	Alto 75 -90	Muito alto >90 numa dimensão> H5		20	40	60	80	100	x	6
			<50	Baixo 50 - 60	Médio 60 -75	Alto 75 -90	Muito alto >90 numa dimensão> H5													
20	40	60	80	100	x															
<table border="1"> <tr> <td><25</td> <td>25 - 35</td> <td>35 - 45</td> <td>45 - 55</td> <td>>55</td> <td></td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>40</td> <td>x</td> <td>60</td> <td>80</td> <td>100</td> </tr> </table>	<25	25 - 35	35 - 45	45 - 55	>55		20	40	x	60	80	100	3,6							
<25	25 - 35	35 - 45	45 - 55	>55																
20	40	x	60	80	100															
2	9	<table border="1"> <tr> <td><25</td> <td>25 - 35</td> <td>35 - 45</td> <td>45 - 55</td> <td>>55</td> <td></td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>40</td> <td>x</td> <td>60</td> <td>80</td> <td>100</td> </tr> </table>					<25	25 - 35	35 - 45	45 - 55	>55		20	40	x	60	80	100	3,6	
		<25	25 - 35	35 - 45	45 - 55	>55														
20	40	x	60	80	100															
<table border="1"> <tr> <td><25</td> <td>25 - 35</td> <td>35 - 45</td> <td>45 - 55</td> <td>>55</td> <td></td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>40</td> <td>x</td> <td>60</td> <td>80</td> <td>100</td> </tr> </table>	<25	25 - 35	35 - 45	45 - 55	>55		20	40	x	60	80	100	3,6							
<25	25 - 35	35 - 45	45 - 55	>55																
20	40	x	60	80	100															
3	2	<table border="1"> <tr> <td>Muito rugosas</td> <td>Rugosas</td> <td>Levemente Rugosas</td> <td>Macias</td> <td>Escorregadias</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>x</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> </tr> </table>					Muito rugosas	Rugosas	Levemente Rugosas	Macias	Escorregadias		10	15	x	30	60	100	0,3	
		Muito rugosas	Rugosas	Levemente Rugosas	Macias	Escorregadias														
10	15	x	30	60	100															
<table border="1"> <tr> <td>0</td> <td>1 a 2</td> <td>3 a 4</td> <td>4 a 5</td> <td>>5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>x</td> <td>100</td> </tr> </table>	0	1 a 2	3 a 4	4 a 5	>5		10	15	30	60	x	100	1,8							
0	1 a 2	3 a 4	4 a 5	>5																
10	15	30	60	x	100															
4	3	<table border="1"> <tr> <td>0</td> <td>1 a 2</td> <td>3 a 4</td> <td>4 a 5</td> <td>>5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>x</td> <td>100</td> </tr> </table>					0	1 a 2	3 a 4	4 a 5	>5		10	15	30	60	x	100	1,8	
		0	1 a 2	3 a 4	4 a 5	>5														
10	15	30	60	x	100															
<table border="1"> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>x</td> <td>100</td> </tr> </table>	10	15	30	60	x	100	1,8													
10	15	30	60	x	100															
5	3	<table border="1"> <tr> <td>Favorável à estabilidade</td> <td>Moderada</td> <td>Pouco adversa</td> <td>Adversa</td> <td>Muito adversa</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>x</td> <td>60</td> <td>100</td> </tr> </table>					Favorável à estabilidade	Moderada	Pouco adversa	Adversa	Muito adversa		10	15	30	x	60	100	0,9	
		Favorável à estabilidade	Moderada	Pouco adversa	Adversa	Muito adversa														
10	15	30	x	60	100															
<table border="1"> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>x</td> <td>60</td> <td>100</td> </tr> </table>	10	15	30	x	60	100	0,9													
10	15	30	x	60	100															
6	2	<table border="1"> <tr> <td>Muito baixa >10m</td> <td>Baixa 10 - 5m</td> <td>Moderada 5 - 3m</td> <td>Alta 3 - 1m</td> <td>Muito alta <1m</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>x</td> <td>100</td> </tr> </table>					Muito baixa >10m	Baixa 10 - 5m	Moderada 5 - 3m	Alta 3 - 1m	Muito alta <1m		10	15	30	60	x	100	1,2	
		Muito baixa >10m	Baixa 10 - 5m	Moderada 5 - 3m	Alta 3 - 1m	Muito alta <1m														
10	15	30	60	x	100															
<table border="1"> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>x</td> <td>100</td> </tr> </table>	10	15	30	60	x	100	1,2													
10	15	30	60	x	100															
7	2	<table border="1"> <tr> <td>Sem abertura</td> <td>Muito baixa < 0,1</td> <td>Moderada 0,1 - 1</td> <td>Significativa 1 - 5</td> <td>Muito significativa > 5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>x</td> <td>100</td> </tr> </table>					Sem abertura	Muito baixa < 0,1	Moderada 0,1 - 1	Significativa 1 - 5	Muito significativa > 5		0	15	30	60	x	100	1,2	
		Sem abertura	Muito baixa < 0,1	Moderada 0,1 - 1	Significativa 1 - 5	Muito significativa > 5														
0	15	30	60	x	100															
<table border="1"> <tr> <td>0</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>x</td> <td>100</td> </tr> </table>	0	15	30	60	x	100	1,2													
0	15	30	60	x	100															
8	2	<table border="1"> <tr> <td>Inexistente</td> <td>Muito duro</td> <td>Duro</td> <td>Macio</td> <td>Muito macio</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>x</td> <td>60</td> <td>100</td> </tr> </table>					Inexistente	Muito duro	Duro	Macio	Muito macio		0	15	30	x	60	100	0,6	
		Inexistente	Muito duro	Duro	Macio	Muito macio														
0	15	30	x	60	100															
<table border="1"> <tr> <td>0</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>x</td> <td>60</td> <td>100</td> </tr> </table>	0	15	30	x	60	100	0,6													
0	15	30	x	60	100															
9	2	<table border="1"> <tr> <td><H/2</td> <td><H/3</td> <td><H/6</td> <td><H/10</td> <td><H/20</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>x</td> <td>60</td> <td>100</td> </tr> </table>					<H/2	<H/3	<H/6	<H/10	<H/20		10	15	30	x	60	100	0,6	
		<H/2	<H/3	<H/6	<H/10	<H/20														
10	15	30	x	60	100															
<table border="1"> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>x</td> <td>60</td> <td>100</td> </tr> </table>	10	15	30	x	60	100	0,6													
10	15	30	x	60	100															
10	4	<table border="1"> <tr> <td>Frete homogênea (rocha sã)</td> <td>Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H5</td> <td>Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H4</td> <td>Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H3</td> <td>Homogênea mas com maciço alterado em várias zonas > H3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>20</td> <td>x</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> </tr> </table>					Frete homogênea (rocha sã)	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H5	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H4	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H3	Homogênea mas com maciço alterado em várias zonas > H3		0	20	x	30	60	100	0,8	
		Frete homogênea (rocha sã)	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H5	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H4	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H3	Homogênea mas com maciço alterado em várias zonas > H3														
0	20	x	30	60	100															
<table border="1"> <tr> <td>0</td> <td>20</td> <td>x</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> </tr> </table>	0	20	x	30	60	100	0,8													
0	20	x	30	60	100															
11	2	<table border="1"> <tr> <td>>150</td> <td>150 - 125</td> <td>125 - 100</td> <td>100 - 75</td> <td>>75</td> <td></td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>80</td> <td>x</td> <td>100</td> </tr> </table>					>150	150 - 125	125 - 100	100 - 75	>75		15	30	60	80	x	100	1,6	
		>150	150 - 125	125 - 100	100 - 75	>75														
15	30	60	80	x	100															
<table border="1"> <tr> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>80</td> <td>x</td> <td>100</td> </tr> </table>	15	30	60	80	x	100	1,6													
15	30	60	80	x	100															
12	1	<table border="1"> <tr> <td>Rara</td> <td>Esparsa</td> <td>Sazonal ligeira</td> <td>Sazonal intensa</td> <td>Muito intensa</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>x</td> <td>60</td> <td>100</td> </tr> </table>					Rara	Esparsa	Sazonal ligeira	Sazonal intensa	Muito intensa		10	15	30	x	60	100	0,3	
		Rara	Esparsa	Sazonal ligeira	Sazonal intensa	Muito intensa														
10	15	30	x	60	100															
<table border="1"> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>x</td> <td>60</td> <td>100</td> </tr> </table>	10	15	30	x	60	100	0,3													
10	15	30	x	60	100															
13	2	<table border="1"> <tr> <td>Seco</td> <td>Húmido</td> <td>Molhado</td> <td>Gotejante</td> <td>Corrente</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>x</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> </tr> </table>					Seco	Húmido	Molhado	Gotejante	Corrente		10	15	x	30	60	100	0,3	
		Seco	Húmido	Molhado	Gotejante	Corrente														
10	15	x	30	60	100															
<table border="1"> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>x</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> </tr> </table>	10	15	x	30	60	100	0,3													
10	15	x	30	60	100															
14	1	<table border="1"> <tr> <td>$\alpha < 0,14$</td> <td>$0,14 < \alpha < 0,16$</td> <td>$0,16 < \alpha < 0,24$</td> <td>$0,24 < \alpha < 0,36$</td> <td>$\alpha > 0,36$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>x</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> </tr> </table>					$\alpha < 0,14$	$0,14 < \alpha < 0,16$	$0,16 < \alpha < 0,24$	$0,24 < \alpha < 0,36$	$\alpha > 0,36$		10	x	15	30	60	100	0,1	
		$\alpha < 0,14$	$0,14 < \alpha < 0,16$	$0,16 < \alpha < 0,24$	$0,24 < \alpha < 0,36$	$\alpha > 0,36$														
10	x	15	30	60	100															
<table border="1"> <tr> <td>10</td> <td>x</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> </tr> </table>	10	x	15	30	60	100	0,1													
10	x	15	30	60	100															
15	1	<table border="1"> <tr> <td>Sem vegetação</td> <td>Vegetação esparsa</td> <td>Vegetação de pequeno porte (arbustos)</td> <td>Vegetação esparsa com árvores de grande porte</td> <td>Vegetação densa, incluindo árvores de grande porte</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>x</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> </tr> </table>					Sem vegetação	Vegetação esparsa	Vegetação de pequeno porte (arbustos)	Vegetação esparsa com árvores de grande porte	Vegetação densa, incluindo árvores de grande porte		10	15	x	30	60	100	0,15	
		Sem vegetação	Vegetação esparsa	Vegetação de pequeno porte (arbustos)	Vegetação esparsa com árvores de grande porte	Vegetação densa, incluindo árvores de grande porte														
10	15	x	30	60	100															
<table border="1"> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>x</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> </tr> </table>	10	15	x	30	60	100	0,15													
10	15	x	30	60	100															
16	2	<table border="1"> <tr> <td>>10</td> <td>10 - 6</td> <td>6 - 3</td> <td>3 - 1</td> <td>< 1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>x</td> </tr> </table>					>10	10 - 6	6 - 3	3 - 1	< 1		10	15	30	60	100	x	2	
		>10	10 - 6	6 - 3	3 - 1	< 1														
10	15	30	60	100	x															
<table border="1"> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>x</td> </tr> </table>	10	15	30	60	100	x	2													
10	15	30	60	100	x															
17	3	<table border="1"> <tr> <td>Sem</td> <td>Pequena quantidade de pedras nas banquetas</td> <td>Grande quantidade de pedras nas banquetas</td> <td>Blocos de dimensões apreciáveis (>1ton) nas banquetas</td> <td>Quedas frequentes notórias de pedras</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>15</td> <td>x</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> </tr> </table>					Sem	Pequena quantidade de pedras nas banquetas	Grande quantidade de pedras nas banquetas	Blocos de dimensões apreciáveis (>1ton) nas banquetas	Quedas frequentes notórias de pedras		0	15	x	30	60	100	0,45	
		Sem	Pequena quantidade de pedras nas banquetas	Grande quantidade de pedras nas banquetas	Blocos de dimensões apreciáveis (>1ton) nas banquetas	Quedas frequentes notórias de pedras														
0	15	x	30	60	100															
<table border="1"> <tr> <td>0</td> <td>15</td> <td>x</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> </tr> </table>	0	15	x	30	60	100	0,45													
0	15	x	30	60	100															
18	2	<table border="1"> <tr> <td>Todos os tipos de estabilização permitidos</td> <td>Maioria das estabilizações possíveis</td> <td>Algumas estabilizações possíveis</td> <td>Poucos tipos de estabilização exequíveis</td> <td>Acesso muito difícil</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>x</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> </tr> </table>					Todos os tipos de estabilização permitidos	Maioria das estabilizações possíveis	Algumas estabilizações possíveis	Poucos tipos de estabilização exequíveis	Acesso muito difícil		10	15	x	30	60	100	0,3	
		Todos os tipos de estabilização permitidos	Maioria das estabilizações possíveis	Algumas estabilizações possíveis	Poucos tipos de estabilização exequíveis	Acesso muito difícil														
10	15	x	30	60	100															
<table border="1"> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>x</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> </tr> </table>	10	15	x	30	60	100	0,3													
10	15	x	30	60	100															
19	5	<table border="1"> <tr> <td>Negligenciável: pouca presença humana ou atividades e estruturas</td> <td>Baixa: áreas com pouca presença humana ou estruturas</td> <td>Moderada: áreas com pouca presença humana mas com estruturas significativas</td> <td>Alta: Áreas com presença humana assídua e estruturas e actividades</td> <td>Muito alta: com presença humana constante e estruturas e atividades importantes</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>x</td> <td>100</td> </tr> </table>					Negligenciável: pouca presença humana ou atividades e estruturas	Baixa: áreas com pouca presença humana ou estruturas	Moderada: áreas com pouca presença humana mas com estruturas significativas	Alta: Áreas com presença humana assídua e estruturas e actividades	Muito alta: com presença humana constante e estruturas e atividades importantes		10	15	30	60	x	100	3	
		Negligenciável: pouca presença humana ou atividades e estruturas	Baixa: áreas com pouca presença humana ou estruturas	Moderada: áreas com pouca presença humana mas com estruturas significativas	Alta: Áreas com presença humana assídua e estruturas e actividades	Muito alta: com presença humana constante e estruturas e atividades importantes														
10	15	30	60	x	100															
<table border="1"> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>x</td> <td>100</td> </tr> </table>	10	15	30	60	x	100	3													
10	15	30	60	x	100															
20	4	<table border="1"> <tr> <td>Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco</td> <td>Descontinuidades que se intersectam de forma suspeita</td> <td>Blocos destacados no talude que se possam instabilizar</td> <td>Presença de elementos destacados por alteração meteórica e decompressão</td> <td>Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>x</td> <td>60</td> <td>100</td> </tr> </table>					Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco	Descontinuidades que se intersectam de forma suspeita	Blocos destacados no talude que se possam instabilizar	Presença de elementos destacados por alteração meteórica e decompressão	Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas		10	15	30	x	60	100	1,2	
		Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco	Descontinuidades que se intersectam de forma suspeita	Blocos destacados no talude que se possam instabilizar	Presença de elementos destacados por alteração meteórica e decompressão	Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas														
10	15	30	x	60	100															
<table border="1"> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>x</td> <td>60</td> <td>100</td> </tr> </table>	10	15	30	x	60	100	1,2													
10	15	30	x	60	100															
21	2	<table border="1"> <tr> <td>Face irregular com descontinuidades rugosas (a fricção reduz a aceleração)</td> <td>Face irregular com descontinuidades planares e ressaltos</td> <td>Face pouco irregular com muitas descontinuidades</td> <td>Face suave e com descontinuidades</td> <td>Face lisa com muitas descontinuidades</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> <td></td> </tr> </table>					Face irregular com descontinuidades rugosas (a fricção reduz a aceleração)	Face irregular com descontinuidades planares e ressaltos	Face pouco irregular com muitas descontinuidades	Face suave e com descontinuidades	Face lisa com muitas descontinuidades		10	15	30	60	100		0,6	
		Face irregular com descontinuidades rugosas (a fricção reduz a aceleração)	Face irregular com descontinuidades planares e ressaltos	Face pouco irregular com muitas descontinuidades	Face suave e com descontinuidades	Face lisa com muitas descontinuidades														
10	15	30	60	100																
<table border="1"> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> <td></td> </tr> </table>	10	15	30	60	100		0,6													
10	15	30	60	100																

	ponderação		10		15		30		X		60		100			
22	Nº de blocos estimados em perigo no comprimento de talude considerado	4	0 - 1		1 - 3		3 - 6				6 - 10		>10	1,2		
	ponderação		10		30		X				60		100			
23	Altura de queda (m) (H = altura total do talude)	5	Quedas em pequenas áreas da frente do talude (H/5)					Quedas em pequenas a médias áreas do talude (2H/5)		Quedas em áreas médias da frente do talude (3H/5)		Quedas em médias a grandes áreas do talude (4H/5)		Quedas em toda a área da frente do talude (H)		1,5
	ponderação		10		15		30		s		60		100			
24	11. Massa dos blocos (m³)	4	<1		1 - 2,5		2,5 - 4				4 - 8		>8	1,2		
	ponderação		10		15		30		X		60		100			
25	Área afetada por cavidades, naturais ou antigas pedreiras	10	Sem		a>A/10; entulhada		a>A/5; entulhada		a>A/4; entulhada		a>A/3; entulhada ou não			10		
	ponderação		0		20		40			80		100		x		
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	6	Com medidas mais significativas implementadas		Com pregagens entre 3 e 6m, ancoragens ou redes pontuais		Com banquetas e pregagens <3m		Com banquetas de proteção		Sem medidas anteriores e risco aparente			3,6		
	ponderação		10		15		30			60		x	100			
27	Existência de caixas de falhas significativas	3	Não existem		Com 0 - 10cm e preenchimento consistente		Com 0 - 10cm e preenchimento pouco consistente		Com 10 - 20cm e preenchimento pouco consistente		Com a>20 e preenchimento inconsistente ou milonitizado			0,3		
	ponderação		10		X		15			30			60	100		
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas	8	Inexistente		Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m		Descolamento com significado a>10cm; l>2m		Descolamento múltiplo A<10cm; l>2m		Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m			2,4		
	ponderação		0		30		X			50			75	100		
Classificação final (máximo: 100)													47,2			

Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro	Avaliação										Classificação (peso do fator) X (ponderação)
			ZONA 6										
			%										
1	A	6	<50		Baixo 50 - 60		Médio 60 -75		Alto 75 -90		Muito alto >90 numa dimensão> H5		3,6
			20	40	60	x	80	100					
2	A	9	<25		25 - 35		35 - 45		45 - 55		>55		3,6
			20	40	x	60	80	100					
3	B	2	Muito rugosas		Rugosas		Levemente Rugosas		Macias		Escorregadias		0,3
			10	15	x	30	60	100					
4	B	3	0		1 a 2		3 a 4		4 a 5		>5		1,8
			10	15	30	60	x	100					
5	B	3	Favorável à estabilidade		Moderada		Pouco adversa		Adversa		Muito adversa		0,9
			10	15	30	x	60	100					
6	B	2	Muito baixa >10m		Baixa 10 - 5m		Moderada 5 - 3m		Alta 3 - 1m		Muito alta <1m		1,2
			10	15	30	60	x	100					
7	B	2	Sem abertura		Muito baixa < 0,1		Moderada 0,1 - 1		Significativa 1 - 5		Muito significativa > 5		1,2
			0	15	30	60	x	100					
8	B	2	Inexistente		Muito duro		Duro		Macio		Muito macio		0,6
			0	15	30	x	60	100					
9	B	2	<H/2		<H/3		<H/6		<H/10		<H/20		0,6
			10	15	30	x	60	100					
10	B	4	Frente homogênea (rocha sã)		Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H5		Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H4		Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H3		Homogênea mas com maciço alterado em várias zonas > H3		0,8
			0	20	x	30	60	100					
11	B	2	>150		150 - 125		125 - 100		100 - 75		>75		1,2
			15	30	60	x	80	100					
12	C	1	Rara		Esparsa		Sazonal ligeira		Sazonal intensa		Muito intensa		0,3
			10	15	30	x	60	100					
13	C	2	Seco		Húmido		Molhado		Gotejante		Corrente		0,3
			10	15	x	30	60	100					
14	C	1	$\alpha < 0.14$		$0.14 < \alpha < 0.16$		$0.16 < \alpha < 0.24$		$0.24 < \alpha < 0.36$		$\alpha > 0.36$		0,1
			10	x	15	30	60	100					
15	C	1	Sem vegetação		Vegetação esparsa		Vegetação de pequeno porte (arbustos)		Vegetação esparsa com árvores de grande porte		Vegetação densa, incluindo árvores de grande porte		0,15
			10	15	x	30	60	100					
16	D	2	>10		10 - 6		6 - 3		3 - 1		< 1		2
			10	15	30	60	100	x					
17	D	3	Sem		Pequena quantidade de pedras nas banquetas		Grande quantidade de pedras nas banquetas		Blocos de dimensões apreciáveis (>1ton) nas banquetas		Quedas frequentes notórias de pedras		0,45
			0	15	x	30	60	100					
18	D	2	Todos os tipos de estabilização permitidos		Maioria das estabilizações possíveis		Algumas estabilizações possíveis		Poucos tipos de estabilização exequíveis		Acesso muito difícil		0,3
			10	15	x	30	60	100					
19	D	5	Negligenciável: pouca presença humana ou atividades e estruturas		Baixa: áreas com pouca presença humana ou estruturas		Moderada: áreas com presença humana mas com estruturas significativas		Alta: Áreas com presença humana assídua e estruturas e actividades		Muito alta: com presença humana constante e estruturas e atividades importantes		3
			10	15	30	60	x	100					
20	D	4	Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco		Descontinuidades que se intersectam de forma suspeita		Blocos destacados no talude que se possam instabilizar		Presença de elementos destacados por alteração meteórica e decompressão		Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas		1,2
			10	15	30	x	60	100					
21	D	2	Face irregular com descontinuidades rugosas (a fricção reduz a aceleração)		Face irregular com descontinuidades planares e ressaltos		Face pouco irregular com muitas descontinuidades		Face suave e com descontinuidades		Face lisa com muitas descontinuidades		0,6

	ponderação		10		15		30		x		60		100	
22	Nº de blocos estimados em perigo no comprimento de talude considerado	4	0 - 1		1 - 3		3 - 6				6 - 10		>10	2,4
	ponderação		10		30		60		x		100		100	
23	Altura de queda (m) - (H = altura total do talude)	5	Quedas em pequenas áreas da frente do talude (H/5)		Quedas em pequenas a médias áreas do talude (2H/5)		Quedas em áreas médias da frente do talude (3H/5)		Quedas em médias a grandes áreas do talude (4H/5)		Quedas em toda a área da frente do talude (H)			1,5
	ponderação		10		15		30		x		60		100	
24	11. Massa dos blocos (m³)	4	<1		1 - 2,5		2,5 - 4				4 - 8		>8	0,6
	ponderação		10		15		x		30		60		100	
25	Área afetada por cavidades, naturais ou antigas pedreiras	10	Sem		a>A/10; entulhada		a>A/5; entulhada		a>A/4; entulhada		a>A/3; entulhada ou não			0
	ponderação		0		x		20		40		80		100	
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	6	Com medidas mais significativas implementadas		Com pregagens entre 3 e 6m, ancoragens ou redes pontuais		Com banquetas e pregagens <3m		Com banquetas de proteção		Sem medidas anteriores e risco aparente			1,8
	ponderação		10		15		30		x		60		100	
27	Existência de caixas de falhas significativas	3	Não existem		Com 0 - 10cm e preenchimento consistente		Com 0 - 10cm e preenchimento pouco consistente		Com 10 - 20cm e preenchimento pouco consistente		Com a>20 e preenchimento inconsistente ou milonitizado			0,3
	ponderação		10		x		15		30		60		100	
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas	8	Inexistente		Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m		Descolamento com significado a>10cm; l>2m		Descolamento múltiplo A<10cm; l>2m		Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m			4
	ponderação		0		30		50		x		75		100	
Classificação final (máximo: 100)													34,8	

Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro	Avaliação										Classificação (peso do fator) X (ponderação)			
			ZONA 7													
			%													
1	A	6	<50					Baixo 50 - 60		Médio 60 -75		Alto 75 -90		Muito alto >90 numa dimensão> H5		6
			20		40		60		80		100		x			
2	A	9	<25			25 - 35		35 - 45		45 - 55		>55			5,4	
			20		40		60		80		100					
3	B	2	Muito rugosas		Rugosas		Levemente Rugosas		Macias		Escorregadias			0,6		
			10		15		30		60		100					
4	B	3	0		1 a 2		3 a 4		4 a 5		>5			1,8		
			10		15		30		60		100					
5	B	3	Favorável à estabilidade		Moderada		Pouco adversa		Adversa		Muito adversa			0,9		
			10		15		30		60		100					
6	B	2	Muito baixa >10m		Baixa 10 - 5m		Moderada 5 - 3m		Alta 3 - 1m		Muito alta <1m			1,2		
			10		15		30		60		100					
7	B	2	Sem abertura		Muito baixa < 0,1		Moderada 0,1 - 1		Significativa 1 - 5		Muito significativa > 5			1,2		
			0		15		30		60		100					
8	B	2	Inexistente		Muito duro		Duro		Macio		Muito macio			0,6		
			0		15		30		60		100					
9	B	2	<H/2		<H/3		<H/6		<H/10		<H/20			1,2		
			10		15		30		60		100					
10	B	4	Frente homogênea (rocha sã)		Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H5		Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H4		Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H3		Homogênea mas com maciço alterado em várias zonas > H3			0,8		
			0		20		30		60		100					
11	B	2	>150		150 - 125		125 - 100		100 - 75		>75			1,2		
			15		30		60		80		100					
12	C	1	Rara		Esparsa		Sazonal ligeira		Sazonal intensa		Muito intensa			0,3		
			10		15		30		60		100					
13	C	2	Seco		Húmido		Molhado		Gotejante		Corrente			0,3		
			10		15		30		60		100					
14	C	1	$\alpha < 0,14$		$0,14 < \alpha < 0,16$		$0,16 < \alpha < 0,24$		$0,24 < \alpha < 0,36$		$\alpha > 0,36$			0,1		
			10		15		30		60		100					
15	C	1	Sem vegetação		Vegetação esparsa		Vegetação de pequeno porte (arbustos)		Vegetação esparsa com árvores de grande porte		Vegetação densa, incluindo árvores de grande porte			0,15		
			10		15		30		60		100					
16	D	2	>10		10 - 6		6 - 3		3 - 1		< 1			2		
			10		15		30		60		100					
17	D	3	Sem		Pequena quantidade de pedras nas banquetas		Grande quantidade de pedras nas banquetas		Blocos de dimensões apreciáveis (>1ton) nas banquetas		Quedas frequentes notórias de pedras			0,45		
			0		15		30		60		100					
18	D	2	Todos os tipos de estabilização permitidos		Maioria das estabilizações possíveis		Algumas estabilizações possíveis		Poucos tipos de estabilização exequíveis		Acesso muito difícil			0,3		
			10		15		30		60		100					
19	D	5	Negligenciável: pouca presença humana ou atividades e estruturas		Baixa: áreas com pouca presença humana ou estruturas		Moderada: áreas com presença humana mas com estruturas significativas		Alta: Áreas com presença humana assídua e estruturas e actividades		Muito alta: com presença humana constante e estruturas e atividades importantes			3		
			10		15		30		60		100					
20	D	4	Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco		Descontinuidades que se intersectam de forma suspeita		Blocos destacados no talude que se possam instabilizar		Presença de elementos destacados por alteração meteórica e descompressão		Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas			4		
			10		15		30		60		100					
21	D	2	Face irregular com descontinuidades rugosas (a fricção reduz a aceleração)		Face irregular com descontinuidades planares e ressaltos		Face pouco irregular com muitas descontinuidades		Face suave e com descontinuidades		Face lisa com muitas descontinuidades			0,3		
			10		15		30		60		100					

	ponderação		10		15	x	30		60		100		
22	Nº de blocos estimados em perigo no comprimento de talude considerado	4	0 - 1		1 - 3		3 - 6		6 - 10		>10	1,2	
	ponderação		10		30	x	60		100		100		
23	Altura de queda (m) - (H = altura total do talude)	5	Quedas em pequenas áreas da frente do talude (H/5)		Quedas em pequenas a médias áreas do talude (2H/5)		Quedas em áreas médias da frente do talude (3H/5)		Quedas em médias a grandes áreas do talude (4H/5)		Quedas em toda a área da frente do talude (H)		1,5
	ponderação		10		15		30	x	60		100		
24	11. Massa dos blocos (m³)	4	<1		1 - 2,5		2,5 - 4		4 - 8		>8	0,6	
	ponderação		10		15	x	30		60		100		
25	Área afetada por cavidades, naturais ou antigas pedreiras	10	Sem		a>A/10; entulhada		a>A/5; entulhada		a>A/4; entulhada		a>A/3; entulhada ou não	10	
	ponderação		0		20		40		80		100	x	
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	6	Com medidas mais significativas implementadas		Com pregagens entre 3 e 6m, ancoragens ou redes pontuais		Com banquetas e pregagens <3m		Com banquetas de proteção		Sem medidas anteriores e risco aparente	3,6	
	ponderação		10		15		30		60	x	100		
27	Existência de caixas de falhas significativas	3	Não existem		Com 0 - 10cm e preenchimento consistente		Com 0 - 10cm e preenchimento pouco consistente		Com 10 - 20cm e preenchimento pouco consistente		Com a>20 e preenchimento inconsistente ou milonitizado	0,3	
	ponderação		10	x	15		30		60		100		
28	'Descolamento' existente sobre zonas já exploradas	8	Inexistente		Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m		Descolamento com significado a>10cm; l>2m		Descolamento múltiplo A<10cm; l>2m		Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m	2,4	
	ponderação		0		30	x	50		75		100		
Classificação final (máximo: 100)												51,4	

Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro	Avaliação					Classificação (peso do fator) X (ponderação)
			ZONA 8					
		%						
1	A	6	<50	Baixo 50 - 60	Médio 60 -75	Alto 75 -90	Muito alto >90 numa dimensão> H5	3,6
			20	40	60	80	100	
2	A	9	<25	25 - 35	35 - 45	45 - 55	>55	5,4
			20	40	60	80	100	
3	B	2	Muito rugosas	Rugosas	Levemente Rugosas	Macias	Escorregadias	0,3
			10	15	30	60	100	
4	B	3	0	1 a 2	3 a 4	4 a 5	>5	3
			10	15	30	60	100	
5	B	3	Favorável à estabilidade	Moderada	Pouco adversa	Adversa	Muito adversa	0,9
			10	15	30	60	100	
6	B	2	Muito baixa >10m	Baixa 10 - 5m	Moderada 5 - 3m	Alta 3 - 1m	Muito alta <1m	1,2
			10	15	30	60	100	
7	B	2	Sem abertura	Muito baixa < 0,1	Moderada 0,1 - 1	Significativa 1 - 5	Muito significativa > 5	1,2
			0	15	30	60	100	
8	B	2	Inexistente	Muito duro	Duro	Macio	Muito macio	0,6
			0	15	30	60	100	
9	B	2	<H/2	<H/3	<H/6	<H/10	<H/20	2
			10	15	30	60	100	
10	B	4	Frete homogênea (rocha sã)	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H5	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H4	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H3	Homogênea mas com maciço alterado em várias zonas > H3	0,8
			0	20	30	60	100	
11	B	2	>150	150 - 125	125 - 100	100 - 75	>75	1,2
			15	30	60	80	100	
12	C	1	Rara	Esparsa	Sazonal ligeira	Sazonal intensa	Muito intensa	0,3
			10	15	30	60	100	
13	C	2	Seco	Húmido	Molhado	Gotejante	Corrente	0,3
			10	15	30	60	100	
14	C	1	$\alpha < 0.14$	$0.14 < \alpha < 0.16$	$0.16 < \alpha < 0.24$	$0.24 < \alpha < 0.36$	$\alpha > 0.36$	0,1
			10	15	30	60	100	
15	C	1	Sem vegetação	Vegetação esparsa	Vegetação de pequeno porte (arbustos)	Vegetação esparsa com árvores de grande porte	Vegetação densa, incluindo árvores de grande porte	0,3
			10	15	30	60	100	
16	D	2	>10	10 - 6	6 - 3	3 - 1	< 1	2
			10	15	30	60	100	
17	D	3	Sem	Pequena quantidade de pedras nas banquetas	Grande quantidade de pedras nas banquetas	Blocos de dimensões apreciáveis (>1ton) nas banquetas	Quedas frequentes notórias de pedras	0,45
			0	15	30	60	100	
18	D	2	Todos os tipos de estabilização permitidos	Maioria das estabilizações possíveis	Algumas estabilizações possíveis	Poucos tipos de estabilização exequíveis	Acesso muito difícil	0,3
			10	15	30	60	100	
19	D	5	Negligenciável: pouca presença humana ou estruturas	Baixa: áreas com pouca presença humana ou estruturas	Moderada: áreas com presença humana mas com estruturas significativas	Alta: Áreas com presença humana assídua e estruturas e actividades	Muito alta: com presença humana constante e estruturas e actividades importantes	3
			10	15	30	60	100	
20	D	4	Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco	Descontinuidades que se intersectam de forma suspeita	Blocos destacados no talude que se possam instabilizar	Presença de elementos destacados por alteração meteórica e descompressão	Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas	2,4
			10	15	30	60	100	
21	D	2	Face irregular com descontinuidades rugosas (a fricção reduz a aceleração)	Face irregular com descontinuidades planares e ressaltos	Face pouco irregular com muitas descontinuidades	Face suave e com descontinuidades	Face lisa com muitas descontinuidades	0,6
			10	15	30	60	100	

	ponderação		10		15		30		X		60		100		
22	Nº de blocos estimados em perigo no comprimento de talude considerado	4	0 - 1		1 - 3		3 - 6		6 - 10		>10				1,2
	ponderação		10		30		X		60		100		100		
23	Altura de queda (m) (H = altura total do talude)	5	Quedas em pequenas áreas da frente do talude (H/5)		Quedas em pequenas a médias áreas do talude (2H/5)		Quedas em áreas médias da frente do talude (3H/5)		Quedas em médias a grandes áreas do talude (4H/5)		Quedas em toda a área da frente do talude (H)				1,5
	ponderação		10		15		30		X		60		100		
24	11. Massa dos blocos (m³)	4	<1		1 - 2,5		2,5 - 4		4 - 8		>8				0,6
	ponderação		10		15		X		30		60		100		
25	Área afetada por cavidades, naturais ou antigas pedreiras	10	Sem		a>A/10; entulhada		a>A/5; entulhada		a>A/4; entulhada		a>A/3; entulhada ou não				0
	ponderação		0		X		20		40		80		100		
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	6	Com medidas mais significativas implementadas		Com pregagens entre 3 e 6m, ancoragens ou redes pontuais		Com banquetas e pregagens <3m		Com banquetas de proteção		Sem medidas anteriores e risco aparente				0,9
	ponderação		10		15		X		30		60		100		
27	Existência de caixas de falhas significativas	3	Não existem		Com 0 - 10cm e preenchimento consistente		Com 0 - 10cm e preenchimento pouco consistente		Com 10 - 20cm e preenchimento pouco consistente		Com a>20 e preenchimento inconsistente ou milonitizado				0,3
	ponderação		10		X		15		30		60		100		
28	'Descolamento' existente sobre zonas já exploradas	8	Inexistente		Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m		Descolamento com significado a>10cm; l>2m		Descolamento múltiplo A<10cm; l>2m		Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m				4
	ponderação		0		30		50		X		75		100		
Classificação final (máximo: 100)															38,45

Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro	Avaliação										Classificação (peso do fator) X (ponderação)			
			ZONA 9													
			%													
1	A	6	<50					Baixo 50 - 60		Médio 60 -75		Alto 75 -90		Muito alto >90 numa dimensão> H5		6
			20		40		60		80		100		x			
2	A	9	<25			25 - 35			35 - 45		45 - 55		>55		5,4	
			20		40		60		80		100		x			
3	B	2	Muito rugosas		Rugosas		Levemente Rugosas		Macias		Escorregadias		0,3			
			10		15		30		60		100			x		
4	B	3	0		1 a 2		3 a 4		4 a 5		>5		1,8			
			10		15		30		60		100			x		
5	B	3	Favorável à estabilidade		Moderada		Pouco adversa		Adversa		Muito adversa		0,9			
			10		15		30		60		100			x		
6	B	2	Muito baixa >10m		Baixa 10 - 5m		Moderada 5 - 3m		Alta 3 - 1m		Muito alta <1m		1,2			
			10		15		30		60		100			x		
7	B	2	Sem abertura		Muito baixa < 0,1		Moderada 0,1 - 1		Significativa 1 - 5		Muito significativa > 5		1,2			
			0		15		30		60		100			x		
8	B	2	Inexistente		Muito duro		Duro		Macio		Muito macio		0,6			
			0		15		30		60		100			x		
9	B	2	<H/2		<H/3		<H/6		<H/10		<H/20		2			
			10		15		30		60		100			x		
10	B	4	Frente homogênea (rocha sã)		Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H5		Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H4		Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H3		Homogênea mas com maciço alterado em várias zonas > H3		4			
			0		20		30		60		100			x		
11	B	2	>150		150 - 125		125 - 100		100 - 75		>75		0,6			
			15		30		60		80		100			x		
12	C	1	Rara		Esparsa		Sazonal ligeira		Sazonal intensa		Muito intensa		0,3			
			10		15		30		60		100			x		
13	C	2	Seco		Húmido		Molhado		Gotejante		Corrente		0,3			
			10		15		30		60		100			x		
14	C	1	$\alpha < 0.14$		$0.14 < \alpha < 0.16$		$0.16 < \alpha < 0.24$		$0.24 < \alpha < 0.36$		$\alpha > 0.36$		0,1			
			10		15		30		60		100			x		
15	C	1	Sem vegetação		Vegetação esparsa		Vegetação de pequeno porte (arbustos)		Vegetação esparsa com árvores de grande porte		Vegetação densa, incluindo árvores de grande porte		0,3			
			10		15		30		60		100			x		
16	D	2	>10		10 - 6		6 - 3		3 - 1		< 1		2			
			10		15		30		60		100			x		
17	D	3	Sem		Pequena quantidade de pedras nas banquetas		Grande quantidade de pedras nas banquetas		Blocos de dimensões apreciáveis (>1ton) nas banquetas		Quedas frequentes esporádicas de pedras		0,45			
			0		15		30		60		100			x		
18	D	2	Todos os tipos de estabilização permitidos		Maioria das estabilizações possíveis		Algumas estabilizações possíveis		Poucos tipos de estabilização executáveis		Acesso muito difícil		0,3			
			10		15		30		60		100			x		
19	D	5	Negligenciável: pouca presença humana ou atividades e estruturas		Baixa: áreas com pouca presença humana ou estruturas		Moderada: áreas com presença humana mas com estruturas significativas		Alta: Áreas com presença humana assídua e estruturas e atividades		Muito alta: com presença humana constante e estruturas e atividades importantes		3			
			10		15		30		60		100			x		
20	D	4	Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco		Descontinuidades que se intersectam de forma suspeita		Blocos destacados no talude que se possam instabilizar		Presença de elementos destacados por alteração meteórica e descompressão		Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas		4			
			10		15		30		60		100			x		
21	D	2	Face irregular com descontinuidades rugosas (a fricção reduz a aceleração)		Face irregular com descontinuidades planares e ressaltos		Face pouco irregular com muitas descontinuidades		Face suave e com descontinuidades		Face lisa com muitas descontinuidades		0,3			
			10		15		30		60		100			x		

22	Nº de blocos estimados em perigo no comprimento de talude considerado	4	0 - 1					1 - 3					3 - 6					6 - 10					>10					1,2
	ponderação		10					30					60					100					100					
23	Altura de queda (m) (H = altura total do talude)	5	Quedas em pequenas áreas da frente do talude (H/5)					Quedas em pequenas a médias áreas do talude (2H/5)					Quedas em áreas médias da frente do talude (3H/5)					Quedas em médias a grandes áreas do talude (4H/5)					Quedas em toda a área da frente do talude (H)					1,5
	ponderação		10					15					30					60					100					
24	11. Massa dos blocos (m³)	4	<1					1 - 2,5					2,5 - 4					4 - 8					>8					0,6
	ponderação		10					15					30					60					100					
25	Área afetada por cavidades, naturais ou antigas pedreiras	10	Sem					a>A/10; entulhada					a>A/5; entulhada					a>A/4; entulhada					a>A/3; entulhada ou não					10
	ponderação		0					20					40					80					100					
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	6	Com medidas mais significativas implementadas					Com pregagens entre 3 e 6m, ancoragens ou redes pontuais					Com banquetas e pregagens <3m					Com banquetas de proteção					Sem medidas anteriores e risco aparente					0,9
	ponderação		10					15					30					60					100					
27	Existência de caixas de falhas significativas	3	Não existem					Com 0 - 10cm e preenchimento consistente					Com 0 - 10cm e preenchimento pouco consistente					Com 10 - 20cm e preenchimento pouco consistente					Com a>20 e preenchimento inconsistente ou milonitizado					0,3
	ponderação		10					15					30					60					100					
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas	8	Inexistente					Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m					Descolamento com significado a>10cm; l>2m					Descolamento múltiplo A<10cm; l>2m					Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m					2,4
	ponderação		0					30					50					75					100					
		Classificação final (máximo: 100)																				51,95						

Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro	Avaliação					Classificação (peso do fator) X (ponderação)
			ZONA 10					
			%					
1	A	6	<50	Baixo 50 - 60	Médio 60 -75	Alto 75 -90	Muito alto >90 numa dimensão> H5	3,6
			20	40	60	80	100	
2	A	9	<25	25 - 35	35 - 45	45 - 55	>55	5,4
			20	40	60	80	100	
3	B	2	Muito rugosas	Rugosas	Levemente Rugosas	Macias	Escorregadias	0,6
			10	15	30	60	100	
4	B	3	0	1 a 2	3 a 4	4 a 5	>5	1,8
			10	15	30	60	100	
5	B	3	Favorável à estabilidade	Moderada	Pouco adversa	Adversa	Muito adversa	0,9
			10	15	30	60	100	
6	B	2	Muito baixa >10m	Baixa 10 - 5m	Moderada 5 - 3m	Alta 3 - 1m	Muito alta <1m	1,2
			10	15	30	60	100	
7	B	2	Sem abertura	Muito baixa < 0,1	Moderada 0,1 - 1	Significativa 1 - 5	Muito significativa > 5	1,2
			0	15	30	60	100	
8	B	2	Inexistente	Muito duro	Duro	Macio	Muito macio	0,3
			0	15	30	60	100	
9	B	2	<H/2	<H/3	<H/6	<H/10	<H/20	1,2
			10	15	30	60	100	
10	B	4	Frete homogênea (rocha sã)	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H5	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H4	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H3	Homogênea mas com maciço alterado em várias zonas > H3	0,8
			0	20	30	60	100	
11	B	2	>150	150 - 125	125 - 100	100 - 75	>75	1,2
			15	30	60	80	100	
12	C	1	Rara	Esparsa	Sazonal ligeira	Sazonal intensa	Muito intensa	0,3
			10	15	30	60	100	
13	C	2	Seco	Húmido	Molhado	Gotejante	Corrente	0,3
			10	15	30	60	100	
14	C	1	$\alpha < 0,14$	$0,14 < \alpha < 0,16$	$0,16 < \alpha < 0,24$	$0,24 < \alpha < 0,36$	$\alpha > 0,36$	0,1
			10	15	30	60	100	
15	C	1	Sem vegetação	Vegetação esparsa	Vegetação de pequeno porte (arbustos)	Vegetação esparsa com árvores de grande porte	Vegetação densa, incluindo árvores de grande porte	0,3
			10	15	30	60	100	
16	D	2	>10	10 - 6	6 - 3	3 - 1	< 1	2
			10	15	30	60	100	
17	D	3	Sem	Pequena quantidade de pedras nas banquetas	Grande quantidade de pedras nas banquetas	Blocos de dimensões apreciáveis (>1ton) nas banquetas	Quedas frequentes notórias de pedras	0,45
			0	15	30	60	100	
18	D	2	Todos os tipos de estabilização permitidos	Maioria das estabilizações possíveis	Algumas estabilizações possíveis	Poucos tipos de estabilização exequíveis	Acesso muito difícil	0,3
			10	15	30	60	100	
19	D	5	Negligenciável: pouca presença humana ou estruturas	Baixa: áreas com pouca presença humana ou estruturas	Moderada: áreas com presença humana mas com estruturas significativas	Alta: áreas com presença humana assídua e estruturas e actividades	Muito alta: com presença humana constante e estruturas e actividades importantes	3
			10	15	30	60	100	
20	D	4	Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco	Descontinuidades que se intersectam de forma suspeita	Blocos destacados no talude que se possam instabilizar	Presença de elementos destacados por alteração meteórica e descompressão	Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas	2,4
			10	15	30	60	100	
21	D	2	Face irregular com descontinuidades rugosas (a fricção reduz a aceleração)	Face irregular com descontinuidades planares e ressaltos	Face pouco irregular com muitas descontinuidades	Face suave e com descontinuidades	Face lisa com muitas descontinuidades	0,3
			10	15	30	60	100	

	ponderação		10		15	x	30		60		100					
22	Nº de blocos estimados em perigo no comprimento de talude considerado	4	0 - 1		1 - 3		3 - 6		6 - 10		>10	1,2				
	ponderação		10		30	x	60		100		100					
23	Altura de queda (m) (H = altura total do talude)	5	Quedas em pequenas áreas da frente do talude (H:5)					Quedas em pequenas a médias áreas do talude (2H:5)		Quedas em áreas médias da frente do talude (3H:5)		Quedas em médias a grandes áreas do talude (4H:5)		Quedas em toda a área da frente do talude (H)		1,5
	ponderação		10		15		30	x	60		100					
24	11. Massa dos blocos (m³)	4	<1		1 - 2,5		2,5 - 4		4 - 8		>8	0,6				
	ponderação		10		15	x	30		60		100					
25	Área afetada por cavidades, naturais ou antigas pedreiras	10	Sem		a>A/10; entulhada		a>A/5; entulhada		a>A/4; entulhada		a>A/3; entulhada ou não		0			
	ponderação		0	x	20		40		80		100					
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	6	Com medidas mais significativas implementadas		Com pregagens entre 3 e 6m, ancoragens ou redes pontuais		Com banquetas e pregagens <3m		Com banquetas de proteção		Sem medidas anteriores e risco aparente		1,8			
	ponderação		10		15		30	x	60		100					
27	Existência de caixas de falhas significativas	3	Não existem		Com 0 - 10cm e preenchimento consistente		Com 0 - 10cm e preenchimento pouco consistente		Com 10 - 20cm e preenchimento pouco consistente		Com a>20 e preenchimento inconsistente ou inutilizado		0,3			
	ponderação		10	x	15		30		60		100					
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas	8	Inexistente		Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m		Descolamento com significado a>10cm; l>2m		Descolamento múltiplo A<10cm; l>2m		Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m		4			
	ponderação		0		30		50	x	75		100					
Classificação final (máximo: 100)												37,05				

Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro	Avaliação					Classificação (peso do fator) X (ponderação)												
			ZONA 11																	
1	A	6	<table border="1"> <tr> <td><50</td> <td>50 - 60</td> <td>60 - 75</td> <td>75 - 90</td> <td colspan="2">>90 numa dimensão - H5</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>40</td> <td>60</td> <td>80</td> <td>100</td> <td>x</td> </tr> </table>					<50	50 - 60	60 - 75	75 - 90	>90 numa dimensão - H5		20	40	60	80	100	x	6
<50			50 - 60	60 - 75	75 - 90	>90 numa dimensão - H5														
20	40	60	80	100	x															
2	9	9	<table border="1"> <tr> <td><25</td> <td>25 - 35</td> <td>35 - 45</td> <td>45 - 55</td> <td colspan="2">>55</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>40</td> <td>60</td> <td>80</td> <td>100</td> <td>x</td> </tr> </table>					<25	25 - 35	35 - 45	45 - 55	>55		20	40	60	80	100	x	5,4
<25			25 - 35	35 - 45	45 - 55	>55														
20	40	60	80	100	x															
3	B	2	<table border="1"> <tr> <td>Muito rugosas</td> <td>Rugosas</td> <td>Levemente Rugosas</td> <td>Macias</td> <td colspan="2">Escorregadias</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>x</td> </tr> </table>					Muito rugosas	Rugosas	Levemente Rugosas	Macias	Escorregadias		10	15	30	60	100	x	0,3
Muito rugosas			Rugosas	Levemente Rugosas	Macias	Escorregadias														
10	15	30	60	100	x															
4	3	3	<table border="1"> <tr> <td>0</td> <td>1 a 2</td> <td>3 a 4</td> <td>4 a 5</td> <td colspan="2">>5</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>x</td> </tr> </table>					0	1 a 2	3 a 4	4 a 5	>5		10	15	30	60	100	x	1,8
0			1 a 2	3 a 4	4 a 5	>5														
10	15	30	60	100	x															
5	3	3	<table border="1"> <tr> <td>Favorável à estabilidade</td> <td>Moderada</td> <td>Pouco adversa</td> <td>Adversa</td> <td colspan="2">Muito adversa</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>x</td> </tr> </table>					Favorável à estabilidade	Moderada	Pouco adversa	Adversa	Muito adversa		10	15	30	60	100	x	0,45
Favorável à estabilidade			Moderada	Pouco adversa	Adversa	Muito adversa														
10	15	30	60	100	x															
6	2	2	<table border="1"> <tr> <td>Muito baixa >10m</td> <td>Baixa 10 - 5m</td> <td>Moderada 5 - 3m</td> <td>Alta 3 - 1m</td> <td colspan="2">Muito alta <1m</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>x</td> </tr> </table>					Muito baixa >10m	Baixa 10 - 5m	Moderada 5 - 3m	Alta 3 - 1m	Muito alta <1m		10	15	30	60	100	x	2
Muito baixa >10m			Baixa 10 - 5m	Moderada 5 - 3m	Alta 3 - 1m	Muito alta <1m														
10	15	30	60	100	x															
7	2	2	<table border="1"> <tr> <td>Sem abertura</td> <td>Muito baixa < 0,1</td> <td>Moderada 0,1 - 1</td> <td>Significativa 1 - 5</td> <td colspan="2">Muito significativa > 5</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>x</td> </tr> </table>					Sem abertura	Muito baixa < 0,1	Moderada 0,1 - 1	Significativa 1 - 5	Muito significativa > 5		0	15	30	60	100	x	1,2
Sem abertura			Muito baixa < 0,1	Moderada 0,1 - 1	Significativa 1 - 5	Muito significativa > 5														
0	15	30	60	100	x															
8	2	2	<table border="1"> <tr> <td>Inexistente</td> <td>Muito duro</td> <td>Duro</td> <td>Macio</td> <td colspan="2">Muito macio</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>x</td> </tr> </table>					Inexistente	Muito duro	Duro	Macio	Muito macio		0	15	30	60	100	x	0,3
Inexistente			Muito duro	Duro	Macio	Muito macio														
0	15	30	60	100	x															
9	2	2	<table border="1"> <tr> <td><H/2</td> <td><H/3</td> <td><H/6</td> <td><H/10</td> <td colspan="2"><H/20</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>x</td> </tr> </table>					<H/2	<H/3	<H/6	<H/10	<H/20		10	15	30	60	100	x	1,2
<H/2			<H/3	<H/6	<H/10	<H/20														
10	15	30	60	100	x															
10	4	4	<table border="1"> <tr> <td>Frete homogênea (rocha sã)</td> <td>Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H5</td> <td>Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H4</td> <td>Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H3</td> <td colspan="2">Homogênea mas com maciço alterado em várias zonas > H3</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>20</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>x</td> </tr> </table>					Frete homogênea (rocha sã)	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H5	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H4	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H3	Homogênea mas com maciço alterado em várias zonas > H3		0	20	30	60	100	x	0,8
Frete homogênea (rocha sã)			Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H5	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H4	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H3	Homogênea mas com maciço alterado em várias zonas > H3														
0	20	30	60	100	x															
11	2	2	<table border="1"> <tr> <td>>150</td> <td>150 - 125</td> <td>125 - 100</td> <td>100 - 75</td> <td colspan="2">>75</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>80</td> <td>100</td> <td>x</td> </tr> </table>					>150	150 - 125	125 - 100	100 - 75	>75		15	30	60	80	100	x	1,2
>150			150 - 125	125 - 100	100 - 75	>75														
15	30	60	80	100	x															
12	C	1	<table border="1"> <tr> <td>Rara</td> <td>Esparsa</td> <td>Sazonal ligeira</td> <td>Sazonal intensa</td> <td colspan="2">Muito intensa</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>x</td> </tr> </table>					Rara	Esparsa	Sazonal ligeira	Sazonal intensa	Muito intensa		10	15	30	60	100	x	0,3
Rara			Esparsa	Sazonal ligeira	Sazonal intensa	Muito intensa														
10	15	30	60	100	x															
13	2	2	<table border="1"> <tr> <td>Seco</td> <td>Húmido</td> <td>Molhado</td> <td>Gotejante</td> <td colspan="2">Corrente</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>x</td> </tr> </table>					Seco	Húmido	Molhado	Gotejante	Corrente		10	15	30	60	100	x	0,3
Seco			Húmido	Molhado	Gotejante	Corrente														
10	15	30	60	100	x															
14	1	1	<table border="1"> <tr> <td>$\alpha < 0.14$</td> <td>$0.14 < \alpha < 0.16$</td> <td>$0.16 < \alpha < 0.24$</td> <td>$0.24 < \alpha < 0.36$</td> <td colspan="2">$\alpha > 0.36$</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>x</td> </tr> </table>					$\alpha < 0.14$	$0.14 < \alpha < 0.16$	$0.16 < \alpha < 0.24$	$0.24 < \alpha < 0.36$	$\alpha > 0.36$		10	15	30	60	100	x	0,1
$\alpha < 0.14$			$0.14 < \alpha < 0.16$	$0.16 < \alpha < 0.24$	$0.24 < \alpha < 0.36$	$\alpha > 0.36$														
10	15	30	60	100	x															
15	1	1	<table border="1"> <tr> <td>Sem vegetação</td> <td>Vegetação esparsa</td> <td>Vegetação de pequeno porte (arbustos)</td> <td>Vegetação esparsa com árvores de grande porte</td> <td colspan="2">Vegetação densa, incluindo árvores de grande porte</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>x</td> </tr> </table>					Sem vegetação	Vegetação esparsa	Vegetação de pequeno porte (arbustos)	Vegetação esparsa com árvores de grande porte	Vegetação densa, incluindo árvores de grande porte		10	15	30	60	100	x	0,3
Sem vegetação			Vegetação esparsa	Vegetação de pequeno porte (arbustos)	Vegetação esparsa com árvores de grande porte	Vegetação densa, incluindo árvores de grande porte														
10	15	30	60	100	x															
16	2	2	<table border="1"> <tr> <td>>10</td> <td>10 - 6</td> <td>6 - 3</td> <td>3 - 1</td> <td colspan="2">< 1</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>x</td> </tr> </table>					>10	10 - 6	6 - 3	3 - 1	< 1		10	15	30	60	100	x	1,2
>10			10 - 6	6 - 3	3 - 1	< 1														
10	15	30	60	100	x															
17	3	3	<table border="1"> <tr> <td>Sem</td> <td>Pequena quantidade de pedras nas banquetas</td> <td>Grande quantidade de pedras nas banquetas</td> <td>Blocos de dimensões apreciáveis (>10m) nas banquetas</td> <td colspan="2">Quedas frequentes e notórias de pedras</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>x</td> </tr> </table>					Sem	Pequena quantidade de pedras nas banquetas	Grande quantidade de pedras nas banquetas	Blocos de dimensões apreciáveis (>10m) nas banquetas	Quedas frequentes e notórias de pedras		0	15	30	60	100	x	0,45
Sem			Pequena quantidade de pedras nas banquetas	Grande quantidade de pedras nas banquetas	Blocos de dimensões apreciáveis (>10m) nas banquetas	Quedas frequentes e notórias de pedras														
0	15	30	60	100	x															
18	2	2	<table border="1"> <tr> <td>Todos os tipos de estabilização permitidos</td> <td>Maioria das estabilizações possíveis</td> <td>Algumas estabilizações possíveis</td> <td>Poucos tipos de estabilização exequíveis</td> <td colspan="2">Acesso muito difícil</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>x</td> </tr> </table>					Todos os tipos de estabilização permitidos	Maioria das estabilizações possíveis	Algumas estabilizações possíveis	Poucos tipos de estabilização exequíveis	Acesso muito difícil		10	15	30	60	100	x	0,3
Todos os tipos de estabilização permitidos			Maioria das estabilizações possíveis	Algumas estabilizações possíveis	Poucos tipos de estabilização exequíveis	Acesso muito difícil														
10	15	30	60	100	x															
19	5	5	<table border="1"> <tr> <td>Negligenciável: pouca presença humana ou atividades e estruturas</td> <td>Baixa: áreas com pouca presença humana ou estruturas</td> <td>Moderada: áreas com pouca presença humana mas com estruturas significativas</td> <td>Alta: Áreas com presença humana assídua e estruturas e atividades</td> <td colspan="2">Muito alta: com presença humana constante e estruturas e atividades importantes</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>x</td> </tr> </table>					Negligenciável: pouca presença humana ou atividades e estruturas	Baixa: áreas com pouca presença humana ou estruturas	Moderada: áreas com pouca presença humana mas com estruturas significativas	Alta: Áreas com presença humana assídua e estruturas e atividades	Muito alta: com presença humana constante e estruturas e atividades importantes		10	15	30	60	100	x	1,5
Negligenciável: pouca presença humana ou atividades e estruturas			Baixa: áreas com pouca presença humana ou estruturas	Moderada: áreas com pouca presença humana mas com estruturas significativas	Alta: Áreas com presença humana assídua e estruturas e atividades	Muito alta: com presença humana constante e estruturas e atividades importantes														
10	15	30	60	100	x															
20	4	4	<table border="1"> <tr> <td>Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco</td> <td>Descontinuidades que se intersectam de forma suspeita</td> <td>Blocos destacados no talude que se possam instabilizar</td> <td>Presença de elementos destacados por alteração meteórica e decompressão</td> <td colspan="2">Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>x</td> </tr> </table>					Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco	Descontinuidades que se intersectam de forma suspeita	Blocos destacados no talude que se possam instabilizar	Presença de elementos destacados por alteração meteórica e decompressão	Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas		10	15	30	60	100	x	4
Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco			Descontinuidades que se intersectam de forma suspeita	Blocos destacados no talude que se possam instabilizar	Presença de elementos destacados por alteração meteórica e decompressão	Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas														
10	15	30	60	100	x															
21	2	2	<table border="1"> <tr> <td>Face irregular com descontinuidades rugosas (a fricção reduz a aceleração)</td> <td>Face irregular com descontinuidades planares e ressaltos</td> <td>Face pouco irregular com muitas descontinuidades</td> <td>Face suave e com descontinuidades</td> <td colspan="2">Face lisa com muitas descontinuidades</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>x</td> </tr> </table>					Face irregular com descontinuidades rugosas (a fricção reduz a aceleração)	Face irregular com descontinuidades planares e ressaltos	Face pouco irregular com muitas descontinuidades	Face suave e com descontinuidades	Face lisa com muitas descontinuidades		10	15	30	60	100	x	0,3
Face irregular com descontinuidades rugosas (a fricção reduz a aceleração)			Face irregular com descontinuidades planares e ressaltos	Face pouco irregular com muitas descontinuidades	Face suave e com descontinuidades	Face lisa com muitas descontinuidades														
10	15	30	60	100	x															
22	4	4	<table border="1"> <tr> <td>0 - 1</td> <td>1 - 3</td> <td>3 - 6</td> <td>6 - 10</td> <td colspan="2">>10</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>x</td> </tr> </table>					0 - 1	1 - 3	3 - 6	6 - 10	>10		10	15	30	60	100	x	2,4
0 - 1			1 - 3	3 - 6	6 - 10	>10														
10	15	30	60	100	x															

	ponderação		10		30		60	x	100		100		
23	Altura de queda (m) (H = altura total do talude)	E	5	Quedas em pequenas áreas da frente do talude (H<5)	Quedas em pequenas a médias áreas do talude (2H<5)	Quedas em áreas médias da frente do talude (3H<5)	Quedas em médias a grandes áreas do talude (4H<5)	Quedas em toda a área da frente do talude (H)					1,5
	ponderação			10		15		30	x	60		100	
24	11. Massa dos blocos (m³)		4	<1	1 - 2,5	2,5 - 4	4 - 8	>8					0,6
	ponderação			10		15	x	30		60		100	
25	Área afetada por cavidades, naturais ou antigas pedreiras		10	Sem	a>A/10; entulhada	a>A/5; entulhada	a>A/4; entulhada	a>A/3; entulhada ou não					10
	ponderação			0		20		40		80		100	x
26	Existência de medidas de mitigação implementadas		6	Com medidas mais significativas implementadas	Com pregagens entre 3 e 6m, ancoragens ou redes pontuais	Com banquetas e pregagens <3m	Com banquetas de proteção	Sem medidas anteriores e risco aparente					1,8
	ponderação			10		15		30	X	60		100	
27	Existência de caixas de filhas significativas		3	Não existem	Com 0 - 10cm e preenchimento consistente	Com 0 - 10cm e preenchimento pouco consistente	Com 10 - 20cm e preenchimento pouco consistente	Com a>20 e preenchimento inconsistente ou milonizado					0,3
	ponderação			10	x	15		30		60		100	
28	'Descolamento' existente sobre zonas já exploradas		8	Inexistente	Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m	Descolamento com significado a>10cm; l>2m	Descolamento múltiplo A<10cm; l>2m	Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m					2,4
	ponderação			0		30	x	50		75		100	
Classificação final (máximo: 100)												48,4	

Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro	Avaliação										Classificação (peso do fator) X (ponderação)
			ZONA 12										
			%										
1	A	6	<50		Baixo 50 - 60		Médio 60 -75		Alto 75 -90		Muito alto >90 numa dimensão> H5		3,6
			20	40	60	x	80	100					
2	A	9	<25		25 - 35		35 - 45		45 - 55		>55		5,4
			20	40	60	x	80	100					
3	B	2	Muito rugosas		Rugosas		Levemente Rugosas		Macias		Escorregadias		0,3
			10	15	x	30	60	100					
4	B	3	0		1 a 2		3 a 4		4 a 5		>5		0,9
			10	15	30	x	60	100					
5	B	3	Favorável à estabilidade		Moderada		Pouco adversa		Adversa		Muito adversa		0,45
			10	15	x	30	60	100					
6	B	2	Muito baixa >10m		Baixa 10 - 5m		Moderada 5 - 3m		Alta 3 - 1m		Muito alta <1m		1,2
			10	15	30	60	x	100					
7	B	2	Sem abertura		Muito baixa < 0,1		Moderada 0,1 - 1		Significativa 1 - 5		Muito significativa > 5		2
			0	15	30	60	100	x					
8	B	2	Inexistente		Muito duro		Duro		Macio		Muito macio		0
			0	x	15	30	60	100					
9	B	2	<H/2		<H/3		<H/6		<H/10		<H/20		0,6
			10	15	30	x	60	100					
10	B	4	Frente homogênea (rocha sã)		Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H5		Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H4		Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H3		Homogênea mas com maciço alterado em várias zonas > H3		0,8
			0	20	x	30	60	100					
11	B	2	>150		150 - 125		125 - 100		100 - 75		>75		1,2
			15	30	60	x	80	100					
12	C	1	Rara		Esparsa		Sazonal ligeira		Sazonal intensa		Muito intensa		0,3
			10	15	30	x	60	100					
13	C	2	Seco		Húmido		Molhado		Gotejante		Corrente		0,3
			10	15	x	30	60	100					
14	C	1	$\alpha < 0.14$		$0.14 < \alpha < 0.16$		$0.16 < \alpha < 0.24$		$0.24 < \alpha < 0.36$		$\alpha > 0.36$		0,1
			10	x	15	30	60	100					
15	C	1	Sem vegetação		Vegetação esparsa		Vegetação de pequeno porte (arbustos)		Vegetação esparsa com árvores de grande porte		Vegetação densa, incluindo árvores de grande porte		0,3
			10	15	30	x	60	100					
16	D	2	>10		10 - 6		6 - 3		3 - 1		< 1		1,2
			10	15	30	60	x	100					
17	D	3	Sem		Pequena quantidade de pedras nas banquetas		Grande quantidade de pedras nas banquetas		Blocos de dimensões apreciáveis (>1ton) nas banquetas		Quedas frequentes esporádicas de pedras		0,45
			0	15	x	30	60	100					
18	D	2	Todos os tipos de estabilização permitidos		Maioria das estabilizações possíveis		Algumas estabilizações possíveis		Poucos tipos de estabilização exequíveis		Acesso muito difícil		0,3
			10	15	x	30	60	100					
19	D	5	Negligenciável: pouca presença humana ou atividades e estruturas		Baixa: áreas com pouca presença humana ou estruturas		Moderada: áreas com pouca presença humana mas com estruturas significativas		Alta: Áreas com presença humana assídua e estruturas e atividades		Muito alta: com presença humana constante e estruturas e atividades importantes		1,5
			10	15	30	x	60	100					
20	D	4	Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco		Descontinuidades que se intersectam de forma suspeita		Blocos destacados no talude que se possam instabilizar		Presença de elementos destacados por alteração meteórica e descompressão		Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas		0,6
			10	15	x	30	60	100					

21	Irregularidade das faces do talude	E	2	Face irregular com descontinuidades rugosas (a fricção reduz a aceleração)	Face irregular com descontinuidades planares e resaltos	Face pouco irregular com muitas descontinuidades	Face suave e com descontinuidades	Face lisa com muitas descontinuidades	0,6
	ponderação			10	15	30	X	60	
22	Nº de blocos estimados em perigo no comprimento de talude considerado	E	4	0 - 1	1 - 3	3 - 6	6 - 10	>10	2,4
	ponderação			10	30	60	X	100	
23	Altura de queda (m) (H = altura total do talude)	E	5	Quedas em pequenas áreas da frente do talude (H/5)	Quedas em pequenas a médias áreas do talude (2H/5)	Quedas em áreas médias da frente do talude (3H/5)	Quedas em médias a grandes áreas do talude (4H/5)	Quedas em toda a área da frente do talude (H)	1,5
	ponderação			10	15	30	X	60	
24	11. Massa dos blocos (m³)	E	4	<1	1 - 2,5	2,5 - 4	4 - 8	>8	1,2
	ponderação			10	15	30	X	60	
25	Área afetada por cavidades, naturais ou antigas pedreiras	E	10	Sem	a>A/10; entulhada	a>A/5; entulhada	a>A/4; entulhada	a>A/3; entulhada ou não	0
	ponderação			0	X	20	40	80	
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	E	6	Com medidas mais significativas implementadas	Com pregagens entre 3 e 6m, ancoragens ou redes pontuais	Com banquetas e pregagens <3m	Com banquetas de proteção	Sem medidas anteriores e risco aparente	0,9
	ponderação			10	15	X	30	60	
27	Existência de caixas de falhas significativas	E	3	Não existem	Com 0 - 10cm e preenchimento consistente	Com 0 - 10cm e preenchimento pouco consistente	Com 10 - 20cm e preenchimento pouco consistente	Com a>20 e preenchimento inconsistente ou milonitizado	0,3
	ponderação			10	X	15	30	60	
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas	E	8	Inexistente	Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m	Descolamento com significado a>10cm; b>2m	Descolamento múltiplo A<10cm; b>2m	Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m	4
	ponderação			0	30	50	X	75	
									32,4

Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro	Avaliação					Classificação (peso do fator) X (ponderação)
			ZONA 13					
			%					
1	A	6	<50	Baixo 50 - 60	Médio 60 -75	Alto 75 -90	Muito alto >90 numa dimensão> H5	6
			20	40	60	80	100	
2	A	9	<25	25 - 35	35 - 45	45 - 55	>55	5,4
			20	40	60	80	100	
3	B	2	Muito rugosas	Rugosas	Levemente Rugosas	Macias	Escorregadias	0,6
			10	15	30	60	100	
4	B	3	0	1 a 2	3 a 4	4 a 5	>5	1,8
			10	15	30	60	100	
5	B	3	Favorável à estabilidade	Moderada	Pouco adversa	Adversa	Muito adversa	0,45
			10	15	30	60	100	
6	B	2	Muito baixa >10m	Baixa 10 - 5m	Moderada 5 - 3m	Alta 3 - 1m	Muito alta <1m	1,2
			10	15	30	60	100	
7	B	2	Sem abertura	Muito baixa < 0,1	Moderada 0,1 - 1	Significativa 1 - 5	Muito significativa > 5	0,6
			0	15	30	60	100	
8	B	2	Inexistente	Muito duro	Duro	Macio	Muito macio	0,6
			0	15	30	60	100	
9	B	2	<H/2	<H/3	<H/6	<H/10	<H/20	1,2
			10	15	30	60	100	
10	B	4	Frete homogênea (rocha sã)	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H5	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H4	Homogênea mas com maciço alterado na parte superior > H3	Homogênea mas com maciço alterado em várias zonas > H3	0,8
			0	20	30	60	100	
11	B	2	>150	150 - 125	125 - 100	100 - 75	>75	0,6
			15	30	60	80	100	
12	C	1	Rara	Esparsa	Sazonal ligeira	Sazonal intensa	Muito intensa	0,3
			10	15	30	60	100	
13	C	2	Seco	Húmido	Molhado	Gotejante	Corrente	0,2
			10	15	30	60	100	
14	C	1	$\alpha < 0.14$	$0.14 < \alpha < 0.16$	$0.16 < \alpha < 0.24$	$0.24 < \alpha < 0.36$	$\alpha > 0.36$	0,1
			10	15	30	60	100	
15	C	1	Sem vegetação	Vegetação esparsa	Vegetação de pequeno porte (arbustos)	Vegetação esparsa com árvores de grande porte	Vegetação densa, incluindo árvores de grande porte	0,15
			10	15	30	60	100	
16	D	2	>10	10 - 6	6 - 3	3 - 1	< 1	1,2
			10	15	30	60	100	
17	D	3	Sem	Pequena quantidade de pedras nas banquetas	Grande quantidade de pedras nas banquetas	Blocos de dimensões apreciáveis (>1ton) nas banquetas	Quedas frequentes enórrias de pedras	0,45
			0	15	30	60	100	
18	D	2	Todos os tipos de estabilização permitidos	Maioria das estabilizações possíveis	Algumas estabilizações possíveis	Poucos tipos de estabilização exequíveis	Acesso muito difícil	0,3
			10	15	30	60	100	
19	D	5	Negligenciável: pouca presença humana ou atividades e estruturas	Baixa: áreas com pouca presença humana ou estruturas	Moderada: áreas com pouca presença humana mas com estruturas significativas	Alta: áreas com presença humana assídua e estruturas e actividades	Muito alta: com presença humana constante e estruturas e atividades importantes	1,5
			10	15	30	60	100	
20	D	4	Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco	Descontinuidades que se intersectam de forma suspeita	Blocos destacados no talude que se possam instabilizar	Presença de elementos destacados por alteração meteórica e descompressão	Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas	4
			10	15	30	60	100	
21	D	2	Face irregular com descontinuidades rugosas (a fricção reduz a aceleração)	Face irregular com descontinuidades planares e ressaltos	Face pouco irregular com muitas descontinuidades	Face suave e com descontinuidades	Face lisa com muitas descontinuidades	0,3
			10	15	30	60	100	

	ponderação		10		15	x	30		60		100		
22	Nº de blocos estimados em perigo no comprimento de talude considerado	4	0 - 1		1 - 3		3 - 6		6 - 10		>10	1,2	
	ponderação		10		30	x	60		100		100		
23	Altura de queda (m) (H = altura total do talude)	5	Quedas em pequenas áreas da frente do talude (H/5)		Quedas em pequenas a médias áreas do talude (2H/5)		Quedas em áreas médias da frente do talude (3H/5)		Quedas em médias a grandes áreas do talude (4H/5)		Quedas em toda a área da frente do talude (H)		1,5
	ponderação		10		15		30	x	60		100		
24	11. Massa dos blocos (m³)	4	<1		1 - 2,5		2,5 - 4		4 - 8		>8	0,6	
	ponderação		10		15	x	30		60		100		
25	Área afetada por cavidades, naturais ou antigas pedreiras	10	Sem	a>A/10; entulhada		a>A/5; entulhada		a>A/4; entulhada		a>A/3; entulhada ou não		10	
	ponderação		0		20		40		80		100	x	
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	6	Com medidas mais significativas implementadas	Com pregagens entre 3 e 6m, ancoragens ou redes pontuais		Com banquetas e pregagens <3m		Com banquetas de proteção		Sem medidas anteriores e risco aparente		1,8	
	ponderação		10		15		30	x	60		100		
27	Existência de caixas de falhas significativas	3	Não existem	Com 0 - 10cm e preenchimento consistente		Com 0 - 10cm e preenchimento pouco consistente		Com 10 - 20cm e preenchimento pouco consistente		Com a>20 e preenchimento inconsistente ou milonitizado		0,3	
	ponderação		10	x	15		30		60		100		
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas	8	Inexistente	Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m		Descolamento com significado a>10cm; l>2m		Descolamento múltiplo A<10cm; l>2m		Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m		2,4	
	ponderação		0		30	x	50		75		100		
Classificação final (máximo: 100)												45,55	

Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro	Avaliação Z1										Classificação (peso do fator) X (ponderação)		
		%													
1	Ângulo do talude (°)	8	<60		Baixo 60 -70			Médio 70 -80			Alto 75 -90		Muito alto >90 numa dimensão> H5		8
			20	40	60	80	100	x							
2	Altura do talude (m)	12	<25		25 - 30			30 - 35			35 - 40		>40		7,2
			20	40	60	x	80	100							
4	Nº de famílias de descontinuidades presentes	10	<2 - com orientações favoráveis		<3 - com orientações favoráveis			<4 - com orientações favoráveis			>4 - com orientação e espaçamento desfavorável		>5		3
			10	15	30	x	60	100							
9	Espaçamento médio das juntas no talude (H= altura do talude)	10	<H/10		<H/12			<H/16			<H/18		<H/20		6
			10	15	30	60	x	100							
20	Zonas da frente aparentemente instáveis	13	Sem sinais visíveis e/ou potênciais de risco		Presença de pedras destacadas nas banquetas			Blocos em destaque aparente no talude			Elementos destacados por alteração meteórica e/ou descompressão		Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas		13
			10	15	30	60	100	x							
25	Área da frente afetada por cavidades naturais ou antigas pedreiras	12	Sem		a>A/10; bem entulhada			a>A/6; bem entulhada ou sustida			a>A/4; entulhada ou sustida		a>A/3		9,6
			0	20	40	80	x	100							
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	15	Com medidas mais significativas implementadas; sem risco aparente		Com pregagens entre superiores a 6m, ancoragens ou redes pontuais			Com banquetas de proteção e pregagens <6m			Com banquetas de proteção e pregagens <3m		Sem medidas anteriores e risco aparente		15
			10	15	30	60	100	x							
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas	20	Inexistente		Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m-, sem blocos aparentemente destacáveis			Descolamento com significado a>10cm; l>2m; sem blocos destacáveis			Descolamento múltiplo a<10cm; l>2m; blocos com potencial para destaque		Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m; com blocos em risco aparente de destaque eminente		6
			0	30	x	50	75	100							
Classificação final (máximo: 100)												67,8			

Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro	Avaliação Z2										Classificação (peso do fator) X (ponderação)		
		%													
1	Ângulo do talude (°)	8	<60		Baixo 60 -70			Médio 70 -80			Alto 75 -90		Muito alto >90 numa dimensão> H5		1,6
			20	x	40		60		80		100				
2	Altura do talude (m)	12	<25		25 - 30			30 - 35			35 - 40		>40		7,2
			20		40		60	x	80		100				
4	Nº de famílias de descontinuidades presentes	10	<3 - com orientações favoráveis		>3 - com orientações favoráveis			>4 - com orientação favorável		>4 - com orientação e espaçamento desfavorável			>5		1,5
			10		15	x	30		60		100				
9	Espaçamento médio das juntas no talude (H= altura do talude)	10	<H/10		<H/12			<H/16			<H/18		<H/20		3
			10		15		30	x	60		100				
20	Zonas da frente aparentemente instáveis	13	Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco		Presença de pedras destacadas nas banquetas			Blocos em destaque aparente no talude		Elementos destacados por alteração meteórica e/ou descompressão		Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas			3,9
			10		15		30	x	60		100				
25	Área da frente afetada por cavidades naturais ou antigas pedreiras	12	Com influência lateral de outras cavidades		a>A/10; bem entulhada			a>A/6; bem entulhada ou sustida		a>A/4; entulhada ou sustida		a>A/3			1,2
			10	x	20		40		80		100	x			
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	15	Com medidas mais significativas implementadas; sem risco aparente		Com pregagens entre superiores a 6m, ancoragens ou redes pontuais			Com banquetas de proteção e pregagens <6m		Com banquetas de proteção e pregagens <3m		Sem medidas anteriores e risco aparente			4,5
			10		15		30	x	60		100				
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas	20	Inexistente		Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m-, sem blocos aparentemente destacáveis			Descolamento com significado a>10cm; l>2m; sem blocos destacáveis		Descolamento múltiplo a<10cm; l>2m; blocos com potencial para destaque		Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m; com blocos em risco aparente de destaque eminente			6
			0		30	x	50		75		100				
Classificação final (máximo: 100)												28,9			

Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro	Avaliação Z3										Classificação (peso do fator) X (ponderação)		
		%													
1	Ângulo do talude (°)	8	<60		Baixo 60 -70			Médio 70 -80			Alto 75 -90		Muito alto >90 numa dimensão> H5		8
			20	40	60	80	100	x							
2	Altura do talude (m)	12	<25		25 - 30			30 - 35			35 - 40		>40		7,2
			20	40	60	x	80	100							
4	Nº de famílias de descontinuidades presentes	10	<2 - com orientações favoráveis		<3 - com orientações favoráveis			<4 - com orientações favoráveis			>4 - com orientação e espaçamento desfavorável		>5		3
			10	15	30	x	60	100							
9	Espaçamento médio das juntas no talude (H= altura do talude)	10	<H/10		<H/12			<H/16			<H/18		<H/20		6
			10	15	30	60	x	100							
20	Zonas da frente aparentemente instáveis	13	Sem sinais visíveis e/ou potênciais de risco		Presença de pedras destacadas nas banquetas			Blocos em destaque aparente no talude			Elementos destacados por alteração meteórica e/ou descompressão		Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas		13
			10	15	30	60	100	x							
25	Área da frente afetada por cavidades naturais ou antigas pedreiras	12	Sem		a>A/10; bem entulhada			a>A/6; bem entulhada ou sustida			a>A/4; entulhada ou sustida		a>A/3		12
			0	20	40	80	100	x							
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	15	Com medidas mais significativas implementadas; sem risco aparente		Com pregagens entre superiores a 6m, ancoragens ou redes pontuais			Com banquetas de proteção e pregagens <6m			Com banquetas de proteção e pregagens <3m		Sem medidas anteriores e risco aparente		9
			10	15	30	60	x	100							
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas	20	Inexistente		Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m-, sem blocos aparentemente destacáveis			Descolamento com significado a>10cm; l>2m; sem blocos destacáveis			Descolamento múltiplo a<10cm; l>2m; blocos com potencial para destaque		Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m; com blocos em risco aparente de destaque eminente		0
			0	x	30	50	75	100							
Classificação final (máximo: 100)												58,2			

Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro	Avaliação Z4										Classificação (peso do fator) X (ponderação)
		%											
1	Ângulo do talude (°)	8	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <60 Baixo 60 -70 Médio 70 -80 Alto 75 -90 Muito alto >90 numa dimensão> H5 </div>										3,2
			20	40	x	60	80	100					
2	Altura do talude (m)	12	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <25 25 - 30 30 - 35 35 - 40 >40 </div>										7,2
			20	40	60	x	80	100					
4	Nº de famílias de descontinuidades presentes	10	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <3 - com orientações favoráveis >3 - com orientações favoráveis >4 - com orientação favorável >4 - com orientação e espaçamento desfavorável >5 </div>										1,5
			10	15	x	30	60	100					
9	Espaçamento médio das juntas no talude (H= altura do talude)	10	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <H/10 <H/12 <H/16 <H/18 <H/20 </div>										3
			10	15	30	x	60	100					
20	Zonas da frente aparentemente instáveis	13	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco Presença de pedras destacadas nas banquetas Blocos em destaque aparente no talude Elementos destacados por alteração meteórica e/ou descompressão Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas </div>										3,9
			10	15	30	x	60	100					
25	Área da frente afetada por cavidades naturais ou antigas pedreiras	12	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Com influência lateral de outras cavidades a>A/10; bem entulhada a>A/6; bem entulhada ou sustida a>A/4; entulhada ou sustida a>A/3 </div>										1,2
			10	x	20	40	80	100	x				
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	15	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Com medidas mais significativas implementadas; sem risco aparente Com pregagens entre superiores a 6m, ancoragens ou redes pontuais Com banquetas de proteção e pregagens <6m Com banquetas de proteção e pregagens <3m Sem medidas anteriores e risco aparente </div>										2,25
			10	15	x	30	60	100					
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas	20	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Inexistente Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m-, sem blocos aparentemente destacáveis Descolamento com significado a>10cm; l>2m; sem blocos destacáveis Descolamento múltiplo a<10cm; l>2m; blocos com potencial para destaque Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m; com blocos em risco aparente de destaque eminente </div>										6
			0	30	x	50	75	100					
Classificação final (máximo: 100)											28,25		

Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro	Avaliação Z5										Classificação (peso do fator) X (ponderação)		
		%													
1	Ângulo do talude (°)	8	<60		Baixo 60 -70			Médio 70 -80			Alto 75 -90		Muito alto >90 numa dimensão> H5		8
			20	40	60	80	100	x							
2	Altura do talude (m)	12	<25		25 - 30			30 - 35			35 - 40		>40		7,2
			20	40	60	x	80	100							
4	Nº de famílias de descontinuidades presentes	10	<2 - com orientações favoráveis		<3 - com orientações favoráveis			<4 - com orientações favoráveis			>4 - com orientação e espaçamento desfavorável		>5		3
			10	15	30	x	60	100							
9	Espaçamento médio das juntas no talude (H= altura do talude)	10	<H/10		<H/12			<H/16			<H/18		<H/20		6
			10	15	30	60	x	100							
20	Zonas da frente aparentemente instáveis	13	Sem sinais visíveis e/ou potênciais de risco		Presença de pedras destacadas nas banquetas			Blocos em destaque aparente no talude			Elementos destacados por alteração meteórica e/ou descompressão		Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas		13
			10	15	30	60	100	x							
25	Área da frente afetada por cavidades naturais ou antigas pedreiras	12	Sem		a>A/10; bem entulhada			a>A/6; bem entulhada ou sustida			a>A/4; entulhada ou sustida		a>A/3		9,6
			0	20	40	80	x	100							
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	15	Com medidas mais significativas implementadas; sem risco aparente		Com pregagens entre superiores a 6m, ancoragens ou redes pontuais			Com banquetas de proteção e pregagens <6m			Com banquetas de proteção e pregagens <3m		Sem medidas anteriores e risco aparente		9
			10	15	30	60	x	100							
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas	20	Inexistente		Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m-, sem blocos aparentemente destacáveis			Descolamento com significado a>10cm; l>2m; sem blocos destacáveis			Descolamento múltiplo a<10cm; l>2m; blocos com potencial para destaque		Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m; com blocos em risco aparente de destaque eminente		0
			0	x	30	50	75	100							
Classificação final (máximo: 100)												55,8			

Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro %	Avaliação Z6										Classificação (peso do fator) X (ponderação)		
1	Ângulo do talude (°)	8	<60		Baixo 60 -70			Médio 70 -80			Alto 75 -90		Muito alto >90 numa dimensão> H5		3,2
			20		40	x	60		80		100				
2	Altura do talude (m)	12	<25		25 - 30			30 - 35			35 - 40		>40		7,2
			20		40		60	x	80		100				
4	Nº de famílias de descontinuidades presentes	10	<3 - com orientações favoráveis		>3 - com orientações favoráveis			>4 - com orientação favorável		>4 - com orientação e espaçamento desfavorável			>5		3
			10		15		30	x	60		100				
9	Espaçamento médio das juntas no talude (H= altura do talude)	10	<H/10		<H/12			<H/16			<H/18		<H/20		3
			10		15		30	x	60		100				
20	Zonas da frente aparentemente instáveis	13	Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco		Presença de pedras destacadas nas banquetas			Blocos em destaque aparente no talude		Elementos destacados por alteração meteórica e/ou descompressão		Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas			1,95
			10		15	x	30		60		100				
25	Área da frente afetada por cavidades naturais ou antigas pedreiras	12	Com influência lateral de outras cavidades		a>A/10; bem entulhada			a>A/6; bem entulhada ou sustida		a>A/4; entulhada ou sustida		a>A/3			1,2
			10	x	20		40		80		100	x			
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	15	Com medidas mais significativas implementadas; sem risco aparente		Com pregagens entre superiores a 6m, ancoragens ou redes pontuais			Com banquetas de proteção e pregagens <6m		Com banquetas de proteção e pregagens <3m		Sem medidas anteriores e risco aparente			2,25
			10		15	x	30		60		100				
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas	20	Inexistente		Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m-, sem blocos aparentemente destacáveis			Descolamento com significado a>10cm; l>2m; sem blocos destacáveis		Descolamento múltiplo a<10cm; l>2m; blocos com potencial para destaque		Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m; com blocos em risco aparente de destaque eminente			6
			0		30	x	50		75		100				
Classificação final (máximo: 100)												27,8			

Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro	Avaliação Z7										Classificação (peso do fator) X (ponderação)		
		%													
1	Ângulo do talude (°)	8	<60		Baixo 60 -70			Médio 70 -80			Alto 75 -90		Muito alto >90 numa dimensão> H5		8
			20	40	60	80	100	x							
2	Altura do talude (m)	12	<25		25 - 30			30 - 35			35 - 40		>40		7,2
			20	40	60	x	80	100							
4	Nº de famílias de descontinuidades presentes	10	<2 - com orientações favoráveis		<3 - com orientações favoráveis			<4 - com orientações favoráveis			>4 - com orientação e espaçamento desfavorável		>5		6
			10	15	30	60	x	100							
9	Espaçamento médio das juntas no talude (H= altura do talude)	10	<H/10		<H/12			<H/16			<H/18		<H/20		3
			10	15	30	x	60	100							
20	Zonas da frente aparentemente instáveis	13	Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco		Presença de pedras destacadas nas banquetas			Blocos em destaque aparente no talude			Elementos destacados por alteração meteórica e/ou descompressão		Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas		13
			10	15	30	60	100	x							
25	Área da frente afetada por cavidades naturais ou antigas pedreiras	12	Sem		a>A/10; bem entulhada			a>A/6; bem entulhada ou sustida			a>A/4; entulhada ou sustida		a>A/3		12
			0	20	40	80	100	x							
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	15	Com medidas mais significativas implementadas; sem risco aparente		Com pregagens entre superiores a 6m, ancoragens ou redes pontuais			Com banquetas de proteção e pregagens <6m			Com banquetas de proteção e pregagens <3m		Sem medidas anteriores e risco aparente		9
			10	15	30	60	x	100							
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas	20	Inexistente		Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m-, sem blocos aparentemente destacáveis			Descolamento com significado a>10cm; l>2m; sem blocos destacáveis			Descolamento múltiplo a<10cm; l>2m; blocos com potencial para destaque		Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m; com blocos em risco aparente de destaque eminente		6
			0	30	x	50	75	100							
Classificação final (máximo: 100)												64,2			

Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro %	Avaliação Z8										Classificação (peso do fator) X (ponderação)		
1	Ângulo do talude (°)	8	<60		Baixo 60 -70			Médio 70 -80			Alto 75 -90		Muito alto >90 numa dimensão> H5		3,2
			20		40	x	60		80		100				
2	Altura do talude (m)	12	<25		25 - 30			30 - 35			35 - 40		>40		9,6
			20		40		60		80	x	100				
4	Nº de famílias de descontinuidades presentes	10	<3 - com orientações favoráveis		>3 - com orientações favoráveis			>4 - com orientação favorável		>4 - com orientação e espaçamento desfavorável			>5		3
			10		15		30	x	60		100				
9	Espaçamento médio das juntas no talude (H= altura do talude)	10	<H/10		<H/12			<H/16			<H/18		<H/20		3
			10		15		30	x	60		100				
20	Zonas da frente aparentemente instáveis	13	Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco		Presença de pedras destacadas nas banquetas			Blocos em destaque aparente no talude		Elementos destacados por alteração meteórica e/ou descompressão		Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas			1,95
			10		15	x	30		60		100				
25	Área da frente afetada por cavidades naturais ou antigas pedreiras	12	Com influência lateral de outras cavidades		a>A/10; bem entulhada			a>A/6; bem entulhada ou sustida		a>A/4; entulhada ou sustida		a>A/3			1,2
			10	x	20		40		80		100	x			
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	15	Com medidas mais significativas implementadas; sem risco aparente		Com pregagens entre superiores a 6m, ancoragens ou redes pontuais			Com banquetas de proteção e pregagens <6m		Com banquetas de proteção e pregagens <3m		Sem medidas anteriores e risco aparente			4,5
			10		15		30	x	60		100				
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas	20	Inexistente		Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m-, sem blocos aparentemente destacáveis			Descolamento com significado a>10cm; l>2m; sem blocos destacáveis		Descolamento múltiplo a<10cm; l>2m; blocos com potencial para destaque		Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m; com blocos em risco aparente de destaque eminente			10
			0		30		50	x	75		100				
Classificação final (máximo: 100)												36,45			

Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro	Avaliação Z9										Classificação (peso do fator) X (ponderação)		
		%													
1	Ângulo do talude (°)	8	<60		Baixo 60 -70			Médio 70 -80			Alto 75 -90		Muito alto >90 numa dimensão> H5		8
			20	40	60	80	100	x							
2	Altura do talude (m)	12	<25		25 - 30			30 - 35			35 - 40		>40		9,6
			20	40	60	80	100	x							
4	Nº de famílias de descontinuidades presentes	10	<2 - com orientações favoráveis		<3 - com orientações favoráveis			<4 - com orientações favoráveis			>4 - com orientação e espaçamento desfavorável		>5		3
			10	15	30	60	100	x							
9	Espaçamento médio das juntas no talude (H= altura do talude)	10	<H/10		<H/12			<H/16			<H/18		<H/20		1,5
			10	15	30	60	100	x							
20	Zonas da frente aparentemente instáveis	13	Sem sinais visíveis e/ou potênciais de risco		Presença de pedras destacadas nas banquetas			Blocos em destaque aparente no talude			Elementos destacados por alteração meteórica e/ou descompressão		Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas		13
			10	15	30	60	100	x							
25	Área da frente afetada por cavidades naturais ou antigas pedreiras	12	Sem		a>A/10; bem entulhada			a>A/6; bem entulhada ou sustida			a>A/4; entulhada ou sustida		a>A/3		12
			0	20	40	80	100	x							
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	15	Com medidas mais significativas implementadas; sem risco aparente		Com pregagens entre superiores a 6m, ancoragens ou redes pontuais			Com banquetas de proteção e pregagens <6m			Com banquetas de proteção e pregagens <3m		Sem medidas anteriores e risco aparente		9
			10	15	30	60	100	x							
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas	20	Inexistente		Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m-, sem blocos aparentemente destacáveis			Descolamento com significado a>10cm; l>2m; sem blocos destacáveis			Descolamento múltiplo a<10cm; l>2m; blocos com potencial para destaque		Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m; com blocos em risco aparente de destaque eminente		15
			0	30	50	75	100	x							
Classificação final (máximo: 100)												71,1			

Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro	Avaliação Z10										Classificação (peso do fator) X (ponderação)		
		%													
1	Ângulo do talude (°)	8	<60		Baixo 60 -70			Médio 70 -80			Alto 75 -90		Muito alto >90 numa dimensão> H5		3,2
			20		40	x	60		80		100				
2	Altura do talude (m)	12	<25		25 - 30			30 - 35			35 - 40		>40		9,6
			20		40		60		80	x	100				
4	Nº de famílias de descontinuidades presentes	10	<3 - com orientações favoráveis		>3 - com orientações favoráveis			>4 - com orientação favorável		>4 - com orientação e espaçamento desfavorável			>5		3
			10		15		30	x	60		100				
9	Espaçamento médio das juntas no talude (H= altura do talude)	10	<H/10		<H/12			<H/16			<H/18		<H/20		3
			10		15		30	x	60		100				
20	Zonas da frente aparentemente instáveis	13	Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco		Presença de pedras destacadas nas banquetas			Blocos em destaque aparente no talude		Elementos destacados por alteração meteórica e/ou descompressão		Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas			7,8
			10		15		30		60	x	100				
25	Área da frente afetada por cavidades naturais ou antigas pedreiras	12	Com influência lateral de outras cavidades		a>A/10; bem entulhada			a>A/6; bem entulhada ou sustida		a>A/4; entulhada ou sustida		a>A/3			1,2
			10	x	20		40		80		100	x			
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	15	Com medidas mais significativas implementadas; sem risco aparente		Com pregagens entre superiores a 6m, ancoragens ou redes pontuais			Com banquetas de proteção e pregagens <6m		Com banquetas de proteção e pregagens <3m		Sem medidas anteriores e risco aparente			4,5
			10		15		30	x	60		100				
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas	20	Inexistente		Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m-, sem blocos aparentemente destacáveis			Descolamento com significado a>10cm; l>2m; sem blocos destacáveis		Descolamento múltiplo a<10cm; l>2m; blocos com potencial para destaque		Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m; com blocos em risco aparente de destaque eminente			10
			0		30		50	x	75		100				
Classificação final (máximo: 100)												42,3			

Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro	Avaliação Z11										Classificação (peso do fator) X (ponderação)
		%											
1	Ângulo do talude (°)	8	<60		Baixo 60 -70		Médio 70 -80		Alto 75 -90		Muito alto >90 numa dimensão> H5		8
			20	40	60	80	100	x					
2	Altura do talude (m)	12	<25		25 - 30		30 - 35		35 - 40		>40		9,6
			20	40	60	80	100	x					
4	Nº de famílias de descontinuidades presentes	10	<2 - com orientações favoráveis		<3 - com orientações favoráveis		<4 - com orientações favoráveis		>4 - com orientação e espaçamento desfavorável		>5		1,5
			10	15	30	60	100	x					
9	Espaçamento médio das juntas no talude (H= altura do talude)	10	<H/10		<H/12		<H/16		<H/18		<H/20		3
			10	15	30	60	100	x					
20	Zonas da frente aparentemente instáveis	13	Sem sinais visíveis e/ou potênciais de risco		Presença de pedras destacadas nas banquetas		Blocos em destaque aparente no talude		Elementos destacados por alteração meteórica e/ou descompressão		Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas		13
			10	15	30	60	100	x					
25	Área da frente afetada por cavidades naturais ou antigas pedreiras	12	Sem		a>A/10; bem entulhada		a>A/6; bem entulhada ou sustida		a>A/4; entulhada ou sustida		a>A/3		9,6
			0	20	40	80	100	x					
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	15	Com medidas mais significativas implementadas; sem risco aparente		Com pregagens superiores a 6m, ancoragens ou redes pontuais		Com banquetas de proteção e pregagens <6m		Com banquetas de proteção e pregagens <3m		Sem medidas anteriores e risco aparente		2,25
			10	15	30	60	100	x					
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas	20	Inexistente		Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m-, sem blocos aparentemente destacáveis		Descolamento com significado a>10cm; l>2m; sem blocos destacáveis		Descolamento múltiplo a<10cm; l>2m; blocos com potencial para destaque		Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m; com blocos em risco aparente de destaque eminente		15
			0	30	50	75	100	x					
Classificação final (máximo: 100)												61,95	

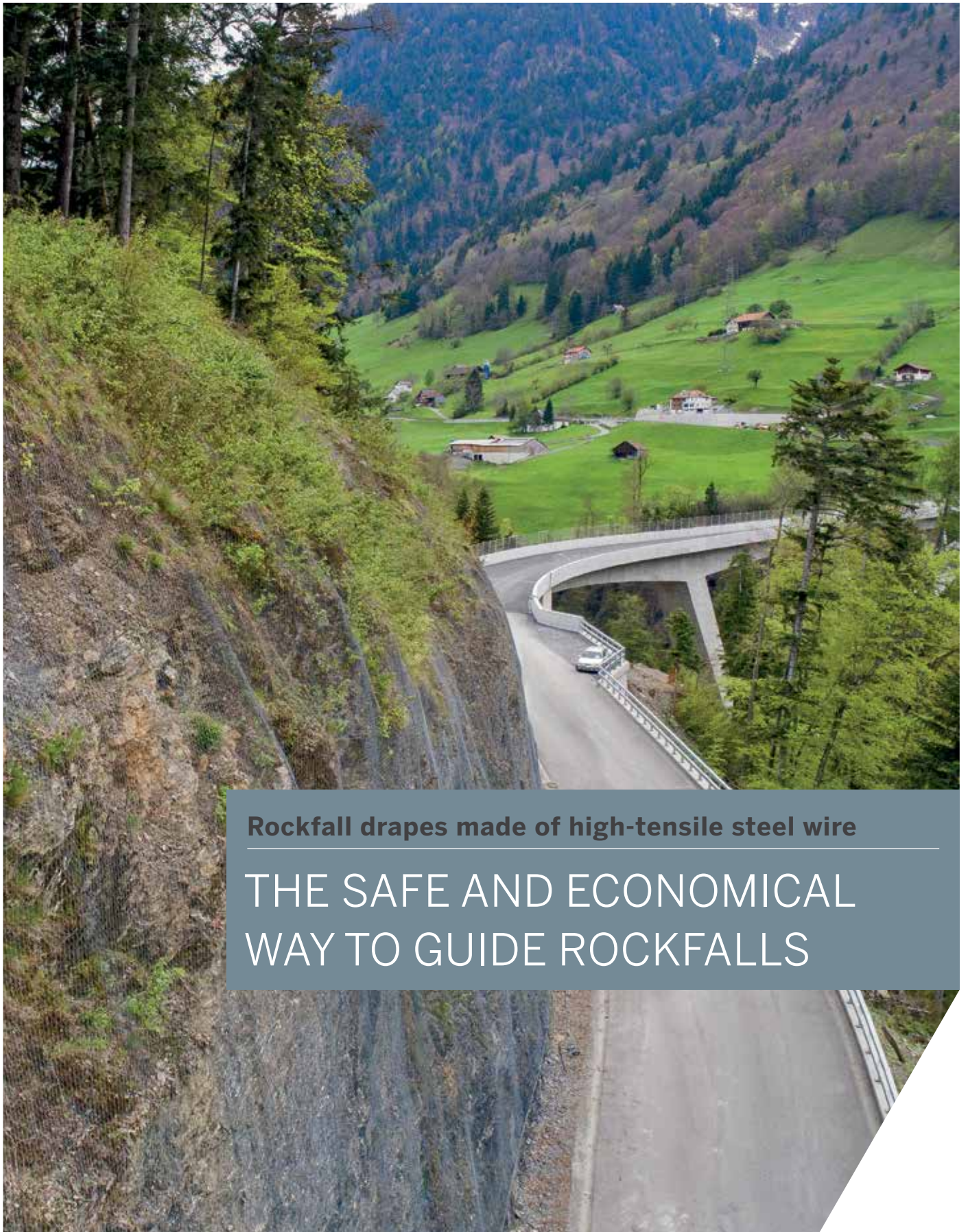
Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro %	Avaliação Z12										Classificação (peso do fator) X (ponderação)		
1	Ângulo do talude (°)	8	<60		Baixo 60 -70			Médio 70 -80			Alto 75 -90		Muito alto >90 numa dimensão> H5		3,2
			20		40	x	60		80		100				
2	Altura do talude (m)	12	<25		25 - 30			30 - 35			35 - 40		>40		9,6
			20		40		60		80	x	100				
4	Nº de famílias de descontinuidades presentes	10	<3 - com orientações favoráveis		>3 - com orientações favoráveis			>4 - com orientação favorável		>4 - com orientação e espaçamento desfavorável			>5		6
			10		15		30		60	x	100				
9	Espaçamento médio das juntas no talude (H= altura do talude)	10	<H/10		<H/12			<H/16			<H/18		<H/20		3
			10		15		30	x	60		100				
20	Zonas da frente aparentemente instáveis	13	Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco		Presença de pedras destacadas nas banquetas			Blocos em destaque aparente no talude		Elementos destacados por alteração meteórica e/ou decompressão		Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas			7,8
			10		15		30		60	x	100				
25	Área da frente afetada por cavidades naturais ou antigas pedreiras	12	Com influência lateral de outras cavidades		a>A/10; bem entulhada			a>A/6; bem entulhada ou sustida		a>A/4; entulhada ou sustida		a>A/3			1,2
			10	x	20		40		80		100	x			
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	15	Com medidas mais significativas implementadas; sem risco aparente		Com pregagens entre superiores a 6m, ancoragens ou redes pontuais			Com banquetas de proteção e pregagens <6m		Com banquetas de proteção e pregagens <3m		Sem medidas anteriores e risco aparente			4,5
			10		15		30	x	60		100				
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas	20	Inexistente		Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m-, sem blocos aparentemente destacáveis			Descolamento com significado a>10cm; l>2m; sem blocos destacáveis		Descolamento múltiplo a<10cm; l>2m; blocos com potencial para destaque		Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m; com blocos em risco aparente de destaque eminente			15
			0		30		50		75	x	100				
Classificação final (máximo: 100)												50,3			

Parâmetro	Categoria	Peso do parâmetro	Avaliação Z13										Classificação (peso do fator) X (ponderação)
		%											
1	Ângulo do talude (°)	8	<60		Baixo 60 -70		Médio 70 -80		Alto 75 -90		Muito alto >90 numa dimensão> H5		8
			20	40	60	80	100	x					
2	Altura do talude (m)	12	<25		25 - 30		30 - 35		35 - 40		>40		9,6
			20	40	60	80	100	x					
4	Nº de famílias de descontinuidades presentes	10	<2 - com orientações favoráveis		<3 - com orientações favoráveis		<4 - com orientações favoráveis		>4 - com orientação e espaçamento desfavorável		>5		3
			10	15	30	60	100	x					
9	Espaçamento médio das juntas no talude (H= altura do talude)	10	<H/10		<H/12		<H/16		<H/18		<H/20		3
			10	15	30	60	100	x					
20	Zonas da frente aparentemente instáveis	13	Sem sinais visíveis e/ou potenciais de risco		Presença de pedras destacadas nas banquetas		Blocos em destaque aparente no talude		Elementos destacados por alteração meteórica e/ou descompressão		Conjunção dos anteriores com cavidades de minas antigas		13
			10	15	30	60	100	x					
25	Área da frente afetada por cavidades naturais ou antigas pedreiras	12	Sem		a>A/10; bem entulhada		a>A/6; bem entulhada ou sustida		a>A/4; entulhada ou sustida		a>A/3		12
			0	20	40	80	100	x					
26	Existência de medidas de mitigação implementadas	15	Com medidas mais significativas implementadas; sem risco aparente		Com pregagens superiores a 6m, ancoragens ou redes pontuais		Com banquetas de proteção e pregagens <6m		Com banquetas de proteção e pregagens <3m		Sem medidas anteriores e risco aparente		2,25
			10	15	30	60	100	x					
28	"Descolamento" existente sobre zonas já exploradas	20	Inexistente		Descolamento simples e ligeiro a<10cm; l<2m-, sem blocos aparentemente destacáveis		Descolamento com significado a>10cm; l>2m; sem blocos destacáveis		Descolamento múltiplo a<10cm; l>2m; blocos com potencial para destaque		Descolamento grave: múltiplo e a>10cm; l>2m; com blocos em risco aparente de destaque eminente		15
			0	30	50	75	100	x					
Classificação final (máximo: 100)												65,85	

(página propositadamente em branco)

ANEXO 10

Redes de aço



Rockfall drapes made of high-tensile steel wire

**THE SAFE AND ECONOMICAL
WAY TO GUIDE ROCKFALLS**



FOR THE MOST IMPORTANT THING IN LIFE: OUR SAFETY

Wherever roads, railway lines or other infrastructures need to be protected against rockfall our drapes made from high-tensile steel wire nets are a perfect economical solution. They allow rockfalls to be controlled and guided into the deposition zones.

WE CAN PROVIDE YOU WITH THE COMPLETE SAFETY PACKAGE.

At your request we can take on the role of **consultant, planner** and even **project manager**. Both the solutions we offer and the quality of our service is valued by our customers. For us excellent service is an integral part of every single project. No matter which phase of the project you are in, we will provide you with the support and expertise required to achieve the best results – saving you both time and money.

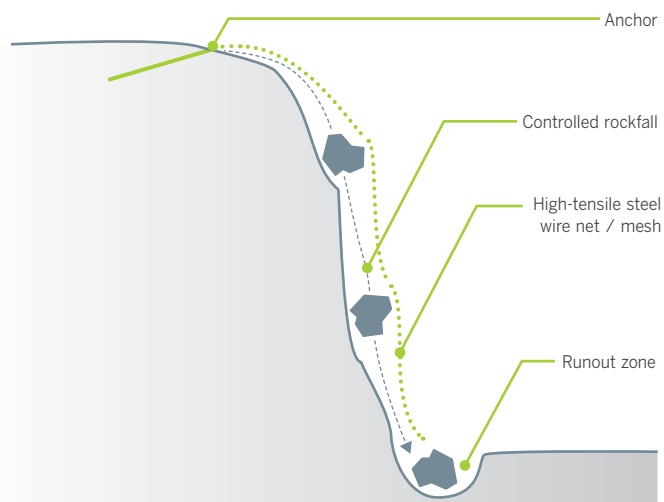


HIGH EFFICIENCY – RELIABLE SAFETY.

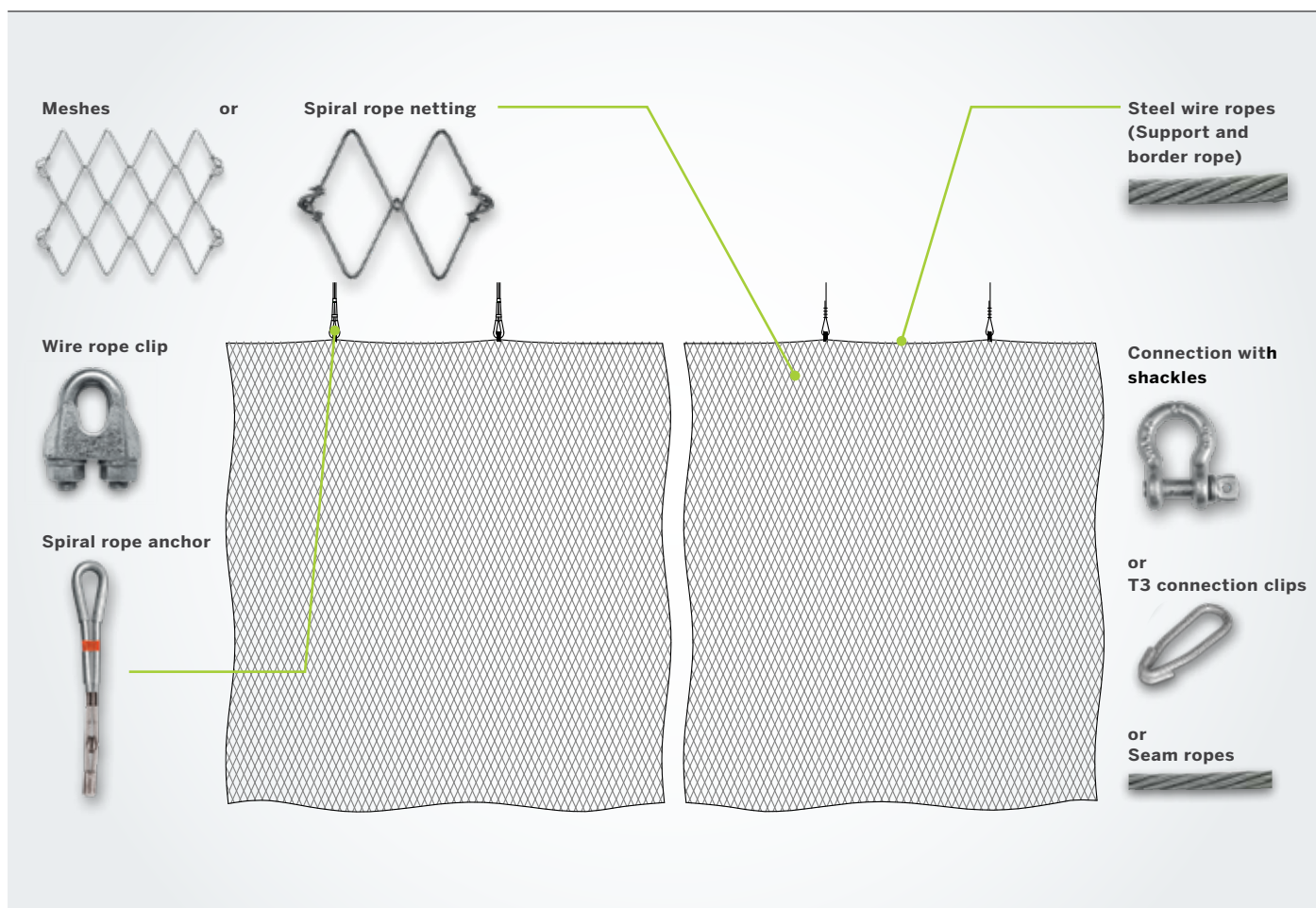
Controlled rockfall for even very high slopes

Over the crest of the rock face spiral rope anchors are used to fix the support rope. For example TECCO® or SPIDER® panels are connected to the support rope and hung over the rock slope. Rockfall events are controlled underneath the durable mesh and are safely and reliably guided into the designated runout zones.

Depending on local conditions our TECCO® rockfall drape is suitable for rock slopes up to a height of more than 100 m and incidents of several cubic metres. All mesh types are made from high-tensile steel wire with a strength of 1770 N/mm² offering the required resistance and flexibility.



Basic components of Geobrugg rockfall drapes



QUALITY YOU CAN RELY ON.

Our flexible meshes and nets made out of high-tensile steel wire are the ideal products for rockfall drapes. The wire is extremely durable against mechanical stress, while at the same time the mesh is sufficiently flexible to absorb impacts. These properties allow the mesh to be hit by falling rocks without any serious damages.

Geobrugg rockfall drapes provide the following features:



High-tensile steel wire

Durable thanks to high resistance: Our nets and meshes have a wire tensile-strength of over 1770 N/mm² and can withstand high dynamic loads without big deformation.



Full system tested

The performance and behavior of the rockfall drape can be fully calculated with all its components, as it has been extensively tested as a complete system.



Matching mesh to the rockfall intensity

Optimum cost/performance ratio, as the required protection can be achieved with different netting such as with TECCO® meshes whose small aperture means no secondary mesh is required.



Easy installation

Our meshes and nets have an excellent strength to weight ratio and are easy to transport. They allow easy unrolling for a quick and simple installation. Even high slopes/faces are protected with minimal impact to the natural environment and minimal carbon footprint.



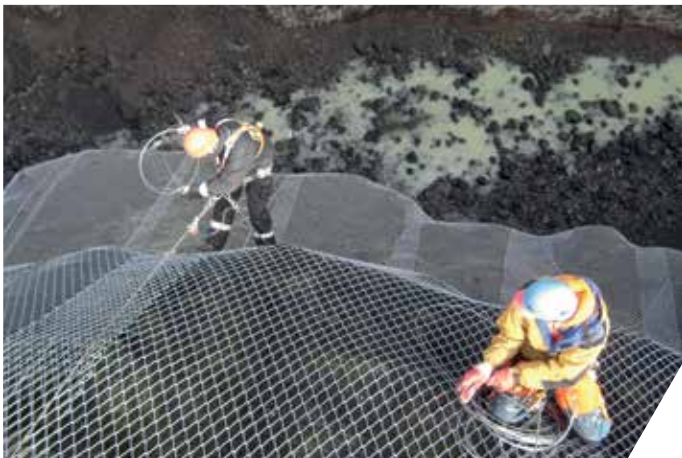
Corrosion protection

Our systems are designed to last for generations and require very little maintenance. For particularly demanding environments we offer our products also in stainless steel.

WE DON'T LEAVE SAFETY TO CHANCE.

Field and laboratory tests provide the basis for a safe dimensioning and design, which in turn ensures the expected behavior of the solution.

PROVEN RELIABILITY WORLDWIDE.



Find more information on:
www.geobruigg.com



Your local Geobruigg specialist:
www.geobruigg.com/contacts

Geobruigg AG
Aachstrasse 11 | 8590 Romanshorn | Switzerland
www.geobruigg.com

A company of the BRUGG Group
ISO 9001 certified