



Proposta de plano de lavra para exploração de rocha ornamental. Caso de estudo: Arronches

DAVID VIEIRA MARÇAL

Outubro de 2017



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA



Proposta de plano de lavra para exploração de rocha ornamental. Caso de estudo: Arronches

David Vieira Marçal



isep Instituto Superior de Engenharia do Porto

P. PORTO

2017

(página propositadamente em branco)



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

**Proposta de plano de lavra para exploração de rocha
ornamental. Caso de estudo: Arronches**

David Vieira Marçal

1121202

*Dissertação apresentada 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 José Augusto de Abreu Peixoto Fernandes, Professor Coordenador do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP e co-orientação do Engenheiro Luís Carlos Ramos, Assistente Convidado do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.*

(página propositadamente em branco)

Dedico esta Dissertação:

A meus Pais...

(página propositadamente em branco)

Agradecimentos

São devidos agradecimentos aos meus orientadores, a todos os docentes do Departamento de Engenharia Geotécnica, aos meus Pais por todo o sacrifício que fizeram e aos amigos de Curso por toda a ajuda que me deram. Contudo, deixo uma palavra especial de apreço:

Ao meu orientador, Professor José Augusto Fernandes (ISEP) pela disponibilidade em orientar a minha dissertação, assim como o apoio e ajuda prestada durante esta fase.

Ao meu co-orientador, Engenheiro Luís Ramos (ISEP e ELEVO), pelo contributo para a realização desta dissertação.

À empresa ELEVO Agregados SA pela cedência de informação relativa ao caso de estudo que aqui apresento.

Ao Professor João M. D. Coelho (FCUP), pela ajuda prestada no manuseamento do *software* utilizado neste trabalho.

(página propositadamente em branco)

Palavras-chave

Rocha ornamental, bloco unitário, fio diamantado, modelo 3D.

Resumo

Este trabalho centra-se numa sugestão de conversão de uma pedreira de rocha industrial numa pedreira de rocha ornamental, inserida no maciço rochoso de Arronches. Para isso é necessário proceder ao estudo do maciço rochoso, o qual foi realizado em três etapas: o trabalho de campo, os ensaios laboratoriais e o trabalho de gabinete. No trabalho de campo foram aplicadas técnicas de recolha de dados como a amostragem linear, foi utilizado o martelo de Schmidt e foram realizadas seis sondagens. Quanto aos ensaios laboratoriais foram realizados o ensaio de Los Angeles, micro-Deval e o ensaio petrográfico, entre outros. No trabalho de gabinete foi analisada a informação disponível de modo a perceber se o maciço em estudo é indicado para a exploração de rocha ornamental. Posteriormente à avaliação da qualidade do maciço, a qual se revelou com aptidão para a exploração da rocha ornamental procedeu-se ao estudo estrutural do maciço. Neste estudo foram analisadas as descontinuidades do maciço, estas foram organizadas em famílias e finalmente procedeu-se à elaboração do bloco unitário. Na fase final deste trabalho foi sugerido um plano de lavra para a pedreira de rocha industrial. No plano de lavra foi definido o sentido de desmonte, foram definidas as bancadas, escolhido o método de desmonte e calculados os tempos de desmonte e todos os recursos necessários desde o destaque do bloco principal até se obter o bloco de dimensões comerciais.

(página propositadamente em branco)

Keywords

Ornamental stone, block size, diamond wire, 3D model.

Abstract

This work focuses on a suggestion of conversion of an industrial rock quarry into an ornamental quarry, located in rock mass of Arronches. For this it is necessary to proceed to the study of the rocky mass, as well as the study of the rock mass was carried out in three stages: the field work, the laboratory tests and the desk studies. In the field work data collection techniques such as scanline sampling technique was applied, the Schmidt hammer was performed and six probes were performed. As for laboratory tests, the Los Angeles, micro-Deval test and the petrographic test were performed, among others. In the desk studies the available information was analyzed in order to suitably study the rock mass for the exploitation of ornamental stone. After the confirmation that the rock mass is suitable for the ornamental exploitation, the structural study of the rock mass was carried out. In this study, the discontinuities of the rock mass were analyzed, these were organized in family sets and finally the block size was elaborated. In the final phase of this work, an exploitation plan for the industrial rock quarry was suggested. In the exploitation plan the direction of exploration was defined, the number of benches were defined, the exploration method was chosen, and the cutting times and all the necessary resources were calculated from the cutting of the main block size until the block of commercial dimensions was obtained.

(página propositadamente em branco)

Índice

1. Introdução	2
2. Estado da Arte	4
2.1 Estudo do maciço	4
2.1.1 Amostragem linear	4
2.1.2 Fotografia área	5
2.1.3 Janela retangular	5
2.1.4 Janela circular	6
2.2 Ensaio de caracterização física, química e mecânica	13
2.2.1 Resistência à compressão	14
2.2.2 Resistência à flexão	15
2.2.3 Peso específico aparente e porosidade aberta	16
2.2.4 Absorção de água à pressão atmosférica	18
2.2.5 Ensaio de resistência ao envelhecimento por choque térmico	18
2.2.6 Ensaio da resistência ao desgaste	19
2.3 Blocometria	22
2.4 Desmonte de rocha ornamental	22
2.5 Furação	30
2.6 Derrube e esquadramento dos blocos	30
2.7 Explosivos	32
3. Caso de Estudo	38
3.1 Caracterização geológica do local de estudo	38
3.3 Análise e discussão dos resultados obtidos nos ensaios realizados	48
3.4 Avaliação de reservas com o software Rockware	54
3.4.1 Descrição do Programa	54
3.4.2 Cálculo das coordenadas	59
3.4.3 Prospecção em profundidade	62
3.4.5 Cálculo das Reservas	68
3.4.6 Definição das bancadas e do sentido de desmonte.	72
4 Proposta do plano de Lavra	75
4.1 Método de Desmonte	75
4.2 Desmatção	76
4.3 Desnudamento	76
4.4 Abertura das frentes de trabalho e valas	77
4.5 Desmonte da frente	77
4.6 Vida Útil	89
4.7 Cálculo das pilhas de rejeito	89
4.8 Recuperação Ambiental	90
4.8.1 Critério de selecção do método do método de recuperação ambiental	90

5. Conclusões.....	92
6. Bibliografia	95
7. Anexos	99

Índice de Figuras

Figura 1 - Tipos de prospecção	7
Figura 2 - Tipos de sondagens	9
Figura 3 - Perfuração por rotação (http://static.hsw.com.br/gif/oil-drilling-bit.jpg).....	10
Figura 4 - Trepano de botões (http://drillcenter.com.br/assets/catalogo//trepano_botao.jpg)	10
Figura 5 - Método de perfuração rotoperçussiva (Atlascopco, 2012).....	11
Figura 6 - Representação esquemática da sísmica de reflexão. (https://image.slidesharecdn.com/03aulamtodossismicos-150523223817-lva1-app6892/95/03-aula-mtodos-sismicos-11-638.jpg?cb=1432420755).....	12
Figura 7 - Representação esquemática do método eléctrico. (http://www.iag.usp.br/siae98/eletromag/eletrica.gif)	13
Figura 8 - Ensaio de resistência à compressão (Rebola, 2011).....	15
Figura 9 - Resistência a flexão sobre carga centrada (http://www.fiec.org.br/sindicatos/simagran/artigos_palestras/Curso_Caracterizacao_TecndeRochas_arquivos/image006.jpg).....	16
Figura 10 - Ensaio de peso específico aparente e da porosidade aberta (Rebola, 2011).....	17
Figura 11 - Ensaio de resistência ao envelhecimento por choque térmico (Rebola, 2011).	19
Figura 12 - Ensaio da resistência ao desgaste (Rebola, 2011).	20
Figura 13 - Métodos de desmonte de maciços rochosos.	23
Figura 14 - Fluxograma do processo de desmonte.....	24
Figura 15 - Máquina de fio diamantado. (https://i.ytimg.com/vi/0F4sWKsh4GE/hqdefault.jpg)	25
Figura 16 - Esquema de corte de uma máquina de fio helicoidal (MARINI QUARRIE GROUP, 2005).	25
Figura 17 - Lança térmica (Alencar, Caranassios e Carvalho, 1997).	26
Figura 18 - Jacto de água (Henriques,2009).	27
Figura 19 - Bloco primário (adaptado de Jimeno, 1996).	28
Figura 20 - Subdivisão do bloco principal (adaptado de Jimeno, 1996).	28
Figura 21 - Esquema de funcionamento de uma macaca hidráulica. (http://www.lneg.pt/download/3683/fig4.gif)	31
Figura 22 - Derrube de blocos com lança. (http://www.fravizel.pt/image.php?image=1401364717.jpg&max_width=860&max_height=600)	31
Figura 23 - Guilhos. (http://www.forestryforum.com/gallery/albums/userpics/14240/1560/dsc02004.jpg)	32
Figura 24 - Tipo de explosivos existentes.	33
Figura 25 - Esforços resultantes da colisão das ondas de choque geradas em furos adjacentes (Sousa, 2012).....	36
Figura 26 - Carta geológica de Portugal. (https://bgnaescola.files.wordpress.com/2010/02/carta_geologica_portugal1.jpg).....	38
Figura 27 - Carta Tectono-Estratigráfica de Portugal. (Lopes, 2009).....	39
Figura 28 Carta de intensidade sísmica (esquerda) e divisão do território por zonas de potencialidade sísmica (direita). (Lopes, 2009).....	40
Figura 29 - O Maciço Ígneo de Santa Eulália. Localização da área da pedreira “Herdade do Montinho”. Extraído de Carrilho Lopes et al.(1997)	41
Figura 30 - Localização das falhas a nível local (Lopes, 2009).	42
Figura 31 - Maciço espoado no local de estudo (Lopes, 2009).....	43
Figura 32 - Diagrama de rosetas e diagrama de contornos do perfil AB (Lopes, 2009).	44
Figura 33 - Bloco unitário.	45

Figura 34 - Realização do ensaio do martelo de Schmidt (Lopes, 2009).	46
Figura 35 - Ábaco de "Miller" com a projecção da dureza de Schimdt.	47
Figura 36 - Amostra de gabro.	49
Figura 37 - Dados relativos à localização da sondagem.	55
Figura 38 - Introdução do azimute e inclinação das sondagens.	55
Figura 39 - Introdução da informação relativamente à geologia.	55
Figura 40 - Organização da folha de cálculo para a introdução de dados.	56
Figura 41 - Como importar um ficheiro "Excel".	56
Figura 42 - Primeiro passo para a criação do modelo 3D.	56
Figura 43 - Segundo passo para a criação do modelo 3D.	57
Figura 44 - Terceiro passo para a criação do modelo 3D.	57
Figura 45 - Quarto passo para a criação do modelo 3D.	58
Figura 46 - Método "Isopach 3D".	59
Figura 47 - Desenho da pedreira realizado à escala 1:1000.	59
Figura 48 - Perfis do terreno com identificação das sondagens.	61
Figura 49 - Localização dos perfis dentro da área da pedreira.	62
Figura 50 Perfil AR1-AR6.	63
Figura 51 - Perfil AR2-AR4.	63
Figura 52 - Perfil AR5-AR3.	63
Figura 53 - Perfil AR6-AR5.	64
Figura 54 - Perfil AR3-AR2.	64
Figura 55 - Vista sudeste do modelo.	65
Figura 56 - Vista nordeste do modelo.	65
Figura 57 - Vista sudoeste do modelo.	66
Figura 58 - Vista noroeste do modelo.	66
Figura 59 - Modelo RQD superior a 75%.	67
Figura 60 - Volume de gabro que é possível extrair.	69
Figura 61 - Volume de rocha híbrida que é possível extrair.	69
Figura 62 - Volume de granito rosa que é possível extrair.	70
Figura 63 Blocos possíveis de extrair.	72
Figura 64 - Disposição das bancadas.	73
Figura - 65 Desmonte realizado com explosivo (à esquerda) versus desmonte feito com fio diamantado (à direita). https://storage.googleapis.com/mapio-net-pic/41264997.jpg https://www.gamineral.org/ft/2016/ft201601-12.jpg	75
Figura 66 - Área de exploração.	76
Figura 67 - Exemplo de locais onde podem ser abertas frentes e valas.	77
Figura 68 - Bancada B1.	78
Figura 69 - Bancada B2.	79
Figura 70 - Bancada B3.	80
Figura 71 - Bancada B4.	81
Figura 72 - Bancada B5.	82
Figura 73 - Bancada B6.	83
Figura 74 - Bancada B7.	84
Figura 75 - Bloco intermédio.	85
Figura 76 - Bloco comercial ou final.	87
Figura 77 - Lay-out da pedreira.	89

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens dos métodos de recolha de dados (Marçal, 2017).	6
Tabela 2 - Síntese das técnicas de prospecção directa (Marçal, 2017).	8
Tabela 3 - Ensaios de laboratório realizados para caracterização de rocha ornamental.	14
Tabela 4 - Ensaios realizados para obtenção de certificação CE.	22
Tabela 5 - Tabela resumo dos equipamentos de desmonte mecânicos (Marçal, 2017).	27
Tabela 6 - Características dos explosivos usados em desmonte de rocha ornamental (Sousa, 2012).	35
Tabela 7 Descontinuidades presentes no perfil A-B (Visa Consultores).	43

Tabela 8 - Famílias do maciço estudado.....	44
Tabela 9 - Tamanho dos blocos conforme o índice volumétrico (Vallejo, 2002).	45
Tabela 10 - Dureza de "Schimdt" segundo a ISRM (1978).....	48
Tabela 11- Valores da resistência à compressão. Referenciar a tabela no texto	50
Tabela 12 - Valores padrão de uma rocha ornamental	50
Tabela 13 - Tabela de importâncias das várias propriedades de acordo com as aplicações mias comuns.	51
Tabela 14 - Comparação dos valores padrão, para o gabrodiorítico, com os valores disponibilizados pelo LNEG.	53
Tabela 15 - Comparação dos valores da resistencia à compressão.	53
Tabela 16 - Comparação dos valores padrão, para o granito rosa, com os valores disponibilizados pelo LNEG.	53
Tabela 17 - Coordenadas das sondagens segundo o "datum" de Lisboa.....	60
Tabela 18 - Coordenadas das sondagens segundo o "datum" "WGS 84".	60
Tabela 19 - Massa e Volume das litologias.....	67
Tabela 20 Qualidade do maciço segundo o RQD.....	68
Tabela 21 - Tabela resumo sobre os volumes.	70
Tabela 22 - Percentagem de material utilizável e de rejeito.	71
Tabela 23 Tabela resumo sobre os volumes na área de exploração.	71
Tabela 24 - Tempos e consumos necessários para o destaque da bancada B1.	78
Tabela 25 Tempos e consumos necessários para o destaque da bancada B2.	79
Tabela 26 - Tempos e consumos necessários para o destaque da bancada B3.	80
Tabela 27 Tempos e consumos necessários para o destaque da bancada B4.	81
Tabela 28 - Tempos e consumos necessários para o destaque da bancada B5.	82
Tabela 29 - Tempos e consumos necessários para o destaque da bancada B6.	83
Tabela 30 - Tempos e consumos necessários para o destaque da bancada B7.	84
Tabela 31 - Total de recursos necessários para destacar os blocos das bancadas superficiais.....	85
Tabela 32 - Tempos e consumos necessários para o esartejamento do bloco intermédio.	86
Tabela 33 - Total de rejeito, tempo e recursos necessários para esarteja o bloco intermédio em cada bancada e no total.....	86
Tabela 34 - Tempos e consumos necessários para o esartejamento do bloco intermédio.	87
Tabela 35 - Total de rejeito, tempo e recursos necessários para esarteja o bloco comercial em cada bancada e no total.....	87
Tabela 36 - Número de blocos comerciais.	88
Tabela 37 - Valores do rejeito, tempo de corte, consumo de água, consumo de energia e quantidade de fio necessário para o destaque de bloco principal e esartejamento dos blocos intermédios e finais...88	

Índice de Equações

Equação 1 Factor de correlação de dados.....	5
Equação 2 - Resistência à compressão	15
Equação 3 - Resistência à flexão.....	16
Equação 4 - Volume de poros abertos.	17
Equação 5 - Massa volúmica aparente.....	17
Equação 6 - Calculo da porosidade aberta em percentagem.....	17
Equação 7 - Absorção de água à pressão atmosférica.	18
Equação 8 - Módulo de Elasticidade dinâmico.....	21
Equação 9 - Módulo de elasticidade.	21
Equação 10 - Cálculo do espaçamento (Berta, 1985).....	29
Equação 11- Cálculo do espaçamento segundo (Sousa, 2012).	29
Equação 12 - Cálculo da carga específica.	30
Equação 13 - Cálculo da furação específica.....	30
Equação 14 - Carga específica (Mancini, 1995).....	33
Equação 15 - Índice dimensional.....	44
Equação 16 - Índice Volumétrico.....	45

Lista de Siglas

ω_j – Factor de ponderação

QET – Carga explosiva utilizada

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

I_b – Índice dimensional

J_v – Índice volumétrico

ISRM – Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas

RQD – Índice de qualidade das rochas

Capitulo 1 - Introdução

1. Introdução

Enquadramento do tema

Esta dissertação surge da necessidade de avaliar se uma certa pedreira é viável para a exploração de rocha ornamental. A pedreira em questão foi objecto de um desmonte experimental, no passado, e desenhada para fornecer rocha industrial, para um projecto que já não será realizado. Durante o estudo geológico e geotécnico do local foi possível perceber que as características da rocha a tornavam candidata à exploração de rocha ornamental.

Para perceber se este é realmente o caso, foram estudadas as características da rocha, comparando-as com os valores padrão das rochas ornamentais. Seguidamente, foi realizado o estudo da fracturação e estrutura da rocha, para se poder ficar a conhecer o bloco unitário característico do maciço e se poder projectar o seu desmonte.

Objectivos

A presente tese tem como objectivo determinar se a exploração do maciço rochoso de Arronches, situado no Alentejo, é economicamente viável para exploração de rocha ornamental. Para isso é necessário responder aos tópicos seguintes:

- Determinar se a rocha disponível tem características de rocha ornamental;
- Gerar um modelo a três dimensões para cálculo das reservas;
- Desenvolver o diagrama de fogo para a extracção do bloco unitário;
- Com a informação atrás obtida perceber se a pedreira é viável a nível económico.

Métodos

O método escolhido para o desenvolvimento e resolução dos objectivos propostos é o seguinte: primeiro será estudada toda a bibliografia disponível, com o objectivo de ficar a conhecer o local e a recolher o máximo de dados. Posteriormente, irá ser gerado um modelo a três dimensões com recurso à informação obtida através de sondagens já realizadas e ao *software Rockworks*.

Para desenvolver o diagrama de fogo para extracção de rocha é necessário obter o bloco unitário, concebido através dos dados recolhidos por relatórios realizados pela Visa Consultores (2009) e pela Consmaga (2006). Depois de obtido o bloco unitário e de saber qual a sua dimensão máxima são definidas as bancadas, o sentido de desmonte. Posterior à definição das bancadas são determinados os blocos intermédios e finais e calculados os tempos de corte, o rejeito e os recursos necessários ao desmonte da bancada e ao esartejamento dos blocos até à dimensão necessária para o seu transporte e/ou comercialização.

Capitulo 2 – Estado da Arte

2. Estado da Arte

Neste capítulo irão ser tratadas as tecnologias que já existem para o estudo do maciço e para o seu desmonte, as quais também serão analisadas em termos de vantagens e desvantagens, assim como a que melhor se aplica.

2.1 Estudo do maciço

O estudo do maciço tem grande importância pois vai permitir distinguir as áreas de rocha ornamental e de rocha industrial, nele presentes. A rocha ornamental distingue-se da rocha industrial no que concerne às características dos materiais associadas a cada aplicação, nomeadamente, as descontinuidades, a cor, a textura e a presença de impurezas. A rocha ornamental também se distingue da rocha industrial na sua aplicação, pois, a rocha ornamental pode ser usada em vários tipos de aplicações interiores e exteriores, principalmente decorativos, e a rocha industrial tem uma aplicação mais estrutural (Dinis da Gama, 1995) (Carvalho, 2007).

A rocha ornamental pode ser dividida em três grandes grupos: os mármore e outras rochas carbonatadas, os granitos e os xistos e ardósias (Figueiredo et al, 2001).

O estudo do maciço pode-se dividir em três vertentes, a vertente de análise mais superficial, como os métodos de amostragem, a vertente de análise mais profunda, como os meios de prospecção e, por fim, a vertente laboratorial que irá testar a características mecânicas das rochas.

Quanto à vertente de análise superficial, actualmente existem 4 métodos de recolha de informação:

1. Técnica de amostragem linear;
2. Fotografia área;
3. Janela retangular;
4. Janela circular.

2.1.1 Amostragem linear

O método de amostragem linear consiste em esticar uma fita graduada ao longo do maciço e recolher informação de cada descontinuidade que intersecta a fita, quanto à orientação, comprimento, espaçamento e preenchimento, entre outros parâmetros (e.g., Priest & Hudson, 1981; Dinis da Gama, 1995; Chaminé et al., 2013, 2016; Chaminé, 2016).

Apesar deste método permitir a recolha de muita informação rapidamente este poderá criar uma má representação de algumas descontinuidades quanto, por exemplo, à orientação e comprimento. Relativamente à orientação podem existir descontinuidades que, dependendo da sua inclinação, podem não intersectar a fita e, quanto ao comprimento, podem existir descontinuidades com um comprimento maior que o maciço em estudo.

O problema da não recolha de dados relativamente à orientação pode ser resolvido através do método de Terzaghi, o qual consiste em associar um factor de ponderação, ω_j , a cada descontinuidade, este factor de correlação é dado pela equação 1 (Terzaghi, 1965).

Equação 1 Factor de correlação de dados.

$$\omega_j = \frac{1}{\cos\sigma_j}$$

Onde $\cos\sigma_j$ é o ângulo entre a descontinuidade e a fita usada.

Contudo, este método é, porventura, muito demorado e poderá levar a eventuais erros de recolha de informação. Outra sugestão para a resolução deste problema é usar várias linhas de amostragem com diferentes orientações (Watkins et al., 2015).

Relativamente ao método em geral é identificado outro problema que é o estudo prévio do maciço para saber onde se deve colocar a fita, isto pode levar a uma recolha de dados imparcial (Watkins et al., 2015).

2.1.2 Fotografia área

Esta técnica consiste na análise de fotografias aéreas ou tiradas no campo, caso se queira estudar o maciço a uma escala mais pequena. Esta recolha de informação em 2D é muito eficaz no mapeamento de descontinuidades a grande escala e também é usado para analisar a variabilidade de descontinuidades em grande escala, ou em maciços de grandes dimensões (Pollard, 1995).

Nesta técnica as fotografias são usadas para gerar o modelo 2D para se poder obter a orientação e a intensidade das descontinuidades. Quanto ao espaçamento, este pode ser obtido através do cálculo do coeficiente de variação.

Este processo recolhe informação rapidamente, mas está muito dependente da resolução e qualidade das fotografias e do facto de as descontinuidades de menor dimensão não se encontram representadas.

2.1.3 Janela retangular

Esta técnica de recolha de dados consiste em criar uma área retangular no maciço e recolher a informação pretendida, nomeadamente a orientação, o comprimento, o espaçamento e o preenchimento de todas as descontinuidades existentes dentro da área retangular (Pahl, 1981).

Este método, ao recolher a informação de todas as descontinuidades intersectadas, elimina o erro da técnica de amostragem linear, ou seja, de não recolher dados de descontinuidades paralelas à linha de amostragem.

Como desvantagem, este processo apresenta a grande quantidade de tempo necessária para recolher a informação de todas as descontinuidades dentro da janela retangular e também depender da área exposta do maciço.

2.1.4 Janela circular

Este método consiste em criar uma janela circular na superfície exposta do maciço e contar o número de descontinuidades que intersecta o perímetro do círculo e o número de terminações dentro deste (Mauldon, 2001). Os valores obtidos são introduzidos numa série de equações para determinar a intensidade de fracturação. Segundo Rohrbaugh (2002), o círculo necessita de conter um mínimo de 30 terminações.

Este processo permite uma recolha de dados rápida mas não fornece informações quanto à orientação, ao comprimento, ao espaçamento e ao preenchimento das descontinuidades.

A Tabela 1 apresenta as vantagens e desvantagens de cada método de recolha de dados explicados anteriormente.

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens dos métodos de recolha de dados (adaptado de Rohrbaugh, 2002).

Método de recolha	Vantagens	Desvantagens
Amostragem linear	Recolha de informação rápida	Má representação de algumas descontinuidades
Fotografia Aérea	Eficaz na recolha de informação a grande escala; método rápido	Muito dependente da resolução das fotografias
Janela rectangular	Recolhe a informação de todas as descontinuidades presentes na janela	Método muito demorado
Janela Circular		Não permite a recolha de informação quanto à orientação, comprimento e espaçamento

Depois de descreverem e analisarem os métodos existentes Watknis *et al* (2015) sugeriram uma metodologia que envolve a combinação do método da janela circular com o método da amostragem linear. Aqueles autores usam o método da janela circular para seleccionar as descontinuidades e calcular a intensidade e, de seguida, usam o método da amostragem linear para obter informações quanto à direcção, à inclinação, ao comprimento, ao

espaçamento e ao preenchimento das descontinuidades, esta informação só é recolhida para as descontinuidades que intersectam o perímetro do círculo.

Para o estudo do maciço irão ser utilizadas as 4 técnicas de recolha de dados, para posterior comparação entre técnicas. Esta comparação das técnicas será diferente, pois a realizada por Watkins *et al* (2015) foi realizada com base em maciço heterogéneos e a comparação feita neste caso de estudo terá por base um maciço de rocha ornamental, que não será tão heterogéneo, ou seja, não terá tantas descontinuidades.

Esta recolha de dados vai ser importante pois além de permitir comparar os métodos entre si, os dados obtidos vão permitir a elaboração do bloco tipo que é possível extrair e assim otimizar a extracção de rocha. O desenho deste bloco é possível pois as técnicas de recolha de dados disponibilizam informação quanto à orientação e inclinação das descontinuidades. De seguida, as descontinuidades são agrupadas em famílias horizontais, entre 0° e 30°, verticais, entre 60° e 90°, e oblíquas, entre 30° e 60°. Posteriormente, são determinadas as principais famílias, com o auxílio do *software* da Rocscience e, finalmente, as famílias principais são projectadas num bloco diagrama e é extraído o bloco tipo.

No caso do estudo do maciço a nível mais profundo, ou seja, a prospecção geotécnica, esta pode ser dividida em três categorias diferentes, designadamente a prospecção directa, a prospecção semidirecta e a prospecção indirecta (Figura 1).



Figura 1 - Tipos de prospecção.

Segundo Vallejo & Ferrer (2011) e no caso da prospecção directa esta é constituída por técnicas que permitam acesso directo ao maciço, tais como valas e trincheiras, poços e galerias. Estas técnicas proporcionam um acesso mais superficial ao maciço e, normalmente, são aplicadas em solos ou em maciços menos competentes.

As valas e trincheiras são técnicas que permitem o acesso directo ao local de estudo, normalmente são abertas com recurso a escavadoras ou *bulldozers* e atingem uma profundidade muito pequena. Esta técnica é exequível em solos e rochas brandas, mas com grande dificuldade do avanço dos trabalhos abaixo do nível freático.

Os poços, tal como as valas e trincheiras, permitem o acesso directo ao maciço e além disso esta técnica também permite a recolha de amostras intactas ou remexidas (Smith M. R., 1999). Os poços podem ser escavados com recurso a meios mecânicos ou a explosivos e podem atingir profundidades na ordem dos 20m.

As galerias, tais como os métodos descritos anteriormente, permitem o acesso directo ao maciço, mas também permitem a realização de ensaios *in situ*. As galerias podem ser escavadas com recurso a meios mecânicos ou a explosivos. Esta técnica pode ser usada em todo o tipo de rochas podendo necessitar de algum tipo de contenção ou suporte no caso de rochas menos competentes.

A Tabela 2 apresenta a aplicação para cada técnica de prospecção directa, bem como, as suas vantagens e desvantagens.

Tabela 2 - Síntese das técnicas de prospecção directa (adaptado de Smith, 1999; Vallejo & Ferrer, 2011).

Método	Aplicação	Vantagens	Desvantagens
Valas e Trincheiras	Barragens ou estradas, solos e rochas brandas	Observação directa do maciço e realizar ensaio <i>in situ</i>	Pequenas profundidades
Poços	Solos e rochas brandas	Observação directa do maciço e recolha de amostras	Pequenas profundidades
Galerias	Estudo de taludes ou obras de fundações	Observação directa do maciço e realizar ensaio <i>in situ</i>	Elevado custo

Quanto à prospecção semidirecta, ou sondagens (Figura 2), estas são consideradas semidirectas pois não proporcionam acesso directo ao maciço, pelo que neste caso o estudo do maciço é feito através de amostras recolhidas no momento da realização do trabalho. Relativamente à própria sondagem, esta consiste em abertura de furos, normalmente de pequeno diâmetro, executados a partir da superfície.

A Figura 2 apresenta os vários tipos de sondagens existentes.

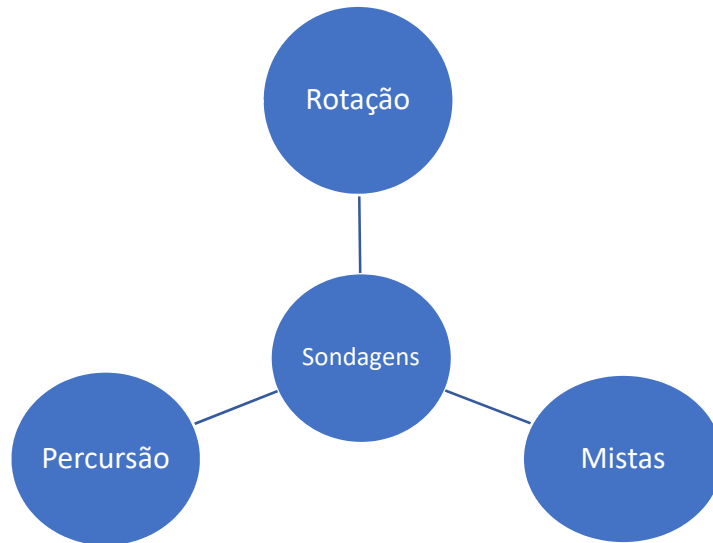


Figura 2 - Tipos de sondagens.

O mecanismo para executar a perfuração do maciço pode funcionar de três maneiras distintas: à rotação, à percussão e à rotopercussão. A energia disponibilizada por estes três métodos pode ser transmitida à ferramenta de corte de duas formas diferentes, uma com o martelo à boca do furo, a outra com o martelo no fundo do furo.

A perfuração à rotação pode ser feita através de furos realizados com trado ou através de sondagens.

O avanço obtido através das sondagens por rotação (Figura 3) é obtido através da rotação da ferramenta de corte, uma vez que esta permanece em contacto permanente com a rocha devido à pressão exercida pelas varas. A rotação imposta, bem como o contacto permanente causado pelas varas, causa o corte da rocha. Quanto à ferramenta de corte, esta caracteriza-se por ser uma coroa de tungsténio, ou de diamante, dependendo da dureza da rocha, e por permitirem a recolha de uma amostra contínua.

A perfuração realizada com trado caracteriza-se por ser realizada em solos ou rochas brandas, podendo ser mecanizada ou manual. Neste método pode-se obter amostras remexidas e a profundidade atingida é muito pequena.

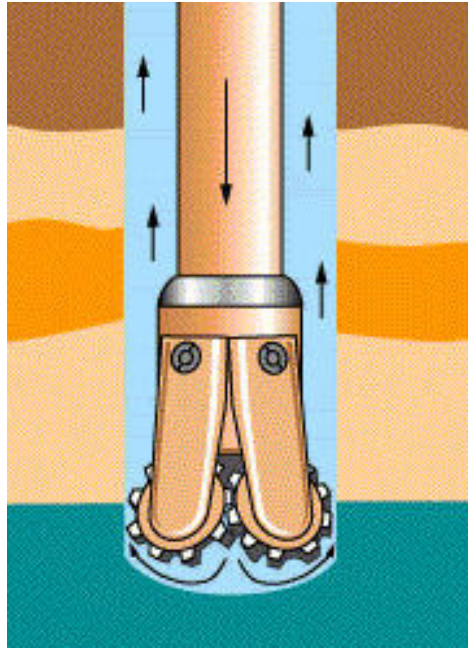


Figura 3 - Perfuração por rotação (<http://static.hsw.com.br/gif/oil-drilling-bit.jpg>).

A perfuração à percussão é feita através do impacto da ferramenta de corte na rocha, que causa a desagregação do maciço e pode ser promovido por um trépano. Dependendo do tipo de maciço pode-se utilizar dois tipos de trépano, o trépano de botões para rochas mais resistentes e o trépano em estrela para rochas menos resistentes (Figura 4).



Figura 4 - Trépano de botões (http://drillcenter.com.br/assets/catalogo//trepano_botao.jpg).

A perfuração com trépano pode ser feita através de cabo ou com varas. No caso de ser com cabo, a técnica consiste simplesmente em elevar o trépano e deixá-lo cair sobre a rocha, podendo ser a elevação feita de forma manual ou mecânica, e quanto à limpeza do furo, esta é feita através de uma limpadeira. No caso de serem utilizadas varas, o trépano encontra-se na extremidade das varas.

Por fim, a perfuração rotopercutiva é a combinação dos dois métodos anteriores. No método de perfuração rotopercutiva a energia produzida é transmitida à rocha por um martelo, provocando a perfuração e usa a rotação para que esses impactos se transmitam no furo em várias posições (Galiza, 2007).

Nesta técnica a localização do martelo pode variar, podendo estar localizado no fundo do furo ou na boca do furo (Figura 5). No caso de o martelo se localizar na boca do furo a energia é transmitida à ferramenta de corte por um conjunto de varas; no caso do martelo de fundo de furo, como o próprio nome indica, o martelo responsável pela precursão encontra-se no fundo do furo enquanto a rotação é feita fora do furo (Galiza, 2007).

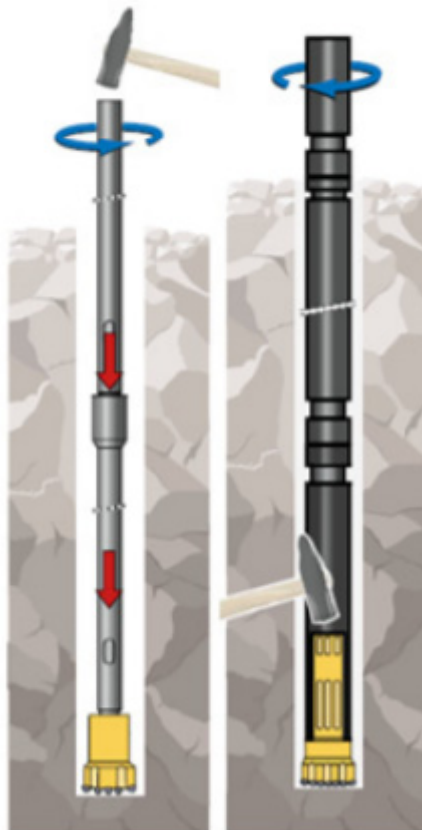


Figura 5 - Método de perfuração rotopercutiva (Atlascopco, 2012).

Quanto à prospecção indirecta, ou geofísica, esta compreende técnicas como o método sísmico, o método eléctrico e o método gravimétrico. O método sísmico tem duas vertentes, a vertente da reflexão e a vertente da refacção. Tanto um método como o outro tiram partido das diferentes velocidades de propagação das ondas sísmicas, isto é possível porque a velocidade de propagação numa rocha alterada é diferente, ou seja, menor do que a da velocidade de propagação de uma rocha sã, a velocidade de propagação também diminui com a presença de água, de descontinuidades e diferentes tipos de rochas. Uma diferença entre estes dois métodos é que o método de reflexão consegue obter imagens com melhor qualidade e alcançar uma profundidade maior.

A metodologia para ambas as vertentes do método sísmico consiste em colocar geofones sob a superfície que se pretende estudar gerando depois ondas sísmicas através da detonação de uma carga sísmica, queda de uma massa ou de um martelo sísmico, sendo que a criação desta onda sísmica pode ser feita à superfície ou dentro de furo (Figura 6).

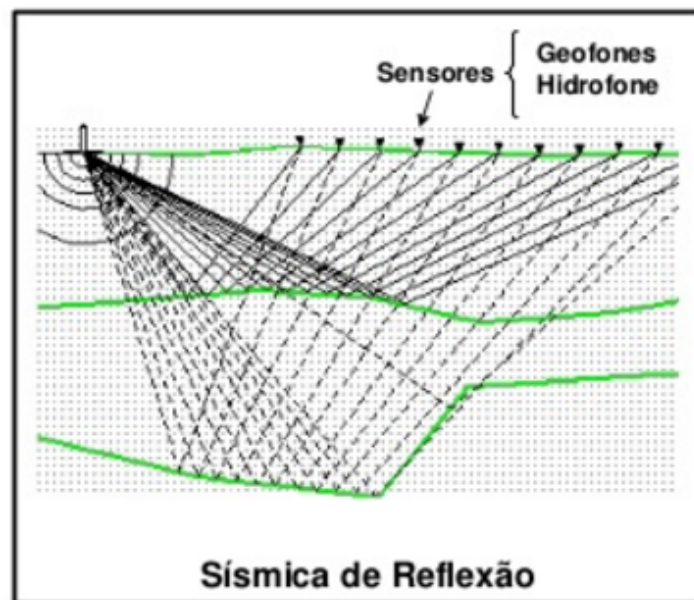


Figura 6 - Representação esquemática da sísmica de reflexão.
(<https://image.slidesharecdn.com/03aulamtodossismicos-150523223817-lva1-app6892/95/03-aula-mtodos-sismicos-11-638.jpg?cb=1432420755>)

O método eléctrico consiste na introdução de uma corrente eléctrica no solo a ser estudado, lendo-se de seguida o campo eléctrico que esta criou. Este método torna o reconhecimento de diferentes camadas de material possível, pois materiais diferentes possuem resistividades eléctricas diferentes (Figura 7).

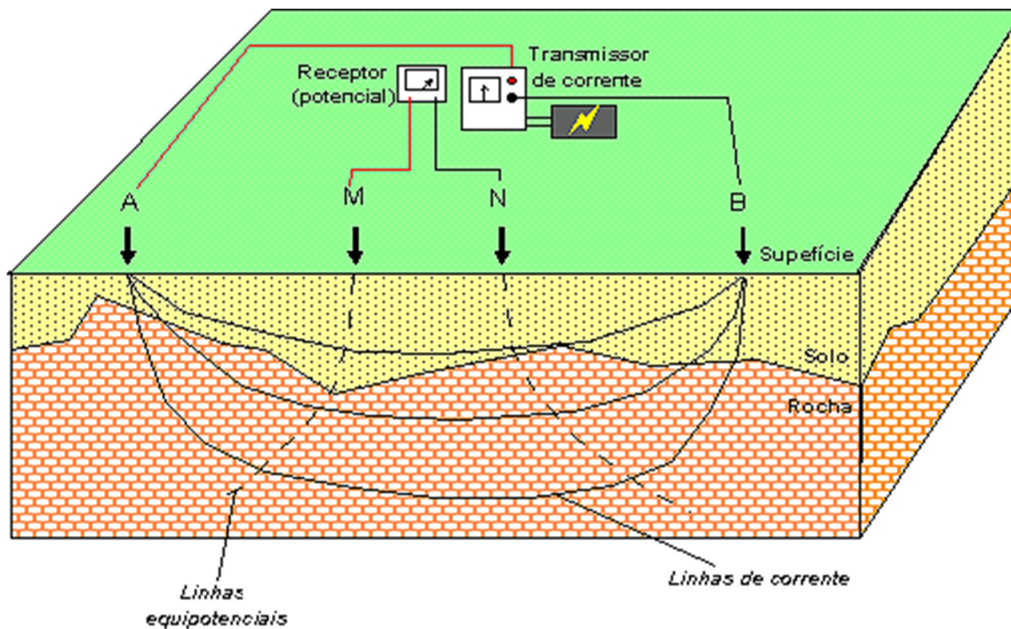


Figura 7 - Representação esquemática do método eléctrico.
(<http://www.iag.usp.br/siae98/eletromag/eletrica.gif>)

Outro método existente é o método gravimétrico, o qual permite identificar diferentes estruturas geológicas pois a densidade da rocha, a sua massa, geometria e profundidade vão afectar o campo gravimétrico sentido na superfície. No entanto, as anomalias detectadas por este método podem ser de difícil interpretação e pode ser necessário recolher mais informação para evitar que sejam cometidos erros graves (Smith ,1999).

Uma técnica de prospecção muito utilizada no âmbito da rocha ornamental é o georadar, que se baseia na propagação de ondas eletromagnéticas no maciço rochoso, onde a alteração da velocidade de propagação pode indicar alterações no maciço, tais como discontinuidades. Este método é muito usado na prospecção de rocha ornamental pois, apesar da baixa penetração no maciço apresenta uma grande resolução de imagem que permite detectar discontinuidades (Carvalho et al., 2008).

2.2 Ensaios de caracterização física, química e mecânica

Para ficar a saber qual é a melhor aplicação de uma rocha ornamental é necessário primeiro conhecer as suas características físicas, químicas e mecânicas, pelo que será necessário realizar ensaios específicos (Tabela 3).

Tabela 3 - Ensaio de laboratório realizados para caracterização de rocha ornamental.

EN 1926:2007	Resistência à compressão
EN 12372:2003	Resistência à flexão sob carga centrada
EN 1936:2007	Peso específico aparente e porosidade aberta
EN 13755:2008	Absorção de água à pressão atmosférica
EN 14066:2007	Resistência ao envelhecimento por choque térmico
EN 14157:2007	Resistência ao desgaste
EN 14158:2007	Resistência ao choque

Estes ensaios caracterizarão da rocha quanto à sua resistência, peso específico, absorção de água e resistência ao envelhecimento por choque térmico, no intuito de determinar a melhor aplicação para a rocha ornamental.

Os ensaios que vão fazer essa distinção são os ensaios de absorção de água, peso específico e porosidade aberta e de resistência ao envelhecimento por choque térmico, pois estes ensaios testam as condições a que a rocha vai estar exposta caso se situe no exterior, no caso de a rocha adornar o interior, esta vai ter de possuir boa resistência à compressão, à flexão, ao desgaste e ao choque, pois vai ter de suportar as cargas e esforços que existam dentro de uma infraestrutura (Simão ,2010).

De seguida, irá ser feita uma breve explicação de cada ensaio.

2.2.1 Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão consiste em aplicar uma carga cada vez maior sobre o provete até este atingir a ruptura. Para realizar este ensaio, e segundo a Norma EN 1926:2007, são necessários os seguintes materiais (Figura 8):

- estufa ventilada;
- balança;
- paquímetro;
- máquina de compressão.

O ensaio segue a seguinte metodologia: é necessário medir a secção transversal de cada provete de ensaio (dimensão lateral nos provetes cúbicos e diâmetro nos cilíndricos), com precisão de 0,1 mm, consistindo na média de duas medições perpendiculares entre si, efectuadas em faces opostas, uma na zona superior e outra na zona inferior do provete.

A dimensão média do lado (\bar{l}) ou o diâmetro médio (\bar{d}) serão utilizados para calcular a superfície da secção transversal. Mede-se a altura do provete com a aproximação de 1 mm e, em seguida, limpam-se os pratos da máquina de ensaio e as superfícies dos provetes (que entram em contacto com os pratos da máquina de ensaio), de modo a remover partículas soltas, e posteriormente colocam-se os provetes devidamente centrados, nos pratos de carga da máquina de ensaio. Por fim, regista-se a carga máxima suportada pelo provete (R) em Megapascais, aproximado a 1 kN;



Figura 8 - Ensaio de resistência à compressão (Rebola, 2011).

Os resultados para este ensaio podem ser obtidos através da equação 2, norma EN 1926:2007.

Equação 2 - Resistência à compressão

$$R = \frac{F}{A}$$

Onde, F é a carga máxima suportada e A a área do provete.

2.2.2 Resistência à flexão

O ensaio de resistência à flexão sob carga centrada consiste em aplicar uma carga centrada cada vez maior sobre o provete até este atingir a ruptura. Para isso, e segundo a norma EN 12372:2003, é necessário uma estufa ventilada, uma balança (com erro máximo de 0,01% da

massa a ser pesada) e uma máquina de flexão sob carga centrada (Figura 9). O ensaio inicia-se com a medição (l) do provete a ensaiar e, de seguida, limpam-se os roletes de apoio da máquina de ensaio, de modo a retirar qualquer tipo de partículas capazes de alterar os resultados a obter. Posteriormente, o provete é devidamente colocado no centro dos roletes de apoio da máquina de ensaio de flexão e procede-se em seguida à sua carga, na face contrária à apoiada, por incrementos de 0,25 (±0,5) MPa/s até ocorrer a rotura. Por fim, regista-se a carga máxima suportada pelo provete (F), em Newtons, aproximado às dezenas, e também o local onde ocorreu a fractura. A resistência mecânica à flexão (Rtf), expressa em MPa, é então determinada de acordo com equação 3, segundo a norma EN 12372:2003.

Equação 3 - Resistência à flexão.

$$R_{tf} = \frac{3 * F * l}{2 * b * h^2}$$



Figura 9 - Resistência a flexão sobre carga centrada
(http://www.fiec.org.br/sindicatos/simagran/artigos_palestras/Curso_Caracterizacao_TecnicaRochas_arquivos/image006.jpg).

Este ensaio permite ver quais são as rochas que melhor se aplicam em degraus de escadas, bancadas e fachadas de prédios, em que as placas de pedra sejam fixas através de ancoragens metálicas.

2.2.3 Peso específico aparente e porosidade aberta

Os ensaios do peso específico aparente e da porosidade aberta, este ensaio permite ficar a conhecer a compacidade da rocha em estudo e o seu sistema capilar. Para isso, e de acordo com a norma EN 1936:2007, é necessário uma estufa ventilada (Figura 10) uma balança munida de um dispositivo que permita pesagens hidrostáticas e um picnómetro de 50mL com sistema de vácuo, devendo ser observada a seguinte metodologia: o ensaio inicia-se com pesagem dos provetes secos (md), e de seguida, introduz-se os provetes no picnómetro sob vácuo durante aproximadamente 2 horas, procedimento este que permite eliminar o ar contido

nos poros abertos ao exterior. Depois de passadas essas 2 horas, é introduzida água destilada a uma temperatura de 20°C, de modo que os provetes, em 15 minutos, fiquem completamente submersos. Os provetes ficam imersos durante 24 horas, após as quais, os cinco cubos de granito são retirados, um a um, do picnómetro, e pesados saturados (m_s) e imersos (m_h).

O volume de poros abertos (em ml) é dado pela equação 4, norma EN 1936:2007.

Equação 4 - Volume de poros abertos.

$$V_0 = \frac{m_s - m_h}{\rho_{rh}} * 1000$$

A massa volúmica aparente (em quilogramas por metro cúbico) é a razão entre a massa do provete seco e o seu volume aparente, e é calculada através da equação 5, norma EN 1936:2007.

Equação 5 - Massa volúmica aparente.

$$\rho_b = \frac{m_d}{m_s - m_h} * \rho_{rh}$$

A porosidade aberta (em %) é a razão entre o volume de poros abertos e o volume aparente (equação 6), norma EN 1936:2007.

Equação 6 - Calculo da porosidade aberta em percentagem.

$$P_0 = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} * 100$$



Figura 10 - Ensaio de peso específico aparente e da porosidade aberta (Rebola, 2011).

2.2.4 Absorção de água à pressão atmosférica

O ensaio de absorção de água à pressão atmosférica (EN 13755:2008) consiste na secagem dos provetes. Para realizar o ensaio é necessária uma balança com erro máximo inferior a 0,01% e um tanque aberto. O ensaio tem a seguinte metodologia: inicialmente pesa-se 6 blocos de granito secos (md), que constituem o provete, e de seguida, os blocos são colocados no tanque coberto para o banho-maria e é adicionada água até à marca inferior. Passado 1 hora, é colocada mais água até à outra marca do cubo (metade), a temperatura mantém-se igual, finalmente ao fim de 1 hora cobrem-se os cubos até cima e deixou-se em banho-maria durante 48 horas. Passadas 48 horas, pesam-se os 6 blocos saturados (mw).

A absorção de água à pressão atmosférica, expressa em percentagem, é obtida pela equação 7, norma EN 13755:2008.

Equação 7 - Absorção de água à pressão atmosférica.

$$Ab = \frac{mw - md}{md} * 100$$

2.2.5 Ensaio de resistência ao envelhecimento por choque térmico

O ensaio de resistência ao envelhecimento por choque térmico (EN 14066:2007) permite avaliar as possíveis modificações da pedra natural por efeito de variações súbitas de temperatura, isto é, de ciclos alternantes de calor e de imersão em água a temperaturas moderadas (Rebola, 2011).

Este ensaio segue o seguinte procedimento: primeiro submete-se os provetes a 20 ciclos de choque térmico, cada ciclo consiste em variações de temperatura de 18 (± 1) horas em estufa ventilada (Figura 12), a 105 (± 5) °C, imediatamente seguidas por 6 ($\pm 0,5$) horas de imersão completa em água destilada ou desmineralizada a 20 (± 5) °C. Antes e após dos 20 ciclos de choque térmico são realizadas verificações de controlo, nomeadamente, inspeção visual, pesagem e medição do módulo de elasticidade dinâmico (Rebola, 2011). O ensaio de resistência ao choque térmico permite determinar, para as placas de rocha ornamental que sejam usadas como fachada e estejam sujeitos a insolação, o espaço necessário para que as placas se expandam sem danificar as placas adjacentes, mais conhecido como junta de dilatação (Figura 11).

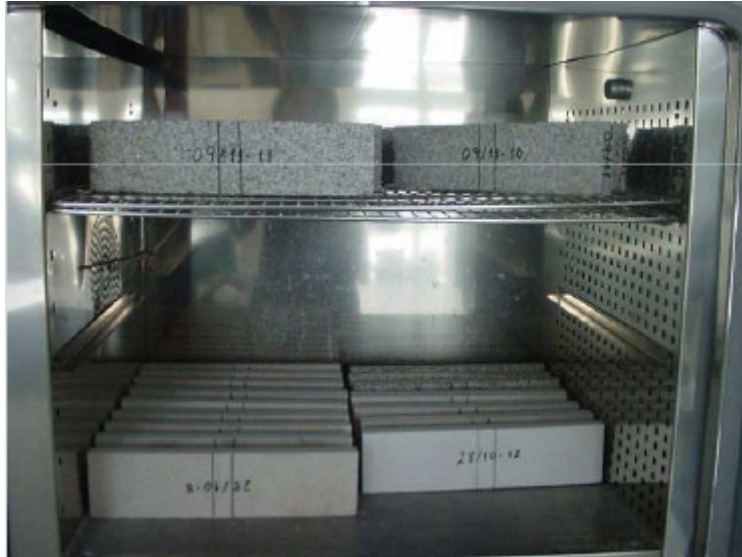


Figura 11 - Ensaio de resistência ao envelhecimento por choque térmico (Rebola, 2011).

2.2.6 Ensaio da resistência ao desgaste

O ensaio da resistência ao desgaste este é feito, segundo a norma EN 14157:2007 através da exposição de uma das faces do provete ao efeito de uma roda de abrasão (Figura 12), e um material abrasivo e registrando o sulco obtido. Este ensaio é útil para avaliar o comportamento de rochas ornamentais quando usadas como pavimento em locais com muito tráfego.

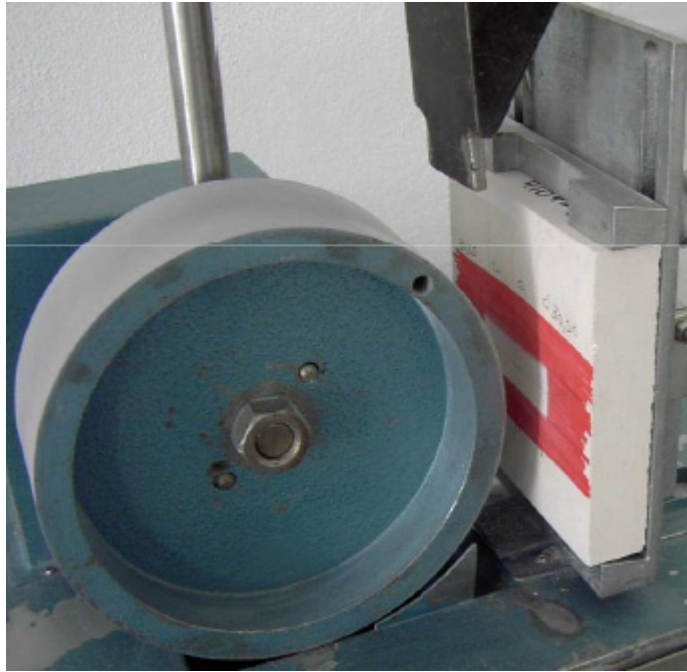


Figura 12 - Ensaio da resistência ao desgaste (Rebola, 2011).

O ensaio de resistência ao choque caracteriza-se por submeter o provete ao efeito de queda de uma massa, de uma determinada altura, conforme o especificado na norma N 14158:2007. Para realizar este ensaio é preciso areia, uma esfera de aço de 1 Kg e uma régua. O ensaio obedece ao seguinte procedimento: primeiro coloca-se o provete a ensaiar sobre um leito de areia com 10 cm de altura, e de seguida deixa-se cair a esfera de aço de alturas sucessivamente maiores, com incrementos de 5 cm, até atingir a ruptura. Por fim, regista-se a altura da qual se deixou cair a esfera. Este ensaio permite ver quais são as rochas que melhor se aplicam em degraus de escadas, bancadas e outras superfícies que estejam sujeitas a choques constantes.

Os ensaios acima descritos são uteis para avaliar qual a melhor aplicação para uma rocha ornamental, no entanto, existem outros ensaios a realizar para estas poderem ser comercializadas e obterem a marcação CE, designadamente o ensaio de comportamento ao fogo, o ensaio de flexão após gelo, o ensaio de resistência ao escorregamento, o ensaio de permeabilidade ao vapor e, finalmente, o ensaio de tactilidade.

O ensaio de comportamento ao fogo, norma N 13501-1:2001, é usado para rochas que contenham asfalto em mais de 1% da sua massa ou volume (Rebola, 2011).

De seguida, é de referir o ensaio de resistência à compressão e flexão após gelo, norma N 12371:2010, que tem por objectivo a avaliação das alterações sofridas pela pedra natural na sua aparência visual e/ou nas suas características físico-mecânicas, quando submetida a ciclos sucessivos de gelo-degelo. Este ensaio pode ser realizado em duas vertentes, a vertente

tecnológica e a vertente de identificação. A vertente tecnológica é usada para avaliar o desempenho mecânico da rocha enquanto a vertente de identificação é usada para avaliar as alterações que a rocha sofreu visualmente. A avaliação das alterações sofridas pela rocha pode fazer-se pelo cálculo da variação do módulo de elasticidade dinâmico. Primeiro calcula-se o módulo de elasticidade dinâmico equação 8.

Equação 8 - Módulo de Elasticidade dinâmico.

$$Edl = 4 * 10^{-6} * l^2 * Fl^2 * \rho$$

Onde:

- Edl é o módulo de elasticidade dinâmico longitudinal, em MPa;
- l é o comprimento do provete, em metros;
- Fl é a frequência de ressonância fundamental longitudinal, em hertz;
- ρ é a densidade aparente do provete, em kg/m^3 .

De seguida, calcula-se a variação do módulo de elasticidade equação 9.

Equação 9 - Módulo de elasticidade.

$$\Delta E = \frac{Ei - Ef}{Ei} * 100$$

Onde:

- Ei é o módulo de elasticidade inicial;
- Ef é o módulo de elasticidade final.

O ensaio de resistência ao escorregamento, norma N 14231:2003, é usado para avaliar a segurança que a rocha ornamental, que seja usada como pavimento, oferece a quem caminha sobre ela. Para isso é necessário um pêndulo de atrito e pelo menos 6 provetes. Este ensaio tem o seguinte procedimento: i) ajustar o braço do pêndulo de forma que o patim percorra uma superfície de ensaio de 126 (+1) mm ou 76 (+1) mm, consoante o patim utilizado seja o patim de 76 mm ou o patim de 31,8mm, ii) soltar o pêndulo e segurá-lo no seu movimento de retorno. Quando o pêndulo oscila, a força de atrito entre o deslizador e a superfície de ensaio é medida através da redução da amplitude da oscilação, utilizando uma escala normalizada (Rebola, 2011).

Já o ensaio de permeabilidade ao vapor de água, norma N 12524:2000, tem como objectivo testar as placas se destinam a ser utilizadas num local em que sejam fixadas com argamassas ou colas.

Finalmente, o ensaio de tactilidade, o qual deve ser declarado apenas para ladrilhos destinados a pavimentos e degraus, quando existam requisitos regulamentares ou quando for

solicitado. A taticidade é expressa por uma descrição do perfil da superfície obtido por intermédio de acabamentos mecânicos (Rebola ,2011).

Tabela 4 apresenta os ensaios que se tem de realizar para o produto a ser vendido possuir acreditação CE.

Tabela 4 - Ensaio realizados para obtenção de certificação CE.

EN13501-1:2001	Comportamento ao fogo
EN12371:2010	Resistência à flexão e compressão após gelo
EN14231:2003	Resistência ao escorregamento
EN12524:2000	Permeabilidade ao vapor de água

2.3 Blocometria

Neste tópico irá ser feita uma breve explicação quanto ao bloco unitário, a sua concepção e o seu estudo.

Segundo Guerreiro (2000) o estudo destes blocos é de extrema importância pois estes possuem duas características, dimensão e forma, que são afectadas pela compartimentação do maciço.

O bloco unitário representa o bloco que é possível extrair de um certo maciço rochoso dada a sua fracturação. Para realizar este bloco unitário primeiro tem de ser feita a recolha de todas as descontinuidades presentes no maciço em estudo, depois de obtida esta informação as descontinuidades são agrupadas em famílias, sendo que as famílias que são usadas para a concepção do bloco são as famílias principais, ou seja, as famílias com maior representatividade. Posteriormente estas famílias serão projectadas segundo a sua orientação e inclinação.

Finalmente pode ser estudado o tamanho do bloco unitário recorrendo a dois índices I_b , e índice volumétrico J_v .

O índice dimensional, I_b , representa a dimensão média do bloco unitário, é obtido através da divisão do espaçamento de cada família por o número de famílias.

Seguidamente é calculado o índice volumétrico, que mostra o número de descontinuidades presentes num metro cubico.

2.4 Desmonte de rocha ornamental

A exploração de rocha ornamental pode ser feita a céu aberto, esta por sua vez pode ser desenvolvida em flanco de encosta ou em corta. No desmonte em flanco de encosta a rocha é explorada na encosta de um monte formando, assim, degraus que vão acompanhar a encosta e o esgoto das águas faz-se por gravidade. No desmonte em corta, os patamares formados pela exploração vão sendo cada vez mais pequenos, configurando uma pirâmide invertida e o esgoto

das águas é forçado. O tipo de desmonte utilizado também depende do tipo de maciço, isto é, se o maciço apresenta foliação ou se o maciço é compacto. No caso do maciço ser foliado, a rocha é extraída em placas com recurso a martelos pneumáticos ou outros equipamentos idênticos, onde o equipamento é aplicado no plano de foliação, razão pela qual este método apresenta grandes perdas de rocha. No caso do maciço ser compacto, a extracção pode ser feita através do rebentamento da base do maciço e aproveitando os melhores blocos, ou pode ser feita através do destacamento do bloco, sendo que a primeira técnica é menos utilizada devido ao desperdício de rocha.

O desmonte de maciços para a obtenção de rocha ornamental pode ser efectuado de duas maneiras diferentes, a primeira recorre à técnica de corte contínuo que é baseada em equipamentos que cortam o maciço de um modo contínuo, como por exemplo o fio diamantado. A segunda, recorre ao método do corte em costura, ou seja, são feitos furos no maciço onde de seguida é colocada uma substância que causa o destacamento do bloco, como por exemplo, explosivos (Figura 13).

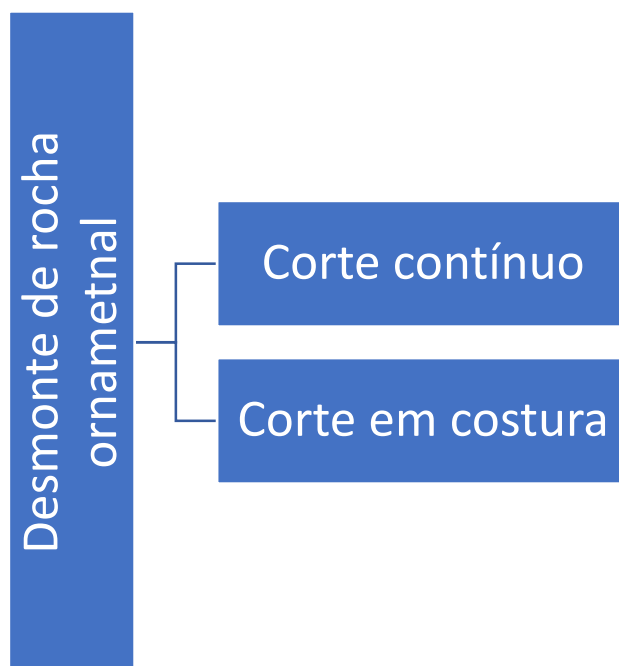


Figura 13 - Métodos de desmonte de maciços rochosos.

No desmonte por corte contínuo, ou meios mecânicos, antes de se proceder ao desmonte é necessário recorrer a quatro operações, designadamente a decapagem, o desnudamento, a abertura de caixas e canais e a definição das frentes de desmonte (Figura 14). Na decapagem é removida a terra vegetal com o recurso a equipamentos próprios, como a escavadora, a pá carregadora e o *dumper*. Na operação de desnudamento será removida a camada de maciço mais superficial que se possa encontrar alterado e não apresenta valor

comercial, neste passo também são usados equipamentos como a pá carregadora, a escavadora e o *dumper*. A abertura de caixas e canais são operações que vão permitir a criação de frentes livres de modo a definir a massa a desmontar e a criar espaço para o seu desmonte, pelo que nesta fase podem ser usados equipamentos como a perfuradora, o martelo pneumático, uma máquina de fio diamantado e uma grua. Por fim, a definição da frente de desmonte consiste em determinar onde irão ser abertos os canais e em que sentido será feito o desmonte.

De salientar que ambos os materiais removidos, na fase de decapagem e desnudamento, serão armazenados em locais próprios para mais tarde poderem ser usados na recuperação ambiental e paisagista da pedreira.

A Figura 14 apresenta a sequência de operações necessárias no processo de desmonte de uma rocha ornamental.

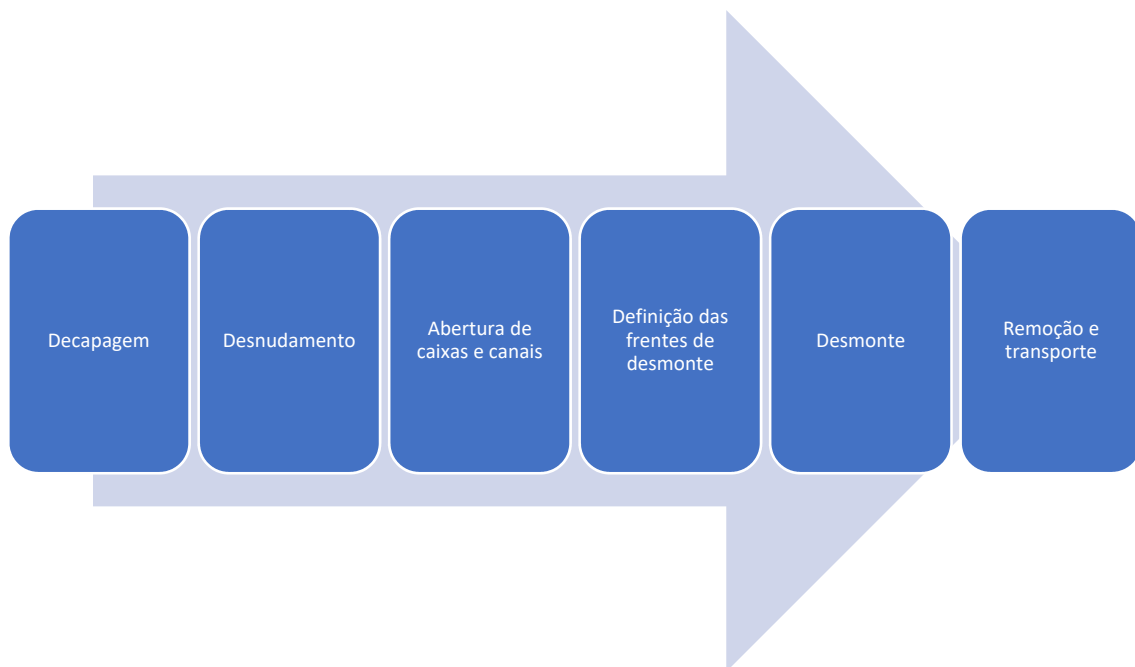


Figura 14 - Fluxograma do processo de desmonte.

O desmonte mecânico pode utilizar equipamentos como o fio diamantado, o fio helicoidal, a lança térmica, o jacto de água e a roçadora. O fio diamantado (Figura 15) consiste num cabo de aço formado por vários cordões e que possui esferas com diamantes espaçadas a intervalos regulares. Com este equipamento o corte é feito por abrasão (Sobreiro, 2007). Este equipamento pode ser utilizado tanto em rochas duras como rochas mais brandas, sendo o mais utilizado no granito.

Este método é caracterizado por apresentar excelentes acabamentos em relação ao corte e ter uma elevada produtividade, 3 m²/h a 16 m²/h para mármore e 1,5 m²/h a 6 m²/h (Menezes, 2005).

Quanto às suas vantagens e desvantagens, o fio diamantado tem como vantagens a qualidade de corte, a baixa criação de rejeito, e como desvantagem, o elevado custo da sua manutenção.



Figura 15 - Máquina de fio diamantado. (<https://i.ytimg.com/vi/0F4sWKsh4GE/hqdefault.jpg>)

Quanto ao fio helicoidal (Figura 16), este é constituído por um cabo de aço composto por vários fios de aço enrolados. Neste equipamento o corte é feito por o conjunto do cabo de aço mais o composto abrasivo, o qual pode ser constituído por água e limalhas de aço ou areia quartzítica, sendo que o composto abrasivo é constituído por 30% de abrasivo e 70% de água (Menezes, 2005). A água usada no composto abrasivo tem duas funções, a primeira é o transporte da substância abrasiva e a segunda é a refrigeração do sistema de corte.

Dependendo do composto abrasivo, este equipamento pode ser utilizado, tanto nas rochas duras como em rochas mais brandas, sendo que tem vindo a ser substituído por a máquina de fio diamantado. Quanto à sua produção, o fio helicoidal tem uma velocidade de corte de 1 a 2m²/s (Menezes, 2005).

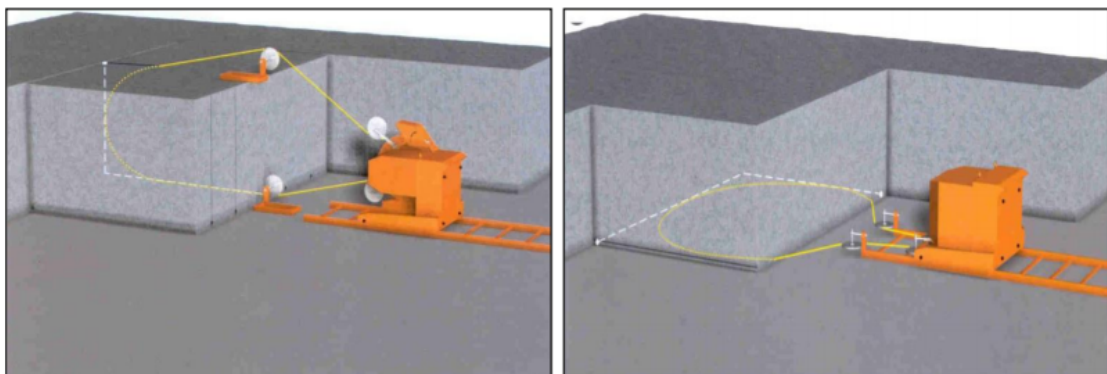


Figura 16 - Esquema de corte de uma máquina de fio helicoidal (MARINI QUARRIE GROUP, 2005).

A lança térmica (Figura 17), ou “*flame jet*”, consiste numa espécie de lança que na ponta é capaz de expelir chamas a elevadas temperaturas, cerca de 1300° C (Menezes, 2005). Nesta tecnologia, o corte é baseado nas diferentes temperaturas a que os minerais da rocha se dilatam. Esta técnica apresenta um custo baixo, mas na área adjacente ao corte pode deixar

danos na rocha, além do elevado calor gerado. Este método normalmente é usado em rochas siliciosas, com uma velocidade de corte de aproximadamente $1,2\text{m}^2/\text{h}$.



Figura 17 - Lança térmica (Alencar, Caranassios e Carvalho, 1997).

No método do jacto de água (Figura 18), o jacto de água de alta pressão pode ser classificado de duas maneiras: o jacto de água contínuo e o jacto de água intermitente. Estes dois métodos distinguem-se por um método disponibilizar a água a uma pressão e velocidade constantes, enquanto o outro apresenta interrupções sucessivas ao jacto de água (Henriques ,2009). Este método é aplicado em todo o tipo de rochas, e dependendo da dureza da rocha que vai cortar estes jactos podem possuir abrasivo. A técnica do jacto de água apresenta como vantagens um dano mínimo da rocha no momento de corte, a ausência de poeira, a escassa produção de detritos, e como desvantagens, apresenta o investimento inicial alto, o elevado consumo de água e energia e custo de manutenção elevada.



Figura 18 - Jacto de água (Henriques,2009).

A roçadora é uma máquina equipada com um braço munido de pérolas diamantadas responsável pelo corte da rocha, permitindo individualizar as bancadas nas pedreiras, pelo que este equipamento pode ser utilizado em todo o tipo de rochas, mas encontra-se limitado pelo comprimento do braço (Sobreiro ,2007).

A tabela 5 apresenta um resumo dos equipamentos de desmonte mecânico.

Tabela 5 - Tabela resumo dos equipamentos de desmonte mecânicos.

Equipamento	Mecanismo de corte	Aplicação
Fio diamantado	Abrasão com o fio diamantado	Todo o tipo de rochas, principalmente granito
Fio helicoidal	Abrasão com o fio e o abrasivo	Todo o tipo de maciço
Lança térmica	Diferentes temperaturas a que os minerais dilatam	Rochas siliciosas
Jacto de água	Pressão e velocidade do jacto de água e o abrasivo	Todo o tipo de rochas
Roçadora	Abrasão com o fio diamantado	Todo o tipo de rochas, embora se encontre limitado pelo comprimento do braço

Para realizar o desmonte com recurso a explosivos ou corte em costura, à semelhança do desmonte por meios mecânicos, é necessário recorrer a operações prévias, neste caso a abertura das frentes livres. O método usado para realizar o desmonte com recursos a explosivos é o método de pré-corte ou método Finlandês. Este método comporta a realização de furos alinhados de modo a definir a superfície de ruptura do maciço e envolve 3 fases (Sousa ,2012):

Para realizar o destacamento do bloco principal é necessário definir um espaçamento entre furos, através da equação 10, de Berta (1985), este espaçamento vai depender do maciço a desmontar, do tipo de explosivo e do diâmetro do furo (Dessureault ,2003).

Equação 10 - Cálculo do espaçamento (Berta, 1985).

$$S = \frac{2 * PES * \rho e * d^2}{RT * D}$$

Onde:

- *PES* é a pressão específica em MPa;
- ρe é a densidade do explosivo em g/cm³;
- *d* é o diâmetro da carga explosiva em metros;
- *D* é o diâmetro do furo em metros;
- *RT* é a resistência à tracção em MPa.

O espaçamento também pode ser obtido de modo mais expedito através da equação 11 Sousa (2012).

Equação 11- Cálculo do espaçamento segundo (Sousa, 2012).

$$S = 5 - 15D$$

Onde D é o diâmetro do furo.

O diâmetro do furo pode variar de acordo com o equipamento de perfuração mas varia principalmente com a qualidade da rocha a furar, ou seja, uma rocha com melhor qualidade vai precisar de um diâmetro maior do que uma rocha com menor qualidade.

Outros parâmetros que são importantes e por isso devem ser calculados são o tamponamento, a carga específica e a furação específica, estes dois últimos são os mais importantes pois permitem ter uma ideia quanto ao custo de extracção do material e, consequentemente, se a exploração é viável ou não.

O tamponamento vai depender da qualidade da rocha, isto é, um furo para destacar uma rocha com melhores características vai ter um tamponamento maior que uma rocha com características mais pobres (Dessureault ,2003). No caso de ser usado um explosivo com uma velocidade de detonação elevada normalmente não é usado tamponamento, pois o destaque com este explosivo é efectuado através da onda de choque criada e o uso do tamponamento ia confinar a onda de choque podendo provocar dano à rocha.

A carga específica (equação 12) pode ser calculada através da divisão da carga usada para destacar o bloco do maciço pelo volume do bloco destacado.

Equação 12 - Cálculo da carga específica.

$$Carga\ específica = \frac{QET}{Volume\ do\ bloco}$$

Onde *QET* é a carga explosiva usada para destacar o bloco.

Quanto à furação específica, esta pode ser obtida através da divisão do total de metros furados pelo volume do bloco destacado (equação 13).

Equação 13 - Cálculo da furação específica.

$$Furação\ específica = \frac{N^{\circ}furos * comprimento\ do\ furo}{Volume\ do\ bloco}$$

2.5 Furação

Existem vários equipamentos capazes de realizar a perfuração do maciço, pelo que para ficar a conhecer melhor os equipamentos existentes foram investigados os equipamentos disponibilizados pelas principais marcas, como a “*Atlascopco*”, “*Sandvik*” e “*Cat*”. A “*Atlascopco*” disponibiliza três equipamentos, o “*SpeedRoc D30*” com o martelo no fundo do furo, perfuração rotativa e com capacidade para fazer furos com o diâmetro compreendido entre 70 e 105 mm, o segundo equipamento disponibilizado é o “*SpeedRoc 2F*” com martelo à superfície, perfuração rotativa e com capacidade para fazer furos com diâmetro entre 28 e 45 mm, em último lugar, surge o “*Rock Buggy*”. Estes veículos são ideais para efectuar a furação do maciço pois têm a capacidade de fazer furos verticais e horizontais paralelos entre si.

Outra marca estudada foi a “*Sandvik*”, esta disponibiliza vários equipamentos divididos pela tecnologia de perfuração, ou seja, os equipamentos encontram-se divididos entre “*down the hole*”, isto é, mecanismo de perfuração à percussão com martelo de fundo de furo, “*rotary*”, isto é, mecanismo de perfuração rotativo, e “*top hammer*”.

Na tecnologia “*Down the hole*” existem vários equipamentos, em que a única diferença entre si é o diâmetro de furo que podem efectuar, o diâmetro varia entre 127 e 311mm, na perfuração rotativa acontece o mesmo que na anterior, com o diâmetro de furo a variar entre 127 e 279 mm, e finalmente na tecnologia “*top hammer*” o diâmetro do furo varia entre 76 e 152mm.

Quanto à “*Cat*” esta disponibiliza dois equipamentos com perfuração rotativa, o MD6290 e o MD6250, em que a única diferença é o diâmetro do furo efectuado, os quais podem variar entre 152 a 244mm e 152 a 250 mm, respectivamente.

2.6 Derrube e esartejamento dos blocos

Embora os dois métodos de desmonte sejam diferentes, ambos têm operações como o derrube dos blocos, o esartejamento do bloco e o seu respectivo transporte.

Para realizar o derrube dos blocos normalmente usam-se equipamentos como colchões pneumáticos ou hidráulicos e macacos hidráulicos, podem também ser usadas retroescavadoras e pás carregadoras equipadas com lança para auxiliar o derrube. Os colchões, pneumáticos ou hidráulicos, são equipamentos constituídos por uma bolsa fina metálica ou em borracha, a qual é inserida no corte criado pelo desmonte e quando é activado causa o derrube do bloco.

O macaco hidráulico, é constituída por um êmbolo, que é colocado no rasgo criado pelo desmonte do maciço e que vai empurrar o bloco destacado e causar o seu derrube (Figura 21) (Sobreiro, 2007).

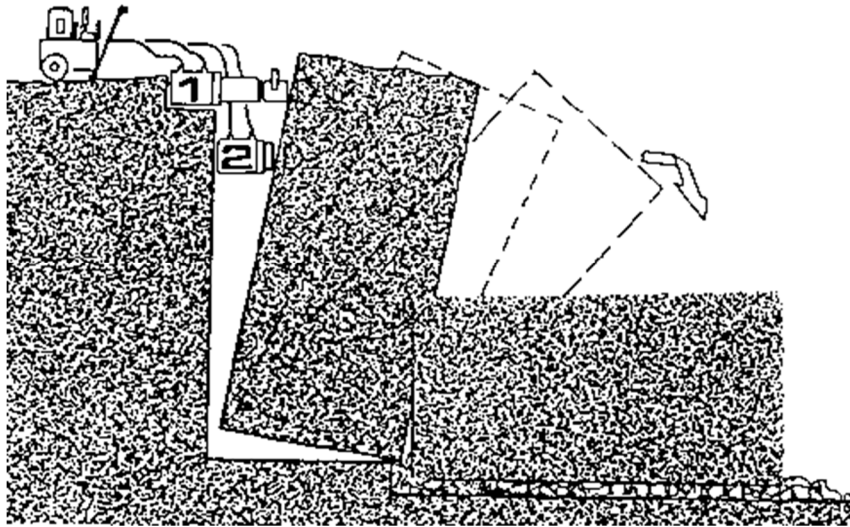


Figura 21 - Esquema de funcionamento de uma macaca hidráulica.
(<http://www.lneg.pt/download/3683/fig4.gif>)

Quanto aos equipamentos que dão auxílio ao derrube, a retroescavadora e a pá carregadora, estas são usados no auxílio ao derrube pois na extremidade dos braços podem ser equipadas lanças, as quais facilitam o derrube do bloco (Figura 22).



Figura 22 - Derrube de blocos com lança.
(http://www.fravizel.pt/image.php?image=1401364717.jpg&max_width=860&max_height=600)

Para realizar o esarteamento de blocos podem ser usados equipamentos como a máquina de fio diamantado, o martelo pneumático e guilhos, ou também podem ser usados explosivos. O martelo pneumático e guilhos são usados para realizar a furação, com cerca de 4 cm de diâmetro, onde serão colocados os explosivos ou por onde passará o fio diamantado. Os guilhos são cunhas metálicas utilizadas nos furos para individualizar os blocos de maiores dimensões em blocos com dimensões mais pequenas (Figura 23).



Figura 23 - Guilhos.
(<http://www.forestryforum.com/gallery/albums/userpics/14240/1560/dsc02004.jpg>)

Relativamente ao transporte, este pode ser dividido em duas suboperações, o transporte de blocos e a remoção de escombros. Para o transporte de blocos comercializáveis podem ser utilizados equipamentos como as pás carregadoras e grua, ambos responsáveis pela carga e transporte. Para a remoção de escombros podem ser usados equipamentos como a escavadora e pá carregadora, para carregamento, “*dumpers*” para transporte e gruas equipadas com baldes para remoção e transporte.

As escavadoras, pás carregadoras e gruas são utilizadas para carregamento, pois os seus braços podem ser equipados com baldes.

2.7 Explosivos

Os explosivos usados para o desmonte de rocha podem-se dividir em duas categorias dependendo da sua velocidade de detonação, ou seja, os explosivos com alta velocidade de detonação, superior a 2000m/s, e os explosivos com baixa velocidade de detonação, inferior a 2000m/s (Figura 24). Estes últimos normalmente são usados para o desmonte de rocha

ornamental, porque apresentam velocidade de detonação inferior traduzida numa pressão menor, o que vai provocar menos danos à rocha.

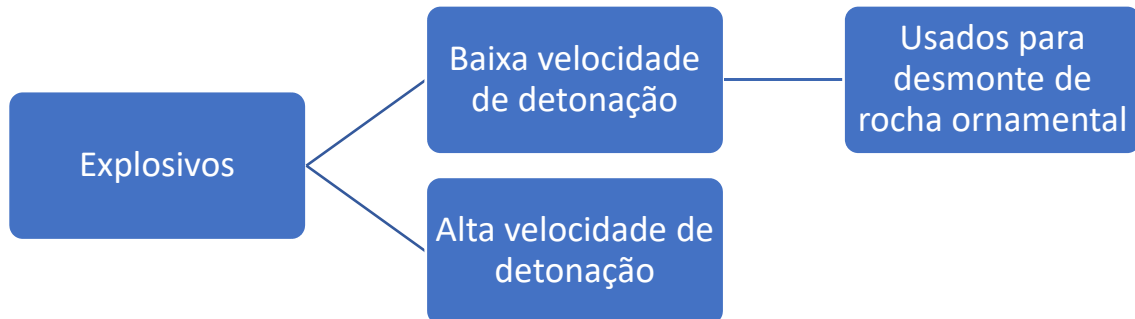


Figura 24 - Tipo de explosivos existentes.

No caso de serem usados explosivos para o desmonte da rocha ornamental é necessário usar uma carga específica adequada, pois uma carga específica baixa pode não causar o destaque do bloco enquanto uma muito alta pode danificar o bloco. Com isto em mente Mancini (1995), desenvolveu a equação 14.

Equação 14 - Carga específica (Mancini, 1995).

$$C = a + \frac{b * S}{v} + c * s$$

Onde:

- C é a carga específica (Kg/m^3);
- a é o factor mínimo de pó, $10,52\text{g}/\text{m}^3$;
- b é o explosivo consumido por área, $26,47\text{g}/\text{m}^2$;
- S é a área a destacar (m^2);
- v é o volume a destacar (m^3);
- c é o coeficiente de deslocamento;
- s é o deslocamento (m).

Quando Mancini (1995), desenvolveu esta equação foi com base num maciço granítico e com uso do cordão detonante, por isso se for considerado outro tipo de maciço ou de explosivo os resultados obtidos podem não ser os ideais.

Os explosivos mais usados no desmonte de rocha ornamental são a pólvora, o cordão detonante e a gelamonite.

A pólvora é um explosivo deflagrante que é constituído por uma mistura de carvão, nitrato de sódio e enxofre. Este explosivo é usado quando o maciço rochoso apresenta características estruturais, como planos de fractura, que facilitam o corte da rocha (Sousa, 2012). Este explosivo é muito usado para o desmonte de rochas ornamentais, pois este não faz o destaque do bloco através da pressão criada pela sua detonação, mas sim através da libertação de gases, razão pela qual é necessário o tamponamento. Este explosivo é maioritariamente aplicado em blocos já destacados ou em maciços de rocha branda, e pode também ser usado em maciços de rocha mais competente, mas não é tão eficaz.

O cordão detonante, trata-se de um explosivo com alta velocidade de detonação e é constituído por um núcleo revestido por um tubo de plástico que confere impermeabilidade, e resistência à tracção e à humidade. O núcleo do cordão detonante é constituído por um explosivo de alta velocidade de detonação, a pentrite (Sousa, 2012).

A gelamonite é um explosivo com alta velocidade de detonação e é um explosivo gelatinoso constituído por nitroglicerina. Devido à sua constituição e ao seu invólucro, este explosivo tem uma grande resistência à água.

No caso de este explosivo ser o escolhido para realizar o destaque do bloco e o bloco for constituído por uma rocha mais dura muitas vezes enche-se o furo com água para transmitir melhor a energia.

A tabela 6 apresenta, de forma resumida, as características dos explosivos discutidos anteriormente, bem como as suas vantagens e desvantagens.

Tabela 6 - Características dos explosivos usados em desmonte de rocha ornamental (Sousa, 2012).

Produto	Constituição	Velocidade de Detonação	Vantagens	Desvantagens
Pólvora	Carvão, nitrato de sódio e enxofre	pó: 180 mm/s; canudo: 3000mm/s	Altamente explosivo	Má resistência à água,
Cordão detonante	Núcleo de pentrite revestido por plástico	7500 m/s	Altamente explosivo, resistência à água	
Gelamonite	Pasta sólida de cor vermelha	5200 a 6000 m/s	Altamente explosivo, resistência à água	Não expor a temperaturas elevadas

Como se pode ver pela análise da tabela 7, o cordão detonante apresenta uma velocidade de detonação superior e é resistente à água.

De salientar que o consumo dos explosivos depende do tipo de rocha, do volume a desmontar e do número de faces livres. O consumo de cordão detonante para cortes verticais em granito pode variar entre as 80 a 150g/m² (Simão, 2010), enquanto que o consumo de pólvora varia entre os 200 a 250 g/m².

Uma curiosidade relativamente ao desmonte com recursos a explosivos é que no mesmo diagrama de fogo podem ser usados dois tipos de explosivos, isto é, nos furos verticais pode ser usado o cordão detonante enquanto nos furos horizontais é usado um explosivo com uma velocidade de detonação menor e que crie maior quantidade de gases, destacando assim o bloco sem lhe causar dano na parte inferior.

Depois de determinado o diagrama de fogo e escolhidos os explosivos é realizada a temporização. Geralmente, o tempo de detonação dos furos de um diagrama de fogo para rocha ornamental é todo igual, isto deve de ser assim pois os gases libertados, em conjunto com as ondas de choque criadas que se propagam em todas as direcções, criam um campo de tensões, e em resultado da conjugação simétrica das ondas de choque desenvolvem-se esforços de tracção perpendicularmente ao plano dos furos (Figura 25) (Sousa ,2012).

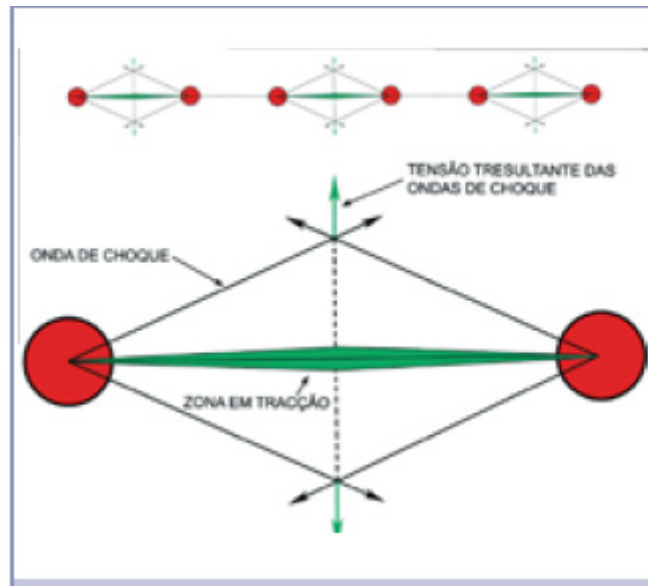


Figura 25 - Esforços resultantes da colisão das ondas de choque geradas em furos adjacentes (Sousa, 2012).

Capitulo 3 – Caso de Estudio

3.Caso de Estudo

3.1 Caracterização geológica do local de estudo

O local de estudo situa-se no centro-sul de Portugal, mais precisamente na região do Alentejo. Esta região caracteriza-se por ficar a sul do rio Tejo e ser limitada a oeste por o oceano Atlântico e a este por a fronteira com Espanha. Quanto à geologia desta região, é possível encontrar algumas rochas ígneas, como granitos e gabros, algumas rochas metamórficas, como os famosos mármore da faixa de Estremoz, Borba e Vila Viçosa, mas a maioria da região alentejana encontra-se coberta por rochas sedimentares como conglomerados e arenitos, Figura 26.

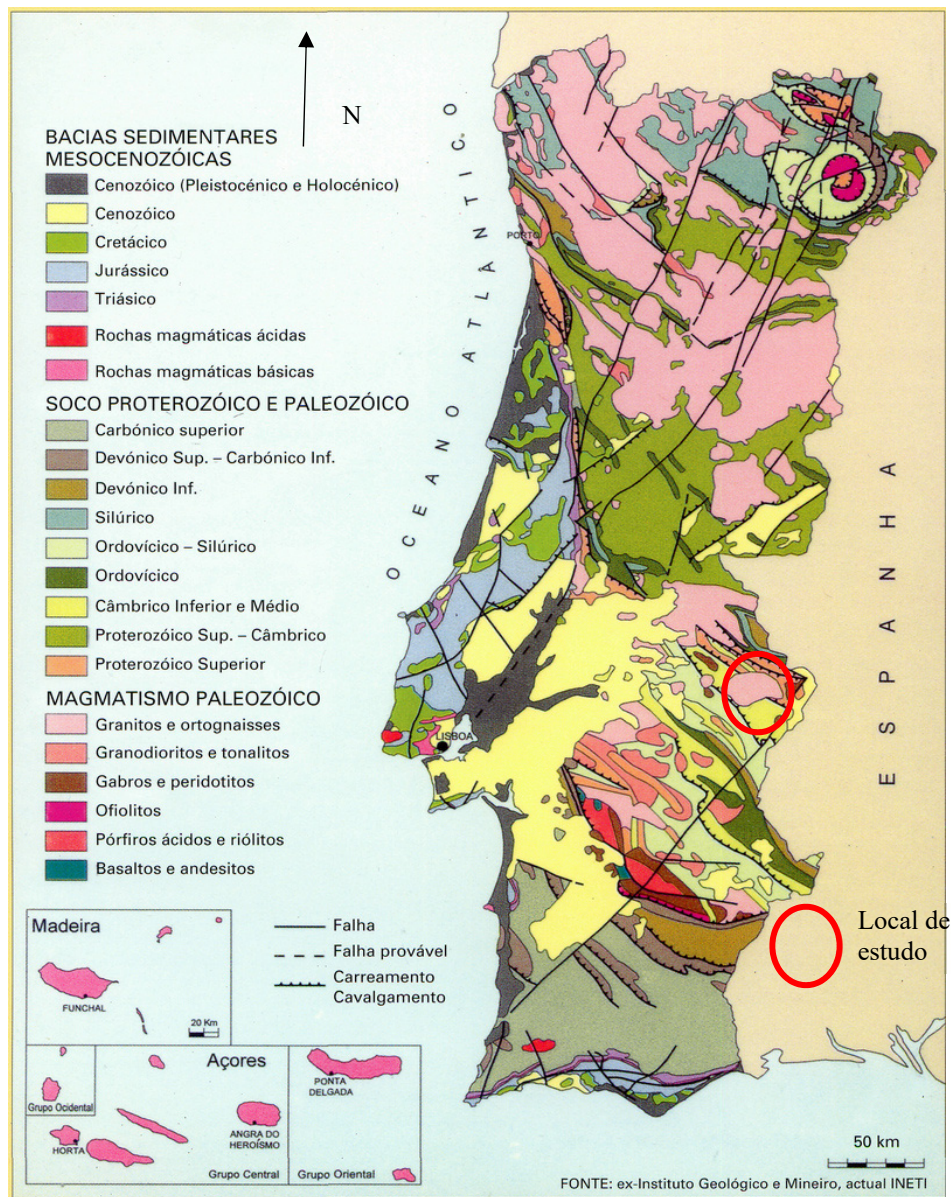


Figura 26 - Carta geológica de Portugal.

(https://bgnaescola.files.wordpress.com/2010/02/carta_geologica_portugal1.jpg)

Quanto à sua morfologia, a região do Alentejo caracteriza-se por ser plana e não possuir grandes diferenças de nível. Relativamente às massas de água, as mais influentes da região são o rio Tejo a norte, o oceano Atlântico a oeste e o rio Guadiana a este.

Relativamente à tectónica são de salientar duas falhas, uma com a direcção sudoeste-nordeste e a falha de Porto-Tomar, com direcção noroeste-sudeste (Figura 27).



Figura 27 - Carta Tectono-Estratigráfica de Portugal. (Lopes, 2009)

Quanto à sismicidade, a região encontra-se numa zona de intensidade VII, segundo a escala de Mercalli modificada, a região também se encontra numa zona de potencialidade sísmica B, sendo a segunda zona de potencial mais elevado para a ocorrência de sismos, Figura 28.

CARTA DE INTENSIDADES MÁXIMAS (Sismicidade Histórica e Actual)

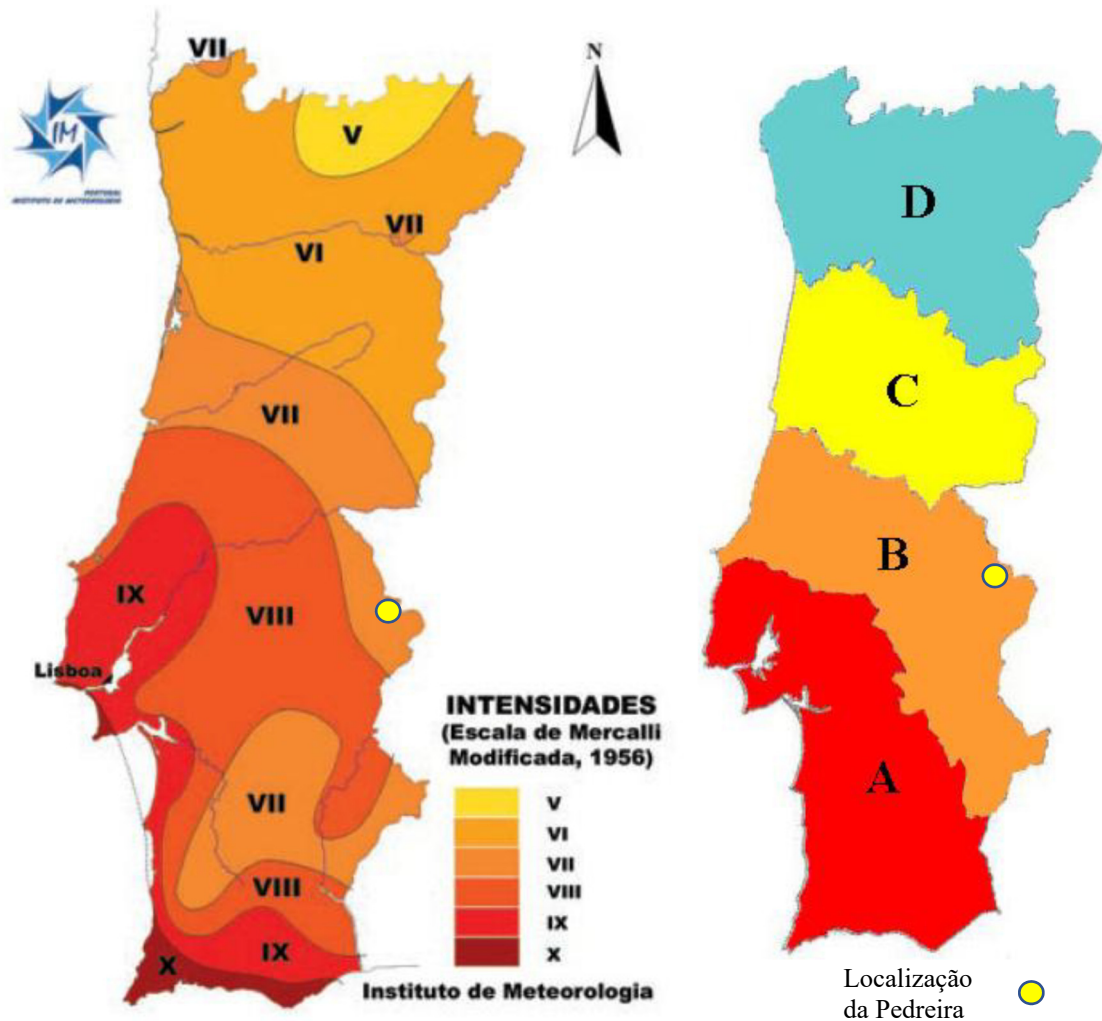


Figura 28 Carta de intensidade sísmica (esquerda) e divisão do território por zonas de potencialidade sísmica (direita). (Lopes, 2009)

Como já foi dito, o local de estudo localiza-se na região do Alentejo mais precisamente no concelho de Arronches, freguesia da Assunção, lugar da Senhora do Rosário, mais especificamente a três quilómetros a sudoeste da vila. O local pode ser acedido através da estrada nacional EN 246 (Consmaga, 2006).

A área que a pedreira ocupa é de aproximadamente três hectares, sendo a área destinada à exploração de 1000m². Mas existe um acordo para expandir a área da pedreira em cinco hectares elevando assim a área para oito hectares.

Quanto à geologia do local, esta é constituída por gabros, granitos e gabrodioritos (Figura 29). Os quais parecem resultar da solidificação de magmas de características diferentes ou de uma intrusão magmática, evidenciada por a existência de corneanas (Consmaga, 2006). O estudo da geologia foi realizado à escala 1:2000.

Isto é evidente, pois no reconhecimento do local foi possível identificar intercalações entre gabros, rochas híbridas e granitos nos afloramentos (Figura 29). Estes afloramentos encontram-se pouco alterados a alterados.

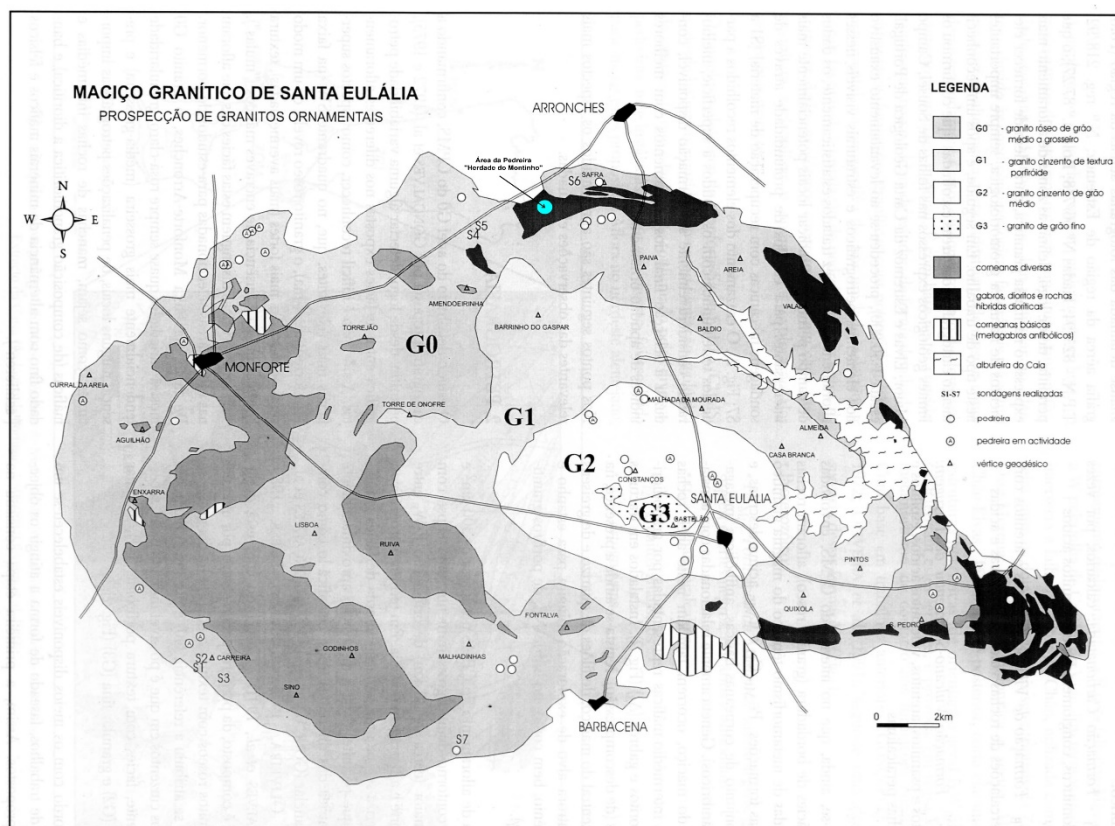


Figura 29 - O Maciço Ígneo de Santa Eulália. Localização da área da pedreira “Herdade do Montinho”. Extraído de Carrilho Lopes *et al.* (1997)

Para um melhor conhecimento do maciço rochoso não aflorante foram realizadas 6 sondagens, até aos 40m de profundidade e com uma inclinação de 40°. Com a informação obtida nas sondagens realizadas e com base no levantamento geológico foram realizados de 5 perfis interpretativos, 3 longitudinais com direcção norte-sul e 2 transversais, realizados à escala 1:1000 (Consmaga, 2006).

Com estes perfis foi possível determinar que 60% da massa mineral em profundidade é constituída por gabro com grão fino a médio, de cor esverdeada, compacto e duro, 5% é constituído por granito de grão médio e os restantes 35% são constituídos por rochas híbridas como gabrodioritos, existindo em algumas zonas um cobrimento de terras vegetais com uma espessura entre três e quatro metros.

Quanto a fracturação e microfracturação esta é esparsa, ocasionalmente aberta com microcristalização e eventualmente alguma circulação de água (Consmaga, 2006).

A tectónica a nível local é caracterizada pela falha da Messejena (Lopes, 2009). Esta falha tem uma orientação NW-SE, Figura 30.

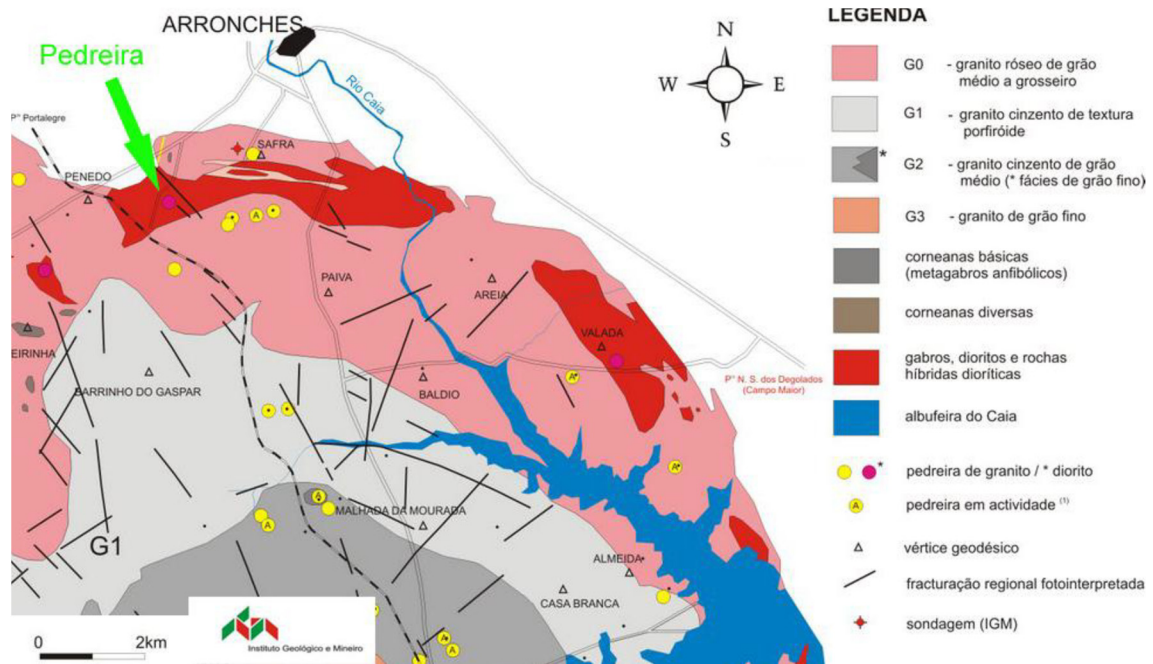


Figura 30 - Localização das falhas a nível local (Lopes, 2009).

3.2 Caracterização estrutural

Um dos aspectos mais importantes para a exploração de uma pedreira de rocha ornamental é o estudo da estrutura da rocha.

Este estudo consiste na análise das descontinuidades presentes no maciço rochoso, o estudo das suas características, como por exemplo a orientação e inclinação, espaçamento, grau de alteração e dureza. Depois de obtida a informação relativamente à orientação e inclinação, as diaclases serão reunidas em famílias para posteriormente se poder obter o bloco unitário do maciço rochoso.

Para a realização da caracterização estrutural do maciço foi utilizada a informação disponibilizada pelo relatório da Visa Consultores realizado por Lopes (2009), relativamente ao maciço em estudo (Figura 31). No total, foram levantadas seis descontinuidades com o recurso à técnica da amostragem linear realizada pela Visa Consultores.



Figura 31 - Maciço exposto no local de estudo (Lopes, 2009).

Na tabela 7 apresentam-se as famílias das descontinuidades (atitude e espaçamento) levantadas no estudo do maciço.

Tabela 7 Descontinuidades presentes no perfil A-B (Lopes,2009)

Atitude	Espaçamento (m)
N160°- 75°E	0.3
N82°- 90°	0.4
N88°- 90°	2.7
N86°- 90°	3.7
N152°- 90°	3.9
N60°- 90°E	7.5

De seguida, a orientação e inclinação destas descontinuidades foram projectadas num diagrama de rosetas e de contornos, Figura 32, para posteriormente serem agrupadas em famílias.

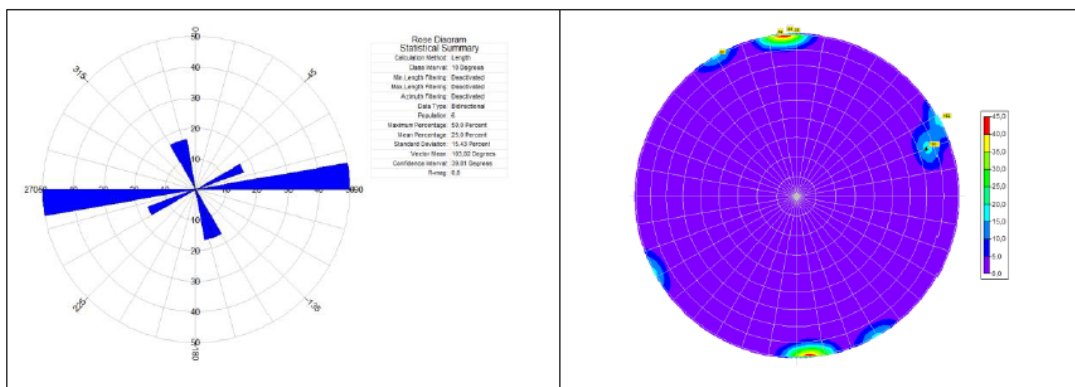


Figura 32 - Diagrama de rosetas e diagrama de contornos do perfil AB (Lopes, 2009).

Pela análise dos diagramas anteriores foi possível definir três famílias presentes no maciço estudado, estas são as apresentadas na tabela 8.

Tabela 8 - Famílias do maciço estudado.

Família 1	N80-90°E; 80°SE
Família 2	N150-160°E; 30°NE
Família 3	N60-70°E; 50°SE

Como se pode concluir pela análise da tabela anterior existe uma família subvertical, família 1, uma família subhorizontal, família 2, e uma família oblíqua, família 3.

Posteriormente, foi determinado o espaçamento de cada família, o qual veio a permitir a determinação do bloco unitário. A família 1 apresenta um espaçamento de 2,267m, a família 2 apresenta um espaçamento de 2,1m e, finalmente, a família 3 apresenta um espaçamento de 7,5m.

Como já foi referido no capítulo 2 (Estado de Arte) um factor que pode ser calculado relativamente ao bloco unitário é o seu tamanho, este pode ser calculado de duas maneiras diferentes, o índice dimensional, I_b , e índice volumétrico J_v .

O índice dimensional, I_b , que representa a dimensão média do bloco unitário, é obtido através da divisão do espaçamento de cada família pelo número de famílias existentes, equação 15 (ISRM, 1981).

Equação 15 - Índice dimensional.

$$I_b = \frac{e_1 + e_2 + e_3}{3}$$

Onde e_1 , e_2 , e_3 , representam o espaçamento de cada família. Depois de efectuados os cálculos obtém-se um índice dimensional de 3,956m.

Seguidamente é calculado o índice volumétrico, J_v , que mostra o número de descontinuidades presentes num metro cúbico, o qual pode ser calculado através da equação 16 (ISRM, 1981).

Equação 16 - Índice Volumétrico.

$$J_v = \frac{1}{e_1} + \frac{1}{e_2} + \frac{1}{e_3} + \frac{1}{e_n} + \dots + \frac{Nr}{5}$$

Onde e_1, e_2, e_3, e_n representam o espaçamento de cada família e Nr o numero total de descontinuidades. Efectuados os cálculos obteve-se um valor para o índice volumétrico de 2,25. O número de descontinuidades também afecta o tamanho do bloco, segundo Vallejo (2002), o tamanho de bloco para um índice volumétrico de 2,25 é grande.

Tabela 9 - Tamanho dos blocos conforme o índice volumétrico (Vallejo, 2002).

Descrição	Volume (m ³)	Índice volumétrico (J_v) - descontinuidades/m ³
Blocos muito grandes	>25	<1
Blocos grandes	1 - 25	1-3
Blocos médios	0,025 - 1	3-10
Blocos pequenos	0,001 – 0,025	10-30
Blocos muito pequenos	<0,001	>30

Finalmente com estes dados, e com auxílio do *software AutoCad*, foi possível representar o bloco unitário (Figura 33).

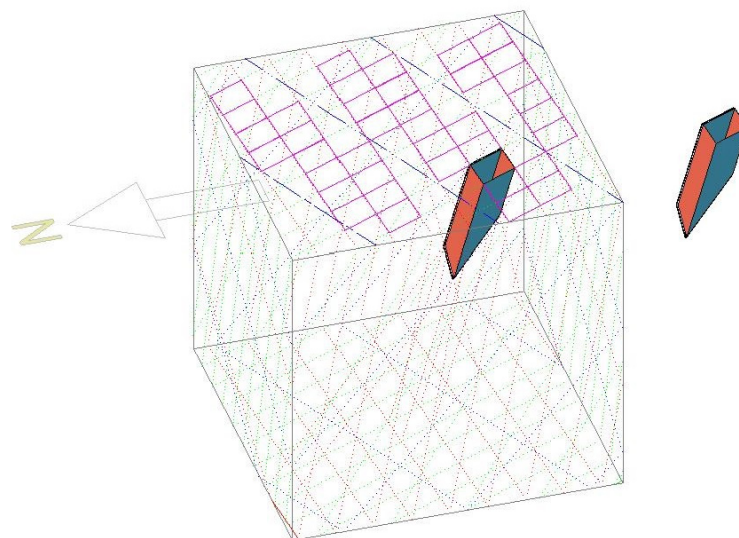


Figura 33 - Bloco unitário.

Como se pode constatar, o bloco unitário não apresenta uma forma muito regular o que pode dificultar a sua transformação sob o ponto de vista industrial e aumentar o desperdício de rocha, pois tanto para o transporte como para a transformação e comercialização são privilegiadas as formas mais regulares como rectângulos, cubos ou cilindros.

Relativamente à dureza do maciço esta foi determinada com o auxílio do martelo de *Schmidt* (Figura 34), e através deste a dureza de *Schmidt*. Para este procedimento foram realizados 10 ensaios em cada estação e cada estação está à distância de dois metros uma da outra.



Figura 34 - Realização do ensaio do martelo de Schmidt (Lopes, 2009).

Depois de obtidos os resultados dos ensaios foi calculado o R médio, para cada estação, e para isso, foram excluídos os 5 valores mais baixos de cada. Seguidamente foi calculado o R médio do maciço, com o valor de 51. Posteriormente estes valores foram projectados no ábaco *Miller*, Figura 35.

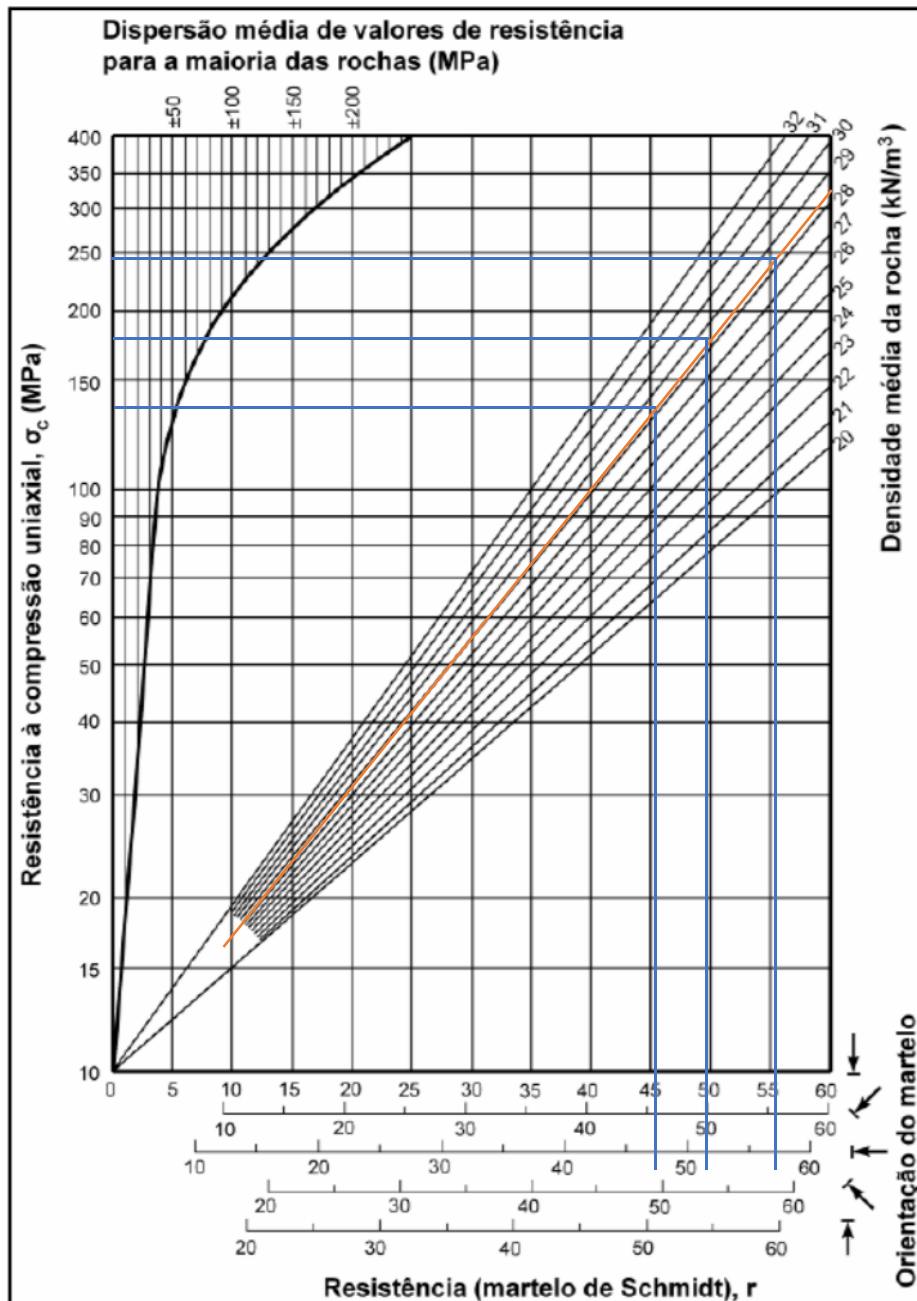


Figura 35 - Ábaco de "Miller" com a projecção da dureza de Schmidt.

Como se pode ver pela análise do ábaco o valor mínimo da resistência à compressão uniaxial é de 140 MPa, o valor máximo é de 250 MPa e o valor médio é de 170 MPa.

A dureza de *Schmidt*, para além de poder ser correlacionada com a densidade média da rocha e nos dar a conhecer a resistência à compressão uniaxial do maciço, também serve para classificar o maciço como sugere a tabela da ISRM (1978), tabela 10.

Tabela 10 - Dureza de "Schmidt" segundo a ISRM (1978)

Grau (R - Rock)	Descrição	Características	Resistência à compressão Uniaxial aproximada (MPa)
R0	Rocha muito fraca	Marcada pela unha do polegar	0,25-10
R1	Rocha fraca (I)	Fragmentada com pancadas firmes percutidas com a ponta do martelo de geólogo. Pode ser cortada em fatias com um canivete.	1-5
R2	Rocha fraca (II)	Pode ser cortada em fatias com um canivete com dificuldade. Marcas superficiais obtidas com pancadas firmes percutidas com a ponta do martelo de geólogo.	5-25
R3	Rocha razoavelmente resistente	Não pode ser esmigalhada ou cortada em fatias com canivete. Podem-se obter fragmentos de rocha com uma pancada seca com o martelo de geólogo.	25-50
R4	Rocha resistente	Podem-se obter fragmentos dando mais de uma pancada seca com o martelo de geólogo.	50-100
R5	Rocha muito resistente	Para se obterem fragmentos são necessárias muitas pancadas com o martelo de geólogo.	100-250
R6	Rocha extremamente resistente	Apenas se obtêm lascas percutindo com o martelo de geólogo.	>250

Como se pode constatar pela análise da tabela 10 e pelos dados obtidos através do martelo de *Schmidt*, o maciço caracteriza-se por ser R5, ou seja, uma rocha muito resistente, existindo uma estação, a estação 6, onde este pode ser classificado como R6, isto é, uma rocha extremamente resistente.

3.3 Análise e discussão dos resultados obtidos nos ensaios realizados.

No capítulo do Estado da Arte foram descritos os ensaios de laboratório usados para caracterizar as rochas ornamentais e qual a sua melhor aplicação.

Neste capítulo irão ser analisados e discutidos os resultados de alguns ensaios realizados pela empresa "*Monte Adriano*". Os ensaios realizados são: o ensaio da análise petrográfica, dimensão, granulometria, partículas finas, finos, forma, *Los Angels*, *micro-Deval*, resistência à compressão uniaxial e alterabilidade.

Estes ensaios foram realizados com o intuito de testar a rocha para ser aplicado como balastro. Dado que o objectivo deste trabalho consiste na caracterização do maciço rochoso para fins ornamentais, só serão interpretados os resultados de alguns ensaios como análise petrográfica, *Los Angels*, *micro-Deval*, resistência à compressão e alterabilidade.

Quanto à análise petrográfica a rocha foi descrita com uma rocha sã, compacta, holocristalina, fanerítica de grão fino, com uma superfície áspera e porosidade aberta, possui uma cor cinzenta e é constituída por anfíbola, biotite, quartzo e piroxena. Desta análise pode-se concluir que o facto de a rocha ser compacta e de grão fino contribui para a sua resistência.

A Figura 36 apresenta uma amostra de retirada dos provetes das sondagens realizadas pela Consmaga (2006).



Figura 36 - Amostra de gabro.

O ensaio de *Los Angels*, segundo a norma NP EN 1097-2:2007 e segundo o anexo C, permite avaliar a resistência à abrasão e ao choque. O ensaio de *Los Angels* consiste, muito resumidamente, por provocar o impacto de esferas de aço contra a rocha a ser avaliada e culmina com a determinação da percentagem de finos criada. Sendo que uma rocha mais resistente cria menos finos. O resultado obtido pela *Monte Adriano* para o ensaio de *Los Angels* foi de 11%. Esta percentagem de finos criados é baixa o que aponta para uma rocha resistente à abrasão e ao choque.

O ensaio *micro-Deval*, realizado segundo a norma NP EN 1097-1:2007 e segundo o anexo C, consiste em medir o desgaste criada por abrasão e choque dos provetes com a carga abrasiva num tambor segundo a condições descritas na norma. O resultado obtido pela *Monte Adriano* para o ensaio de *micro-Deval* foi de 7%. Tal como no ensaio de *Los Angels* a percentagem de finos criados é baixa o que indica uma rocha resistente ao choque e à abrasão, corroborando assim o ensaio anterior.

Posteriormente, foi realizado o ensaio de compressão uniaxial, segundo a norma EN 1926:2006, onde foram obtidos os seguintes dados (tabela 11):

Tabela 11- Valores da resistência à compressão.

Resistência Máxima (MPa)	Resistência Mínima (MPa)	Resistência Média (MPa)
277	158	225

Finalmente foi realizado o ensaio de alterabilidade, segundo a norma NP EN 13672:2004, onde o resultado obtido foi de zero, ou seja, não foi registada qualquer alteração nos provetes de ensaio.

Os resultados destes ensaios mostram uma rocha competente, resistente e sem alteração o que a torna boa candidata a ser usada como rocha ornamental. Mas estes resultados têm de ser interpretados com algum cuidado pois apesar de testarem propriedades da rocha interessantes para o seu uso como rocha ornamental, os ensaios são específicos para agregados.

Com estes ensaios e algumas informações disponibilizadas pelo LNEG no *site Rochas Ornamentais Portuguesas* é possível ver se a rocha testada cumpre os requisitos necessários para ser considerada rocha ornamental. Na tabela 12 podemos ver as características que a rocha deve de possuir para ser considerada rocha ornamental.

Tabela 12 - Valores padrão de uma rocha ornamental (Moura et al, 2000).

	Granito Sienito	Diorito Gabro	Pórfiro Andesito	Basalto	Diabásio	Tufos vulcânicos
Peso Específico Aparente (kg/dm³) DIN 52102	2,6 a 2,8	2,8 a 3,0	2,55 a 2,8	2,95 a 3,0	2,8 a 2,9	1,8 a 2,0
Peso Específico Absoluto (kg/dm³) DIN 52102	2,62 a 2,85	2,85 a 3,05	2,58 a 2,83	3,0 a 3,15	2,85 a 2,95	2,62 a 2,75
Porosidade Total (%) DIN 52102	0,4 a 1,5	0,5 a 1,2	0,4 a 1,8	0,2 a 0,9	0,3 a 1,1	20,0 a 30,0
Absorção de Água (% peso)	0,2 a 0,5	0,2 a 0,4	0,2 a 0,7	0,1 a 0,3	0,1 a 0,4	6,0 a 15,0

DIN 52103						
Porosidade Aberta (% volume) DIN 52103	0,4 a 1,4	0,5 a 1,2	0,4 a 1,8	0,2 a 0,8	0,3 a 1,0	12,0 a 30,0
Resistência à Compressão da Pedra Seca (kg/cm²) DIN 52105	1600 a 2400	1700 a 3000	1800 a 3000	2500 a 4000	1800 a 2500	200 a 300
Resistência à Tração na Flexão (kg/cm²) DIN 52112	100 a 200	100 a 220	150 a 200	150 a 250	150 a 250	20 a 60
Desgaste por Abrasão sobre 50 cm² (cm³) DIN 52108	5 a 8	5 a 8	5 a 8	5 a 8,5	5 a 8	--

Comparando os valores da tabela com a informação disponibilizada pelo LNEG no *site Rochas Ornamentais Portuguesas*, pode-se concluir que a rocha pode ser usada como rocha ornamental pois o seu peso específico é de 2,84 kg/dm³, possui uma porosidade aberta de 0,4%, que embora não se encontre no intervalo recomendado é aceitável, o mesmo acontece para a absorção de água, pois o intervalo recomendado é entre 0,2% a 0,4% e a rocha em estudo possui uma absorção de água de 0,1%. Relativamente à resistência à compressão esta possui um valor de 1660kg/cm², esta não se encontra dentro do intervalo recomendado, mas como se pode ver na tabela 13 esta característica só importa para o uso como coluna e pilar, além disso este valor torna-se aceitável pois raramente uma rocha ornamental trabalha à compressão e relativamente à resistência à flexão, esta encontra-se dentro do intervalo recomendado.

Tabela 13 - Tabela de importâncias das várias propriedades de acordo com as aplicações mais comuns (Moura et al, 2000).

	Revestimentos		Pavimentos		Escadaria	Colunas e Pilares	Ardósias telhados
	Interiores	Exteriores	Interiores	Exteriores			
Análise Petrográfica	B	B	B	B	B	B	B
Análise Química	C	C	C	C	C	C	C
Massa Volúmica	B	B	B	B	B	B	B
Absorção H₂O e Porosidade Aberta	C	B	C	B	C	B (ext.)	A

Resistência à Compressão	C	B	C	B	B	A	-
Gelividade	-	A	-	A	A (ext.)	A (ext.)	-
Resistência à Flexão	C	B (*a)	B	B	A	-	A
Dilatação Linear Térmica	-	A	-	B	-	A	-
Resistência ao Desgaste	-	C	B	A	A	-	-
Resistência ao Choque	C (*c)	C (*c)	B	A	A	-	-
Resistência às Agrafagens	B	A	-	-	-		
Resistência Escorregamento	-	-	B	A	A	-	-
Módulo de Elasticidade	-	A	-	B	A	-	C
Microdureza knoop	-	C	B	A	B	-	-
Durabilidade							
Resistência ao Choque Térmico	C	A	C	A	B	-	A
Resistência aos Sais	-	(*b)	-	(*b)	(*b)	(*b)	(*b)
Resistência aos Ácidos	-	(*b)	-	(*b)	(*b)	(*b)	(*b)
Conteúdo de carbonatos	-	-	-	-	-	-	A

(*a) – recomendado caso a aplicação seja por meio de agrafagens

(*b) – recomendado em função do ambiente

(*c) – passa a ter importância A quando aplicado em zonas baixas de paredes (rodapés)

A tabela 14 representa a comparação dos valores do LNEG (2017) com os valores padrão.

Tabela 14 - Comparação dos valores padrão, para o gabrodiorítico, com os valores disponibilizados pelo LNEG.

Ensaio	Valor LNEG	Valores Padrão	Unidades
Massa volúmica aparente	2,84	2,8 a 3	Kg/dm ³
Resistência à compressão	1660	1700 a 3000	Kg/cm ²
Porosidade aberta	0,4	0,5 a 1,2	%
Absorção de água	0,1	0,2 a 0,4	%
Resistência à compressão após gelividade	1820	-----	Kg/cm ²
Resistência à flexão	173	100 a 220	Kg/cm ²

Como já foi dito anteriormente, o valor para a resistência à compressão disponibilizada pelo LNEG encontra-se abaixo do intervalo recomendado, mas a Visa Consultores realizou um ensaio que pode ser aplicado para rochas ornamentais, o ensaio do martelo da resistência à compressão uniaxial que já foi analisado anteriormente neste capítulo. Segundo esse ensaio a rocha possui uma resistência à compressão média de 225MPa ou 2294,36 Kg/cm² e este valor encontra-se no intervalo recomendado para a resistência à compressão (tabela 15).

Tabela 15 - Comparação dos valores da resistencia à compressão.

Ensaio	Valor do LNEG	Valor Visa Consultores	Intervalo Recomendado
Resistência à compressão	1660 Kg/cm ²	2294,36 Kg/cm ²	1700 a 3000 Kg/cm ²

Como para além do gabro o granito rosa também pode ser alvo de extracção, também se irão comparar os valores do LNEG com os valores padronizados.

Como se pode ver na tabela 16 o valor para a resistência à compressão disponibilizada pelo LNEG encontra-se abaixo do intervalo recomendado, o que inspira alguns cuidados em aplicações que usem a pedra à compressão, como por exemplo colunas e pilares. Os valores restantes encontram-se todos dentro do intervalo padronizado não existindo razão para alarme.

Tabela 16 - Comparação dos valores padrão, para o granito rosa, com os valores disponibilizados pelo LNEG.

Ensaio	Valor	Valores Padrão	Unidades
Massa volúmica aparente	2,63	2,4 a 2,8	Kg/dm ³

Resistência à compressão	1340	1600 a 2400	Kg/cm ²
Porosidade aberta	0,4	0,4 a 1,4	%
Absorção de água	0,2	0,2 a 0,5	%
Resistência à compressão após gelividade	1530		Kg/cm ²
Resistência à flexão	120	100 a 200	Kg/cm ²

Além destes valores existem outros dois disponibilizados pelo LNEG, o coeficiente de dilatação térmica e a resistência ao choque. Estes valores não se encontram padronizados pois são valores muito específicos para aplicações muito particulares.

Concluindo, a rocha em estudo pode ser aplicada em qualquer tipo de aplicações interiores e exteriores, tendo em conta o valor do ensaio à compressão realizado por Lopes (2009) e não o disponibilizado pelo LNEG. Há que salientar também que alguns dos valores usados para a comparação foram os disponibilizados pelo LNEG, pois apesar de existirem ensaios realizados e valores disponibilizados por Lopes (2009), estes foram realizados com o intuito de produzir agregados e não rocha ornamental.

3.4 Avaliação de reservas com o *software Rockware*

3.4.1 Descrição do Programa



Uma parte importante para a exploração de uma pedreira é a identificação das zonas onde se encontram os alvos de exploração, a sua qualidade e a sua distribuição espacial. Para isso é usado o *software* da *Rockware-Rockworks* que usa dados introduzidos directamente no programa ou importados através de uma folha de cálculo *Excel*, ou neste caso uma combinação dos dois.

Primeiro para se poder inserir os dados é necessário criar um novo projecto, onde irá ser necessário especificar onde se encontra o local de estudo, o tipo de coordenadas a usar e as unidades em que vão ser apresentadas a elevação e comprimento das sondagens.

Os dados inseridos podem ser de vários tipos, sendo que o primeiro é relativo a sondagem, isto é, a sua localização, inclinação, comprimento e a elevação do terreno. O segundo tipo é relativo a estratigrafia, o terceiro tipo é respeitante à litologia, ou seja, que tipo de litologia é intersectado e a que profundidade e, finalmente, pode-se inserir informação adicional quanto ao RQD ou outro tipo de dados geotécnicos na secção *I-data*.

Para introduzir os dados directamente no programa primeiro terá de se identificar a sondagem, de seguida introduzir as coordenadas das sondagens e por fim especificar dados quanto á elevação da boca da sondagem e o seu comprimento, Figura 37.

Borehole Location Information

Borehole Name* Symbol  Raster Symbol 

Collar Coordinates Comments Other Coords

Horizontal: UTM Meters, Datum: WGS-84 (NAD-83), Zone: 29

Easting* Meters

Northing* Meters

Vertical: Meters

Z (Elevation)* Meters

Collar Elevation* Meters

Total Depth* Meters

Figura 37 - Dados relativos à localização da sondagem.

De seguida, é necessário introduzir dados quanto à sua orientação, como o azimute e a inclinação. No caso de as sondagens terem sido realizadas com inclinação é necessário especificar a inclinação na boca do furo e no fundo do furo, pois caso isso não seja feito o furo será representado por uma curva, Figura 38.

	Depth	Azimuth	Inclination
▶	0,0	0,0	-40,0
	40,0	0,0	-40,0

Figura 38 - Introdução do azimute e inclinação das sondagens.

Posteriormente, indica-se a geologia intersectada, indicando a que profundidade se intersectou o topo da camada e quando é que esta acabou, Figura 39.

Depth to To	Depth to Base	Keyword	Comment
▶ 0,0	4,1	Zona de alteraçã	
	4,1	5,5 Granito	Com bastante feldspato
	5,5	10,4 Gabro	
	10,4	16,2 Rocha Híbrida	Gabro diorítico
	16,2	19,2 Mistura	gabro+veios de feldspato
	19,2	23,8 Gabro	
	23,8	27,4 Rocha Híbrida	
	27,4	33,3 Gabro	
	33,3	35,7 Gabro+feldspato a	
	35,7	38,6 Mistura	Gabro de grão fino+gabro grão médio+quartzo e feld

Figura 39 - Introdução da informação relativamente à geologia.

Existem também campos específicos para a introdução de dados quanto a fracturas, nível freático e poços, caso existam.

Também existe a opção de criar uma base de dados em “Excel” onde o recomendado é criar uma nova folha para cada opção, como se pode ver na Figura 40.

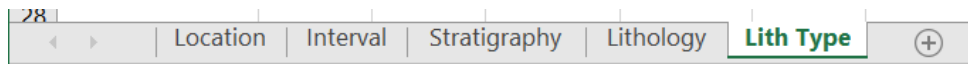


Figura 40 - Organização da folha de cálculo para a introdução de dados.

Depois de inserida e identificada a informação no ficheiro Excel é necessário importar o ficheiro para o programa informático, carregando no botão File selecionando depois a opção Import e, finalmente, escolher as opções Excel e Multiple tables, Figura 41.

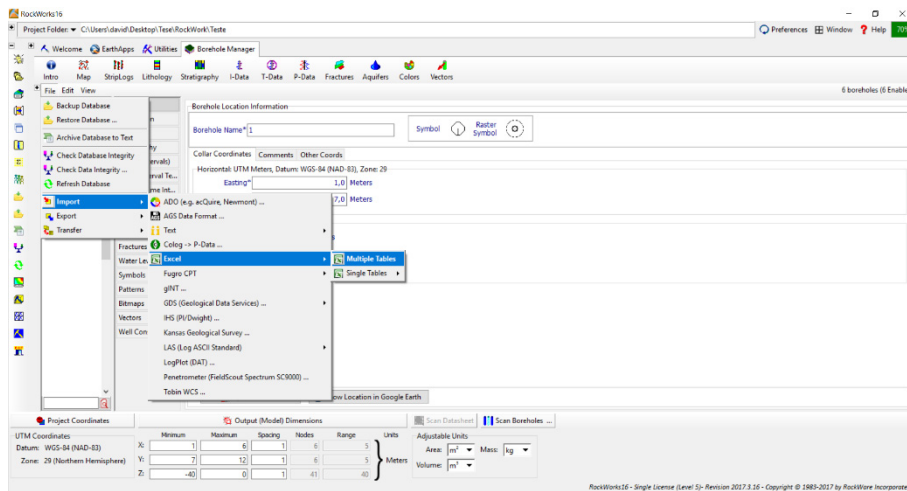


Figura 41 - Como importar um ficheiro "Excel".

Depois de importados ou introduzidos os dados, para gerar o modelo que representa a distribuição da geologia espacialmente, é selecionada a opção Lithology e, em seguida, a opção Model (Figura 42).

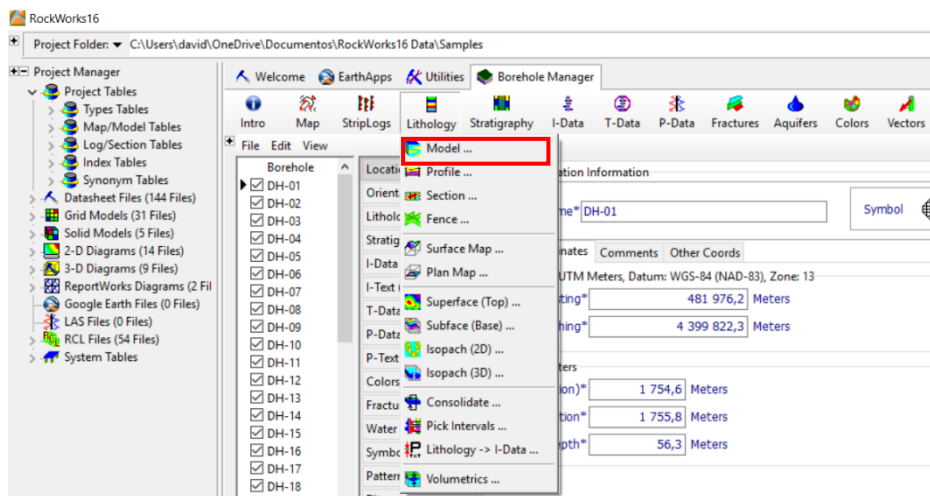


Figura 42 - Primeiro passo para a criação do modelo 3D.

Depois de selecionada a opção “Model” obtém-se o ecrã apresentado na Figura 43, onde se indica o que é possível construir com este programa e o que é necessário para tal.

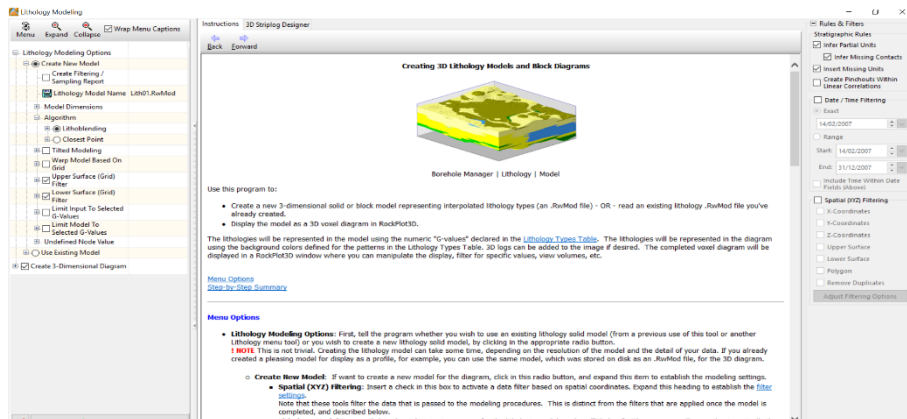


Figura 43 - Segundo passo para a criação do modelo 3D.

Posteriormente, usando a opção *3D Striplog Designer* é possível selecionar a informação pretendida para construir o modelo (Figura 44).

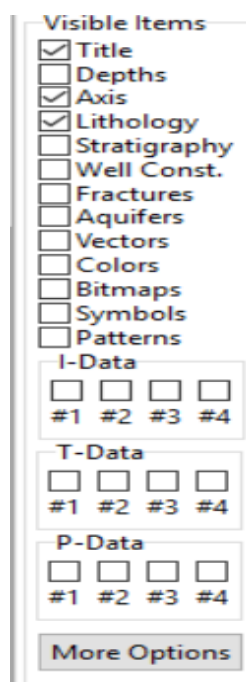


Figura 44 - Terceiro passo para a criação do modelo 3D.

Como se pode ver na Figura 45, a informação que se pode selecionar, para aparecer no modelo a três dimensões, é o título, a profundidade, os eixos, a litologia, a estratigrafia, a construção de poços, as fracturas, os aquíferos, os vectores, as cores, os “bitmaps”, os símbolos, os padrões, a *I-Data*, a *T-Data* e a *P-Data*.

Finalmente, pode-se gerar o modelo a três dimensões, o modelo gerado pode ser criado através da aplicação de 2 algoritmos, um é o algoritmo do ponto mais próximo e o outro algoritmo é o *lithoblending* (Figura 45).

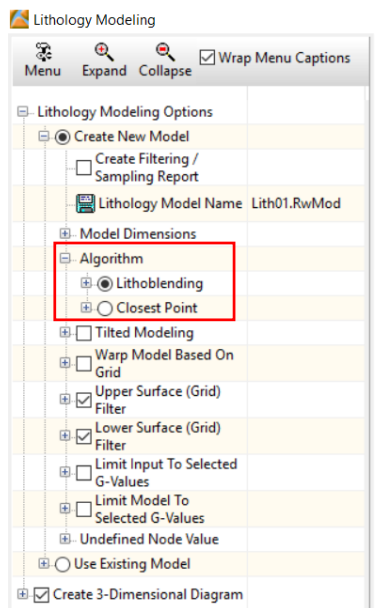


Figura 45 - Quarto passo para a criação do modelo 3D.

O primeiro algoritmo, o do ponto mais próximo, é o método mais básico para a modelação de sólidos, onde o valor de cada ponto é igual ao valor do ponto de dados mais próximo, independentemente da sua distância ou do valor dos pontos vizinhos. Este método tem como vantagem a proximidade dos valores obtidos no modelo se encontrarem dentro dos valores fornecidos para gerar o modelo e, como desvantagem, o facto de o modelo pode conter diferenças drásticas de informação entre pontos.

O segundo algoritmo, *lithoblending*, utiliza os valores "G" que são previamente atribuídos a cada tipo de litologia, e funciona da seguinte maneira: primeiro atribui a cada ponto ao redor de cada furo o valor litológico mais próximo, fazendo isto sucessivamente até o programa encontrar um ponto que já tenha uma litologia associada.

Outro método para ficar a conhecer a disposição da litologia no subsolo é através do método *Isopach 3D* (Figura 46).

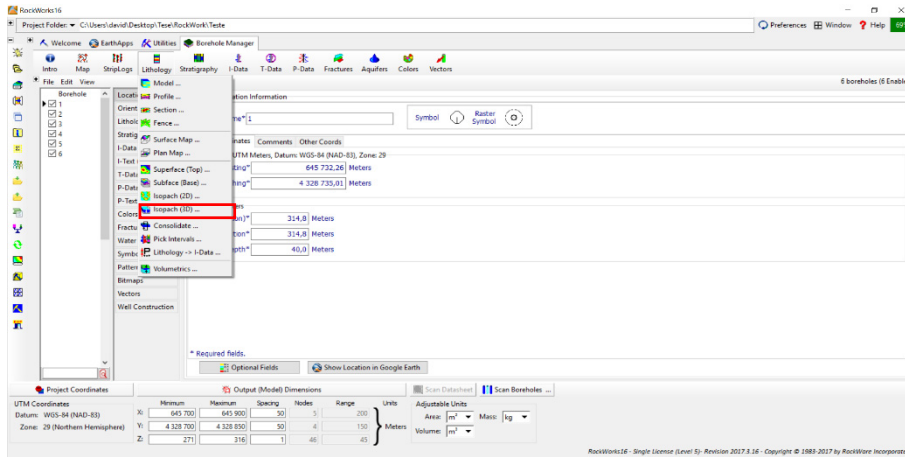


Figura 46 - Método "Isopach 3D".

Este método gera um modelo 3D de cada camada individualmente sendo por isso mais fácil estudá-las.

3.4.2 Cálculo das coordenadas

Um dos dados necessários para a realização do modelo geológico são as coordenadas das sondagens.

O cálculo das coordenadas foi possível através o desenho disponibilizado no anexo do relatório da Visa Consultores (Figura 47).

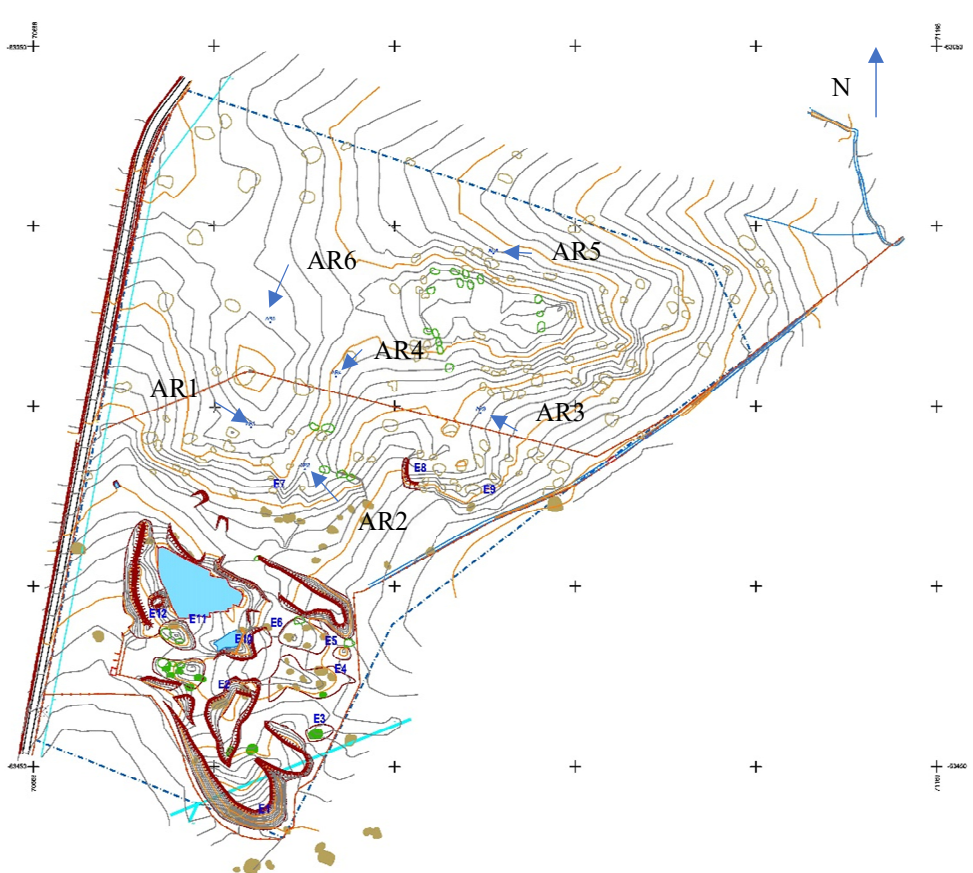


Figura 47 - Desenho da pedra realizada à escala 1:1000.

O desenho mostra a área da pedreira bem como algum do terreno circundante e disponibiliza as coordenadas segundo o *datum* de Lisboa.

Para o cálculo das coordenadas foi usada a malha quadrada da imagem, cada quadrado tem 100m de lado, e a regra de três simples. As coordenadas das sondagens estão disponibilizadas na tabela 17.

Tabela 17 - Coordenadas das sondagens segundo o "datum" de Lisboa.

Sondagem	Coordenadas
AR1	70 789,875; -63 262,5
AR2	70 818; -63 284,375
AR3	70 914,875; -63 253,125
AR4	70 836,75; -63 231,25
AR5	70 921,125; -63 162,5
AR6	70 799,25; -63 203,125

Contudo, para introduzir as coordenadas no *software* foi necessário convertê-las para o *datum* WGS 84, para isso foi usado o *site* <http://geomatica.no.sapo.pt/proj4js.html> e os resultados podem ser vistos na tabela 18.

Tabela 18 - Coordenadas das sondagens segundo o "datum" "WGS 84".

Sondagem	Coordenadas
AR1	39,09558, -7,3148
AR2	39,0954; -7,3145
AR3	39,09565; -7,3133
AR4	39,0958; -7,3142
AR5	39,0964; -7,3134
AR6	39,0961; -7,3147

Embora o programa não utilize este tipo de coordenadas estas podem ser inseridas deste modo, pois este tem a funcionalidade de as converter para o tipo de coordenadas usado, *datum* UTM.

Depois de inseridas as coordenadas é necessário inserir também a elevação do terreno onde as sondagens foram realizadas, essa informação também foi obtida através do relatório de Lopes (2009) (Figura 48).

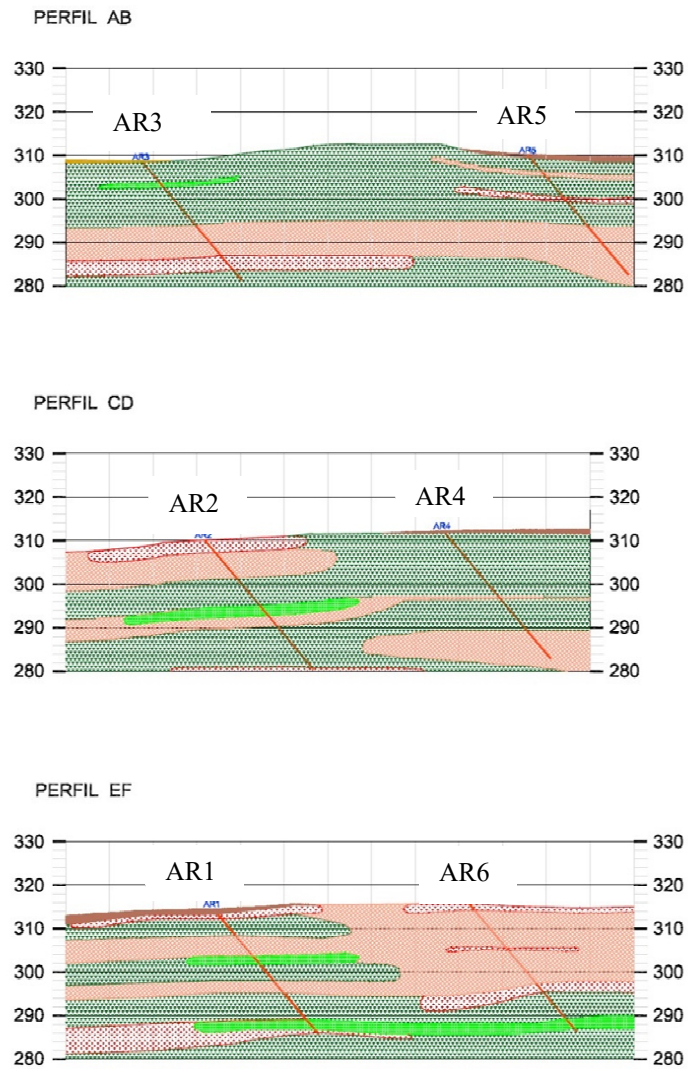


Figura 48 - Perfis do terreno com identificação das sondagens.

3.4.3 Prospecção em profundidade

Neste tópicos irão ser analisados os dados obtidos através de sondagens realizadas pela empresa Consmaga Geólogos e Engenheiros Consultores (2006), com o objectivo de identificar o melhor local para a extracção da rocha ornamental. No total foram realizadas seis sondagens, cujo resultado se encontra no anexo 1.

De seguida foram inseridos os dados, relativos às sondagens, no *software* da *Rockwoks*, como foi explicado no ponto 3.4.1, e foram gerados perfis geológicos que mostram a distribuição das unidades geológicas.

No total foram realizados 5 perfis, 3 verticais e 2 horizontais, como se pode ver na Figura 49.

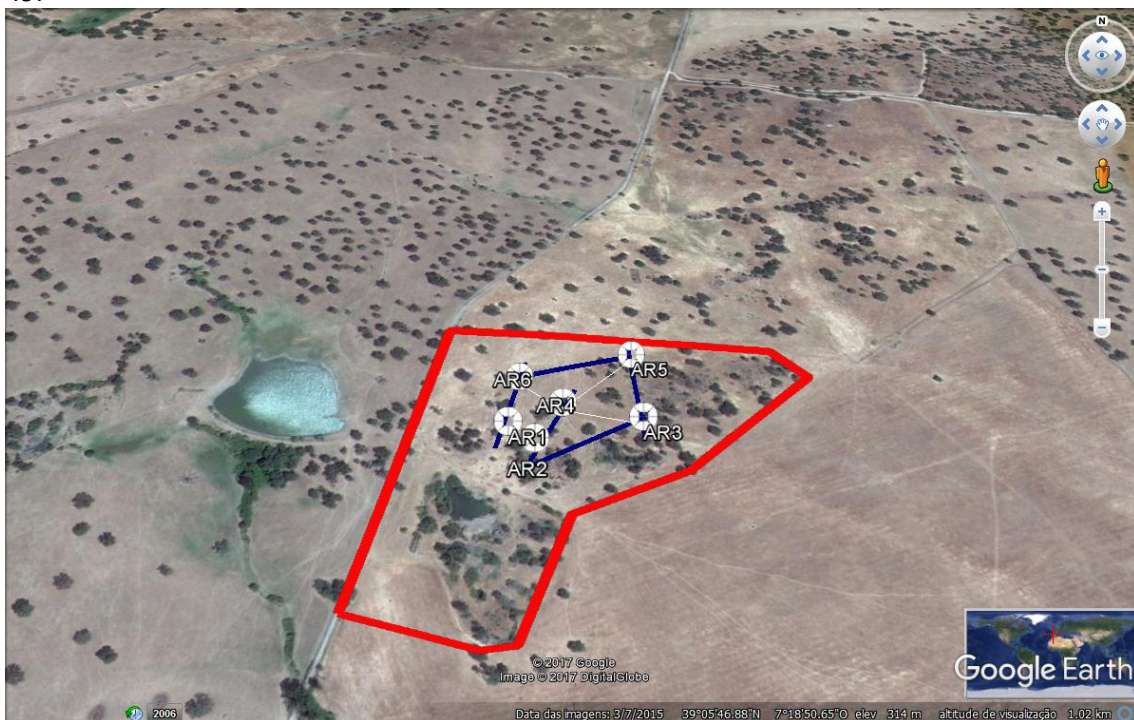


Figura 49 - Localização dos perfis dentro da área da pedreira.

Como se pode concluir pela análise dos perfis geológicos, Figuras 50 a 54, a massa rochosa compreende 6 litologias diferentes: gabro, granito, granito rosa, mistura, rocha híbrida e zona de alteração. Há que salientar que o granito, representado a vermelho nos perfis, é granito alterado, a rocha mistura como o próprio nome indica é uma mistura de rochas em que a rocha dominante é o gabro, a rocha híbrida é gabro diorítico, por fim, a zona de alteração é o solo.

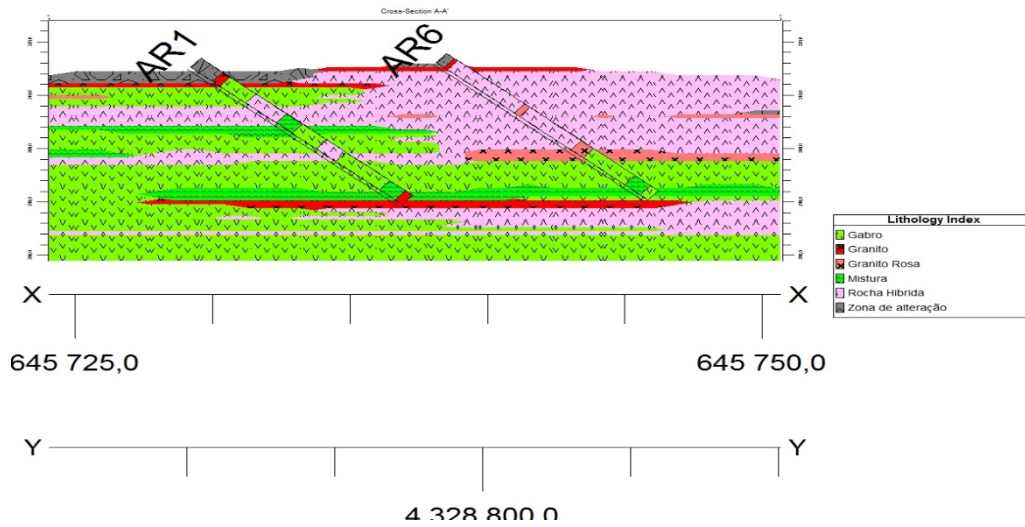


Figura 50 Perfil AR1-AR6.

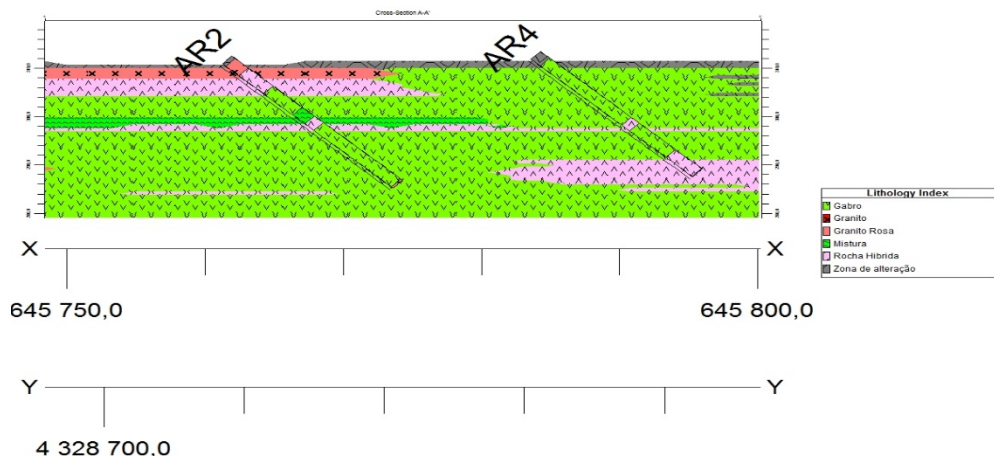


Figura 51 - Perfil AR2-AR4.

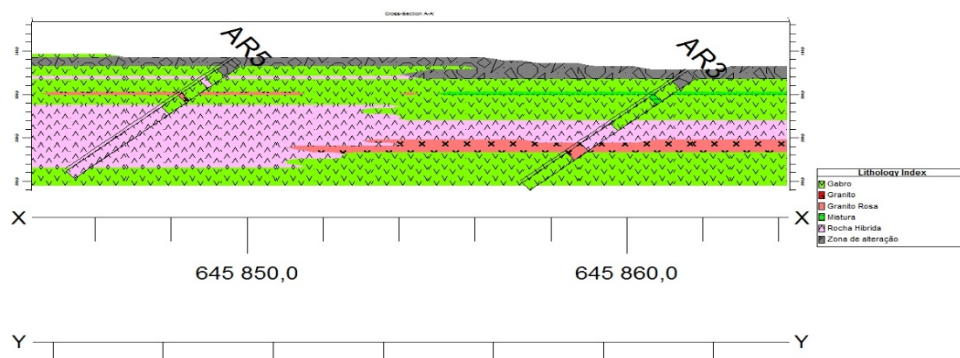


Figura 52 - Perfil AR5-AR3.

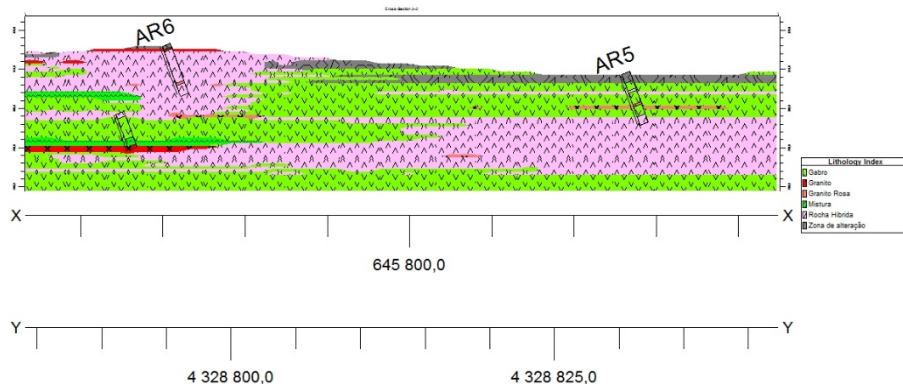


Figura 53 - Perfil AR6-AR5.

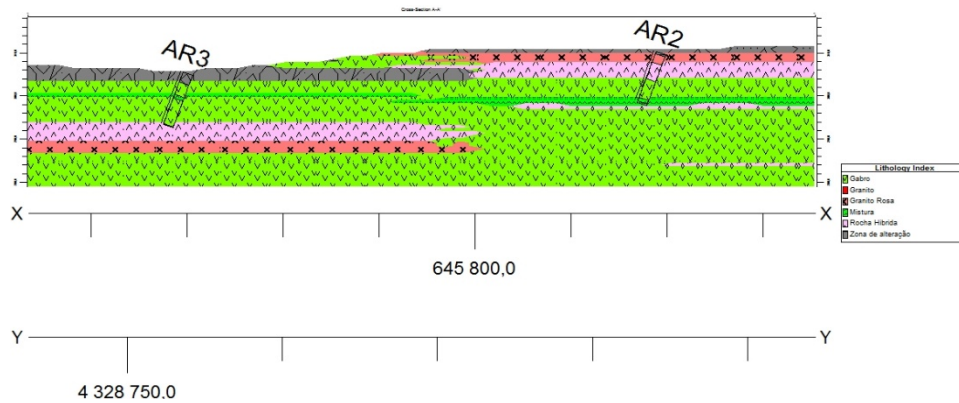


Figura 54 - Perfil AR3-AR2.

De seguida, e com recurso ao modelo a três dimensões, Figuras 55 a 58, foi possível ficar a conhecer a massa e volume de algumas unidades geológicas, bem como identificar o melhor local para realizar a exploração da rocha ornamental.

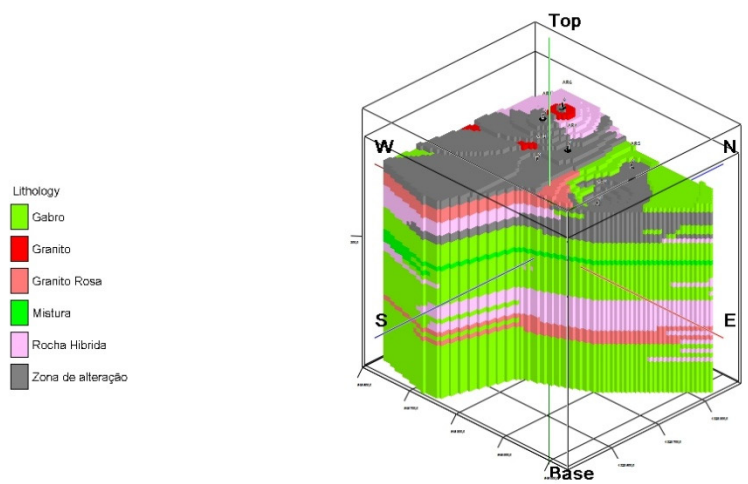


Figura 55 - Vista sudeste do modelo.

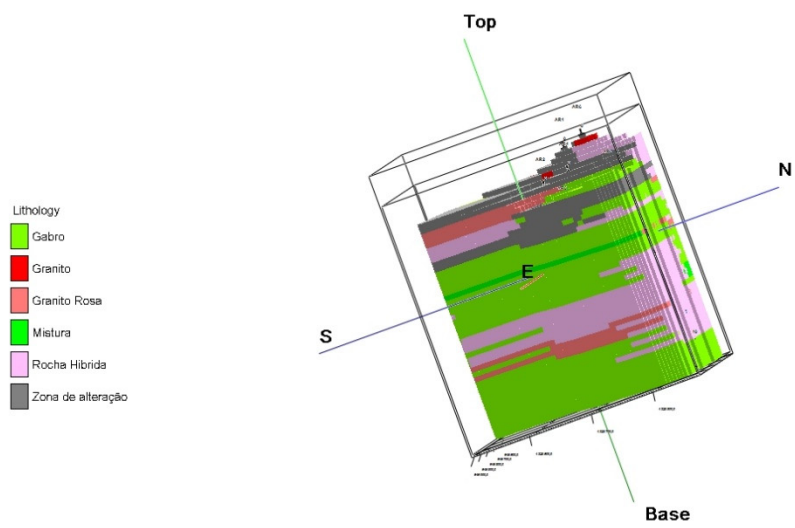


Figura 56 - Vista nordeste do modelo.

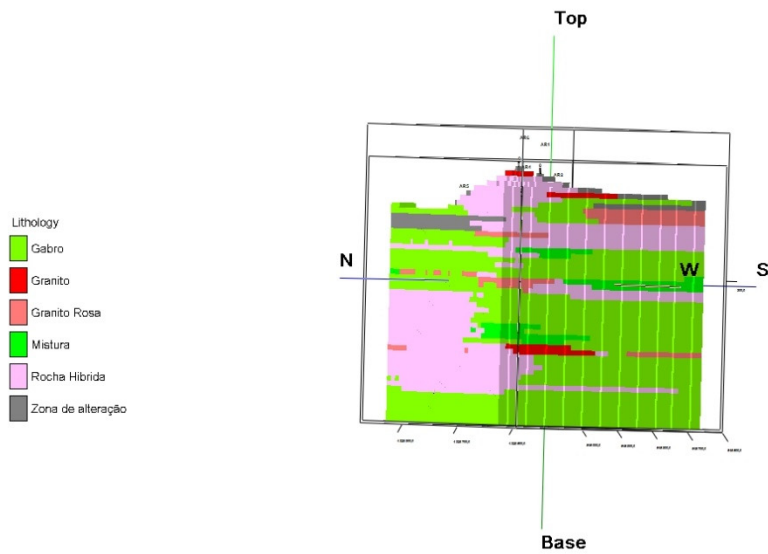


Figura 57 - Vista noroeste do modelo.

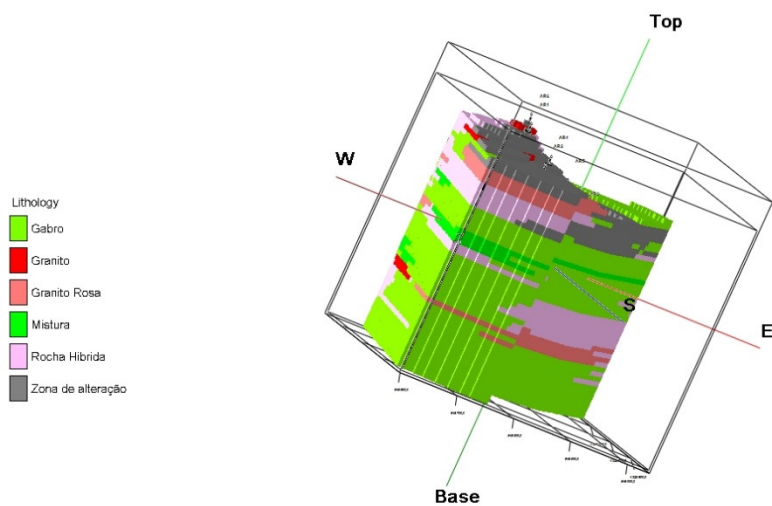


Figura 58 - Vista sudoeste do modelo.

As imagens do modelo encontram-se exageradas na escala vertical, para melhor percepção do mesmo.

Através do modelo geológico foi possível determinar a massa e volume de cada unidade geológica, os quais se apresentam na tabela 19.

Tabela 19 - Massa e Volume das litologias.

Litologia	Volume (área da pedreira) m ³	Porcentagem	Massa Kg
gabro	1634506,50	58,13	4740068,85
granito	20111,50	0,72	-----
granito rosa	189609,50	6,74	502465,18
mistura	109682,50	3,90	
rocha híbrida	675085,75	24,01	1917243,53
zona de alteração	182627,75	6,50	-----
Total	2811623,50	100,00	-----

Como se pode concluir através da análise da tabela 19 o gabro tem uma massa de 4 740 068,85 Kg e um volume de 1 634 506,5 m³. Para identificar o melhor local para a extração do gabro foi analisado o modelo, no sentido de identificar locais onde existe maior concentração de gabro e/ou onde existissem menos intercalações com outras unidades litológicas.

Pela análise das imagens pode-se concluir que os locais a seleccionar para a extração do gabro são junto ao extremo sudeste e sudoeste do modelo, porque nestes locais o gabro apresenta mais continuidade e menos intercepções por outras unidades geológicas.

Esta escolha também é suportada pelo modelo construído com base nos valores RQD, pois nestes locais o gabro apresenta um valor de RQD igual ou superior a 75, como se pode ver na Figura 59.

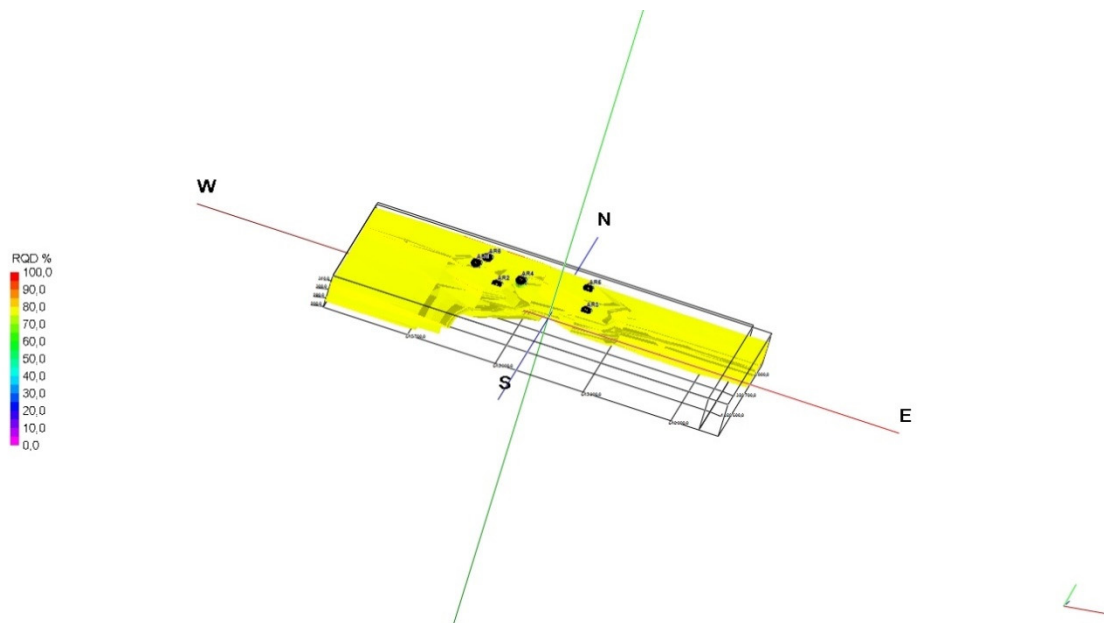


Figura 59 - Modelo RQD superior a 75%.

Estes dados também significam que o maciço neste local tem uma classificação de bom/excelente (tabela 20).

Tabela 20 - Qualidade do maciço segundo o RQD(adaptado de Deere&Deere, 1998).

RQD	Qualidade do Maciço Rochoso
0 a 25%	Muito fraco
25 a 50%	Fraco
50 a 75%	Razoável
75 a 90%	Bom
90 a 100%	Excelente

As localizações noroeste e sudoeste do modelo são excluídas pois, apesar do valor de RQD ser tão ou mais elevado que nos outros locais, o gabro não apresenta a mesma continuidade.

Embora o índice de qualidade RQD seja utilizado para delimitar a área de exploração, este índice não é o mais apropriado para tal fim, pois estes destina-se mais a obras de engenharia com fundações e estabilidade dos maciços (Ramos et al, 2010).

3.4.5 Cálculo das Reservas

Neste ponto irá ser tratado o cálculo do volume das reservas disponíveis. No ponto da prospecção em profundidade foi possível aferir que existe um total de 1 634 506,5 m³ de gabro, 189 609,5m³ de granito rosa e 675085,75 m³ de gabro diorítico, mas não é possível extrair este volume na totalidade, pois nem todas as camadas têm possança suficiente para a extracção de um bloco de aproximadamente 4m, valor do índice dimensional. De notar que apesar de o principal produto a extrair ser o gabro também vão ser calculadas as reservas do granito rosa e do gabro diorítico.

Para avaliar qual o volume que é possível extrair foi utilizada uma funcionalidade do *Rockworks*, que através da inserção do valor do índice dimensional calcula o volume que é possível extrair com essa dimensão, Figura 60.

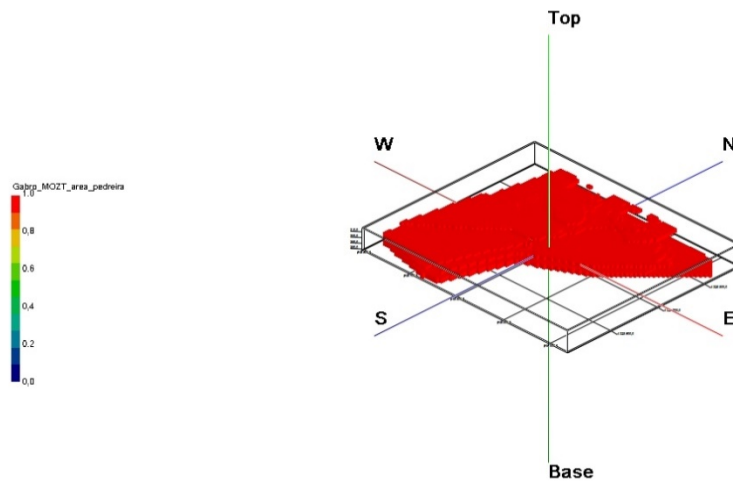


Figura 60 - Volume de gabro que é possível extrair.

Na Figura 66, podemos ver representado a vermelho o volume de gabro que é possível extrair com uma espessura máxima de 4m, ou seja, cerca de 1 2560622m³. Posteriormente foi realizado o mesmo exercício para a rocha híbrida ou gabro diorítico, Figura 61, totalizando um volume de 336 749m³.

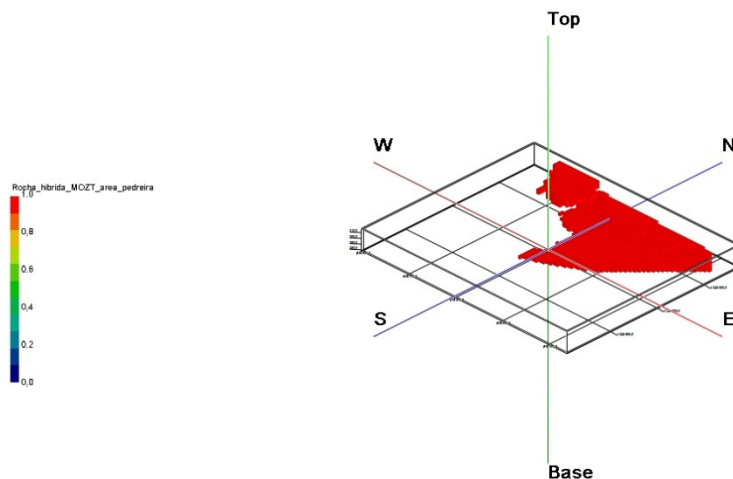


Figura 61 - Volume de rocha híbrida que é possível extrair.

Por fim, aplicou-se o mesmo raciocínio ao granito rosa, mas verificou-se que não é possível extrair granito com a espessura de 4m reduzindo-se assim para a próxima espessura em

que é possível realizar a extração, 2m. O volume possível de extrair encontra-se representado na Figura 62.

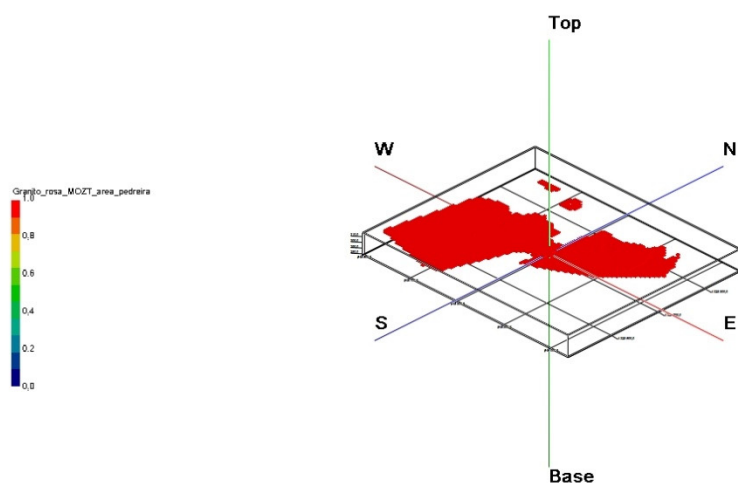


Figura 62 - Volume de granito rosa que é possível extrair.

De uma forma resumida encontram-se representados na tabela 21 o volume total disponível, o volume que é possível extrair e o volume de rejeito, obtido pela diferença entre os volumes anteriores.

Tabela 21 - Tabela resumo sobre os volumes.

Litologia	Volume (área da pedreira) m ³	Percentagem	Volume Utilizável m ³	Rejeito m ³
gabro	1634506,5	58,13	1256622,0	377884,5
granito	20111,5	0,72	-----	-----
granito rosa	189609,5	6,74	132750,5	56859,0
mistura	109682,5	3,90	-----	-----
rocha híbrida	675085,75	24,01	336749,0	338336,8
zona de alteração	182627,75	6,50	-----	-----
Total	2811623,5	100,00	1726121,5	773080,3

Pela análise da tabela 22 pode-se concluir que existe um rejeito de gabro na ordem dos 23,12%, 30% de granito rosa e 50% de rocha híbrida, ou seja, um rejeito total na ordem dos 27%.

Tabela 22 - Percentagem de material utilizável e de rejeito.

Litologia	Massa rochosa utilizável (%)	Rejeito (%)
gabro	76,88	23,12
granito	-----	-----
granito rosa	70,01	29,99
mistura	-----	-----
rocha híbrida	49,88	50,12
zona de alteração	-----	-----
Total	61,39	38,61

De seguida, para um conhecimento mais refinado, foi feito o mesmo exercício de cálculo das reservas para a área de exploração, tabela 23. Os modelos encontram-se em anexo (anexo 2).

Neste caso, deve-se destacar que o granito rosa e a rocha híbrida são casos especiais, pois, com as dimensões calculadas atrás não existia quantidade suficiente para a produção ser rentável ou a litologia nem sequer existe na área de produção, por isso os volumes apresentados na tabela 23 foram calculados para uma dimensão mais pequena, 2m no caso do granito rosa e 3m no caso da rocha híbrida.

Na tabela 23 também só se encontram explícitos os valores do gabro, do granito rosa e da rocha híbrida, pois, são os que vão ser alvos de exploração.

Tabela 23 Tabela resumo sobre os volumes na área de exploração.

Litologia	Volume (área de exploração)	Percentagem	Volume Utilizável	Rejeito
gabro	507 039,75	63,61	397 667,50	109 372,25
granito	0,00	0,00	-----	-----
granito rosa	77 252,50	9,69	54 476,25	22 776,25
mistura	41 208,50	5,17	-----	-----
rocha híbrida	125 567	15,75	56 155,25	69 411,75
zona de alteração	46 081,25	5,78	-----	-----
Total	797 149	100,00	508 299	201 560,25

3.4.6 Definição das bancadas e do sentido de desmorte.

Ao contrário do que se passa no desmorte de rocha industrial em que o sentido de desmorte é só um, no desmorte de rocha ornamental o sentido de desmorte varia ao longo da exploração da pedreira.

Para determinar os sentidos de desmorte no caso de estudo recorreu-se ao bloco unitário. Para isso, no cubo de onde foi extraído o bloco unitário, determinou-se o número de blocos unitários que é possível extrair (Figura 63).

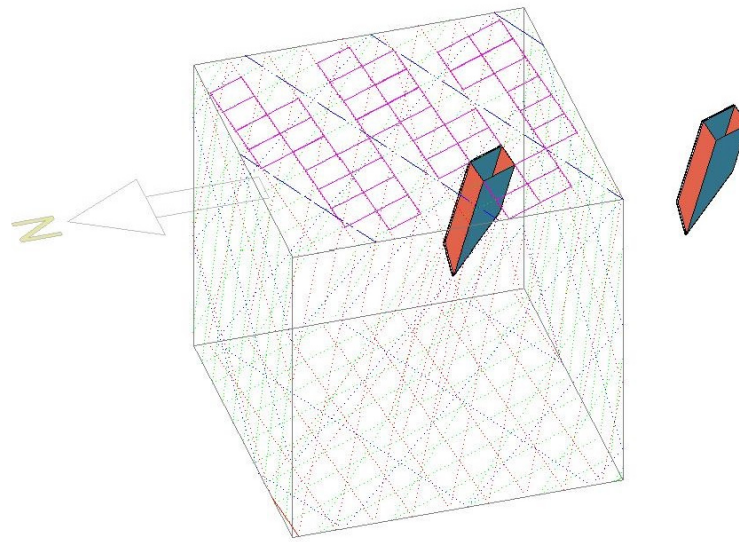


Figura 63 Blocos possíveis de extrair.

Posteriormente, foi extrapolado o mesmo método para toda a área da pedreira (anexo 3).

Após analisadas as duas imagens pode-se concluir que o melhor sentido de desmorte é de norte para sul. O desmorte será feito de forma contínua não atendendo à aplicação futura da rocha, pois as características da rocha ao longo do maciço são muito parecidas. A separação da rocha para as diferentes aplicações será realizada depois do desmorte e esquartejamento dos blocos.

Quanto às dimensões, cada conjunto de blocos será tratado com uma bancada diferente (Figura 64), por isso, as dimensões irão variar para cada caso.

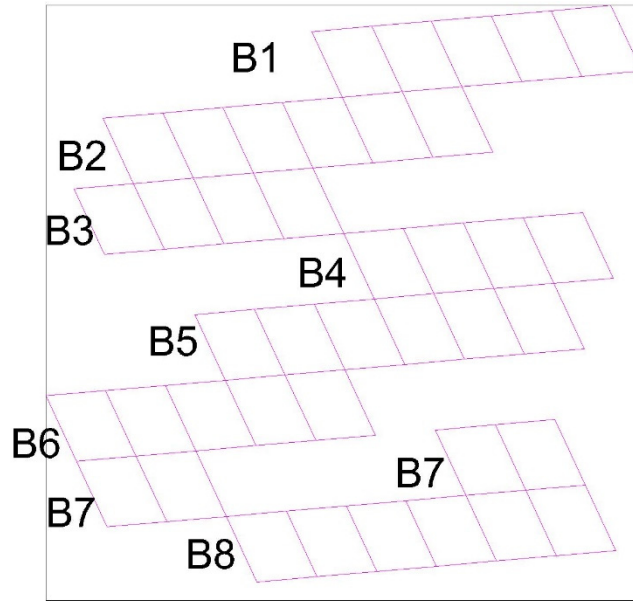


Figura 64 - Disposição das bancadas.

Capítulo 4 – Proposta de Plano de Lavra

4 Proposta do plano de Lavra

4.1 Método de Desmonte

O método de desmonte escolhido é o fio diamantado, pois apesar de ser mais caro que o desmonte por explosivos, apresenta uma superfície de corte mais regular, um menor rejeito resultante do desmonte e, no caso em estudo, em que o bloco unitário não apresenta uma forma simples, o menor rejeito na fase de desmonte é sempre benéfico, tal como uma superfície de corte mais regular também se pode traduzir em benefícios para a fase de transformação.

A Figura 65 apresenta uma comparação entre o destacamento do bloco inicial com explosivos e o destacamento recorrendo ao fio diamantado.



Figura - 65 Desmonte realizado com explosivo (à esquerda) *versus* desmonte feito com fio diamantado (à direita).
<https://storage.googleapis.com/mapio-net-pic/41264997.jpg> <https://www.gamineral.org/ft/2016/ft201601-12.jpg>

Como já foi dito anteriormente, o método de desmonte escolhido é o fio diamantado.

Este método consiste na realização de dois furos, um na vertical e um na horizontal, e fazer o fio diamantado passar por esses furos.

Mas para realizar o corte com o fio diamantado não basta fazer dois furos, pois tem de se criar espaço para colocar o equipamento a trabalhar, uma vez que este não cabe nas faces laterais.

O processo de desmonte de rocha ornamental recorrendo a meios mecânicos envolve 4 fases: a desmatação, o desnudamento, a abertura de caixas e canais, a definição das frentes e, finalmente, o próprio desmonte da frente (Sobreiro,2007).

4.2 Desmatação

No processo de desmonte esta é a primeira fase, pois vai remover a camada de terra vegetal superficial e vai expor o maciço a ser explorado. A terra vegetal a ser removida irá ser armazenada em área periférica à pedreira para posteriormente ser utilizada no processo de recuperação ambiental da mesma.

Neste processo serão removidos aproximadamente 46 100 m³ de solo (Figura 66), volume este que corresponde à área mais a sul da pedreira. Escolheu-se remover todo o solo da área da pedreira, pois, mesmo que o solo não faça parte da zona de exploração irá sofrer danos com a passagem de veículos e outros equipamentos e terá e ser feito algum tipo de intervenção no momento da recuperação ambiental e paisagística.

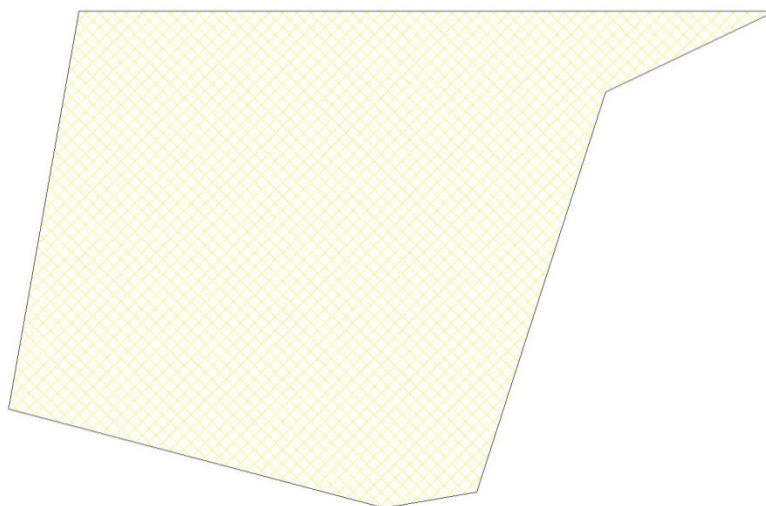


Figura 66 - Área de exploração.

4.3 Desnudamento

Nem todo o maciço rochoso é de viável exploração pois apresenta zonas de material mais alterado ou o material que é objecto de exploração não se encontra acessível, por isso, esse material deve de ser removido. O material removido será armazenado para ser utilizado no processo de recuperação ambiental da pedreira.

Nesta fase será removida toda a zona de alteração, e o granito alterado que se encontra a impedir o acesso as rochas que se queiram explorar. O processo irá remover 41 208m³ de mistura. Não será retirada mais nenhuma rocha, pois o gabro, o granito rosa e a rocha híbrida serão alvos de exploração, quanto à rocha alterada será removida no processo de desmatação.

4.4 Abertura das frentes de trabalho e valas

Como o método escolhido para o desmonte da rocha ornamental foi o fio diamantado é necessário abrir frentes de trabalho e valas para a colocação de equipamentos necessários para o desmonte, como o fio diamantado para o corte da rocha ou guias para o seu transporte.

Nestes locais é possível abrir as frentes e valas, pois ou estes locais se encontram ocupados por rocha que não é alvo de exploração ou não é possível extrair blocos completos devido ao tamanho dos mesmos ou à disposição das famílias de descontinuidades (Figura 67).

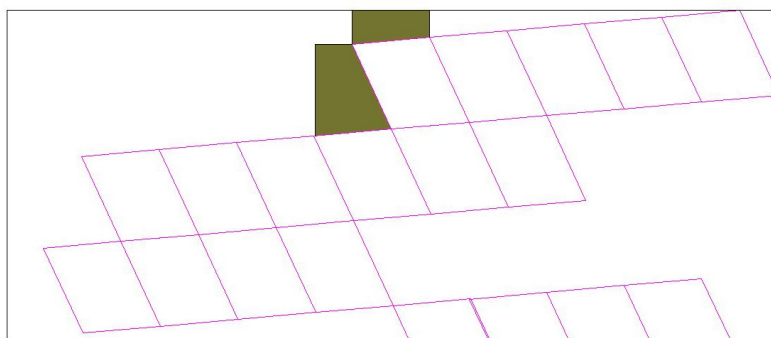


Figura 67 - Exemplo de locais onde podem ser abertas frentes e valas.

4.5 Desmonte da frente

Neste tópico irão ser tratados detalhes relativos ao desmonte e ao destacamento de várias bancadas do maciço e para isso irá ser necessário determinar a quantidade de fio necessária, quanto tempo se demora a extrair esse bloco, a quantidade de energia e água que se gasta, assim como o rejeito obtido pelo corte.

Como foi determinado no ponto 3.4.6, definição das bancadas, existem várias bancadas a destacar, a primeira, B1 (Figura 68), tem de dimensão 8m de altura, 2,43m de largura e 10,127m de comprimento.

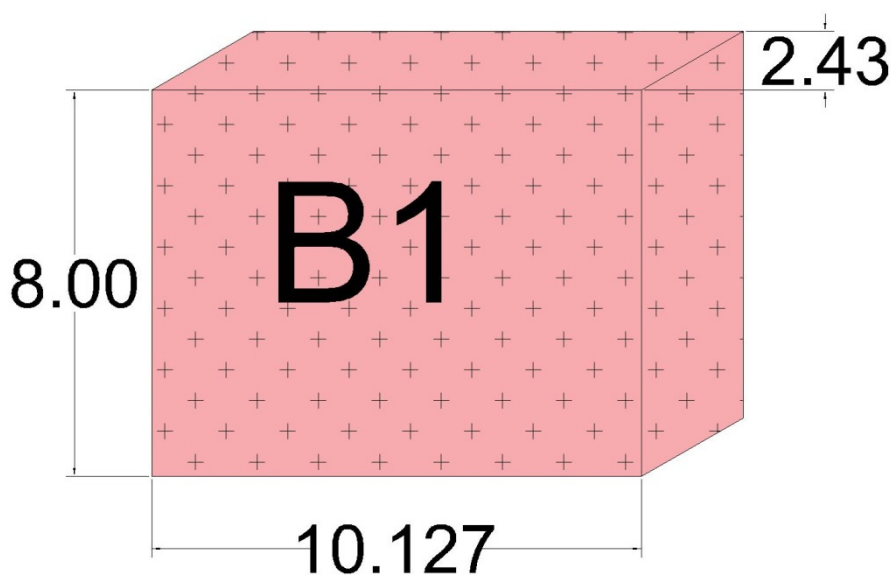


Figura 68 - Bancada B1.

Esta bancada vai possuir duas faces de 8mx2,43m, com 19,44m² cada uma, uma face de 10,127mx2,43m com 24,61m², e uma face com 10,127mx8m com 81,02m². Na tabela 24 encontra-se indicada a quantidade de fio necessária, quanto tempo se demora a extrair esse bloco, a quantidade de energia e água que se gasta e o rejeito obtido pelo corte. Os dados utilizados para o cálculo destes valores são os indicados no trabalho de Menezes (2005).

Tabela 24 - Tempos e consumos necessários para o destaque da bancada B1.

Face (m x m)	Área (m ²)	Rejeito (m ³)	Tempo (h)	Consumo de água (m ³)	Consumo de energia (KW/h)	Fio (m)
2x(8x2,43)	19,44	0,39	15,55	46,66	1944	9,72
10,127x2,43	24,61	0,25	9,84	29,53	1230,43	6,15
10,127x8	81,02	0,81	32,41	97,22	4050,80	20,25

A segunda bancada, B2, tem de dimensões 12,152mx8mx2,43m (Figura 69) e possui duas faces de 8mx2,43m, com 19,44m² cada uma, uma face de 12,152mx8m com 97,22m², e uma face com 12,152mx2,43m com 29,53m².

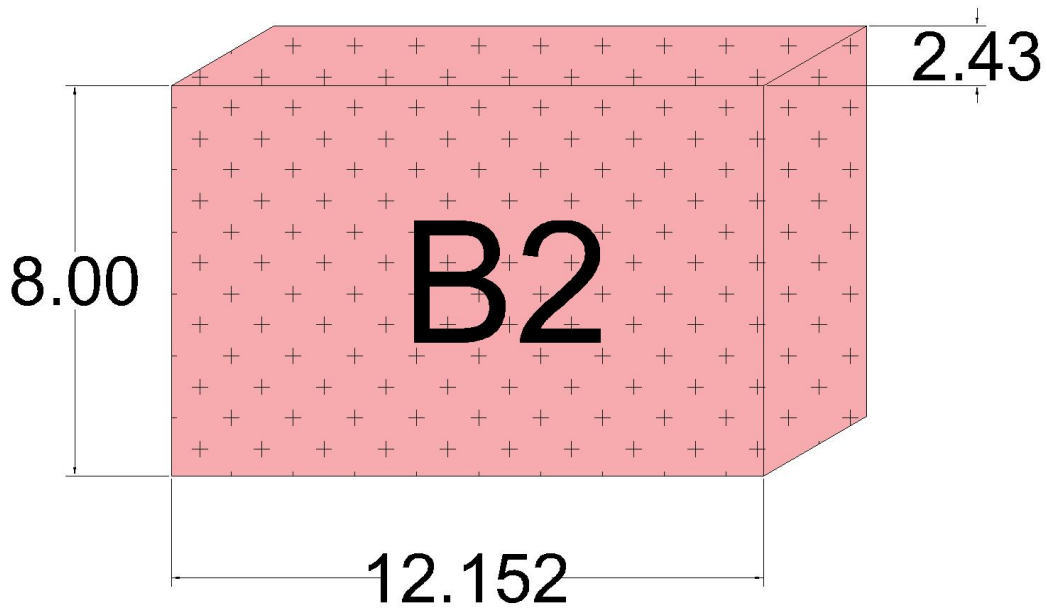


Figura 69 - Bancada B2.

Na tabela 25 encontram-se explícitos a quantidade de fio necessária, quanto tempo se demora a extrair esse bloco, a quantidade de energia e água que se gasta e o rejeito obtido pelo corte.

Tabela 25 - Tempos e consumos necessários para o destaque da bancada B2.

Face (m x m)	Área (m ²)	Rejeito (m ³)	Tempo (h)	Consumo de água (m ³)	Consumo de energia (KW/h)	Fio (m)
2x(8x2,43)	19,44	0,39	15,55	46,66	1944,00	9,72
12,152x8	97,22	0,97	38,89	116,66	4860,80	24,30
12,152x2,43	29,53	0,30	11,81	35,44	1476,47	7,38

A terceira bancada, B3, tem de dimensões 8,101mx8mx2,43m (Figura 70) e possui duas faces de 8mx2,43m, com 19,44m² cada uma, uma face de 8,101mx8m com 64,81m², e uma face com 8,101mx2,43m com 19,69m².

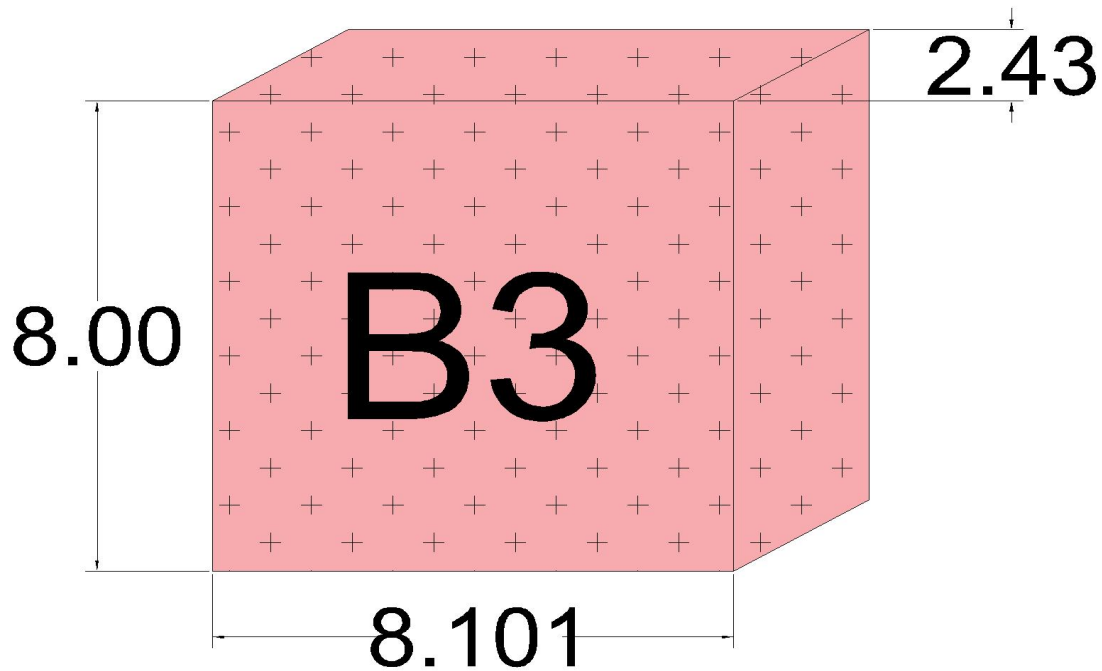


Figura 70 - Bancada B3.

Na tabela 26 encontram-se explícitos a quantidade de fio necessária, quanto tempo se demora a extrair esse bloco, a quantidade de energia e água que se gasta e o rejeito obtido pelo corte.

Tabela 26 - Tempos e consumos necessários para o destaque da bancada B3.

Face (mxm)	Área (m ²)	Rejeito (m ³)	Tempo (h)	Consumo de água (m ³)	Consumo de energia (KW/h)	Fio (m)
2x(8x2,43)	19,44	0,39	15,55	46,66	1944,00	9,72
8,101x8	64,81	0,65	25,92	77,77	3240,40	16,20
8,101x2,43	16,69	0,20	7,87	23,62	948,27	4,92

A quarta bancada, B4, tem de dimensões 8,101mx8x2,43 (Figura 71) e possui duas faces de 8mx2,43m, com 19,44m² cada uma, uma face de 8,101mx8m com 64,81m², e uma face com 8,101mx2,43m com 19,69m².

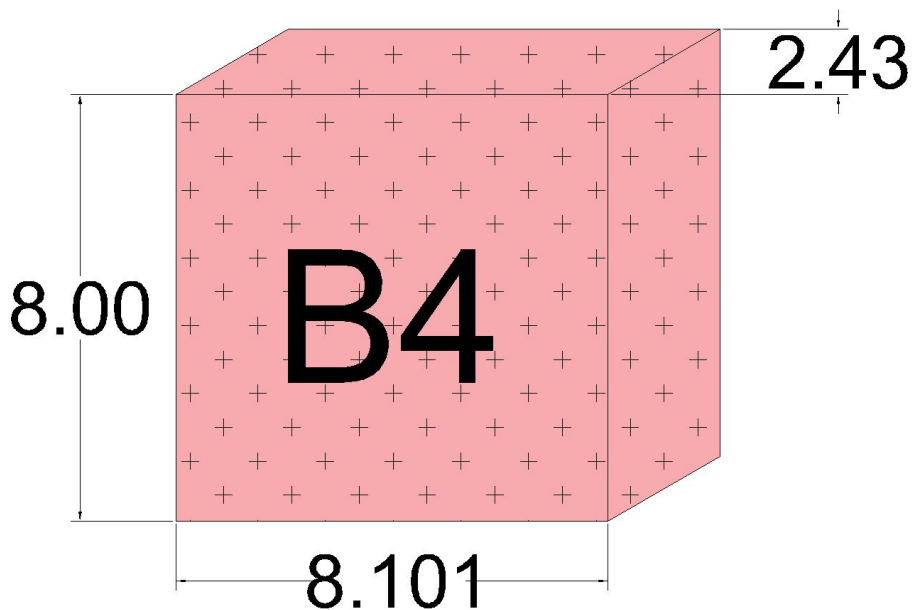


Figura 71 - Bancada B4.

Na tabela 27 encontram-se explícitos a quantidade de fio necessária, quanto tempo se demora a extrair esse bloco, a quantidade de energia e água que se gasta e o rejeito obtido pelo corte.

Tabela 27 - Tempos e consumos necessários para o destaque da bancada B4.

Face (m×m)	Área (m ²)	Rejeito (m ³)	Tempo (h)	Consumo de água (m ³)	Consumo de energia (KW/h)	Fio (m)
2x(8x2,43)	19,44	0,39	15,55	46,66	1944,00	9,72
8,101x8	64,81	0,65	25,92	77,77	3240,40	16,20
8,101x2,43	16,69	0,20	7,87	23,62	948,27	4,92

A quinta bancada, B5, tem de dimensões 12,152mx8x2,43m (Figura 72) e possui duas faces de 8mx2,43m, com 19,44m² cada uma, uma face de 12,152mx8m com 97,22m², e uma face com 12,152mx2,43m com 29,53m².

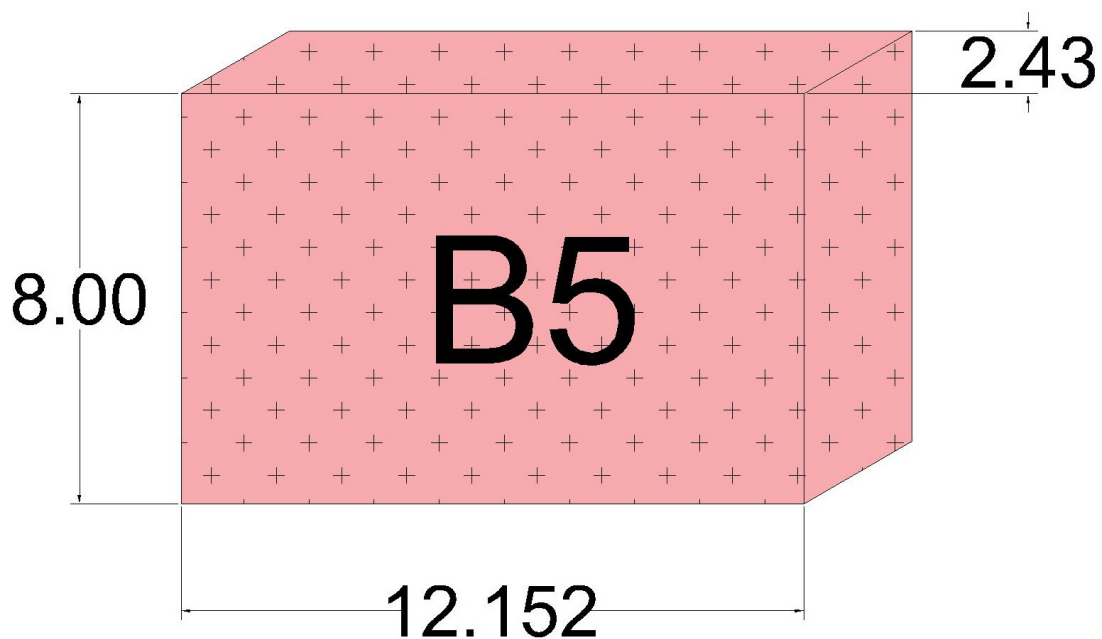


Figura 72 - Bancada B5.

Na tabela 28 encontram-se explícitos a quantidade de fio necessária, quanto tempo se demora a extrair esse bloco, a quantidade de energia e água que se gasta e o rejeito obtido pelo corte.

Tabela 28 - Tempos e consumos necessários para o destaque da bancada B5.

Face (m x m)	Área (m ²)	Rejeito (m ³)	Tempo (h)	Consumo de água (m ³)	Consumo de energia (KW/h)	Fio (m)
2x(8x2,43)	19,44	0,39	15,55	46,66	1944,00	9,72
12,152x8	97,22	0,97	38,89	116,66	4860,80	24,30
12,152x2,43	29,53	0,30	11,81	35,44	1476,47	7,38

A sexta bancada, B6, tem de dimensões 10,127mx8x2,43m (Figura73) e vai possuir duas faces de 8mx2,43m, com 19,44m² cada uma, uma face de 10,127mx2,43m com 24,61m², e uma face com 10,127mx8m com 81,02m².

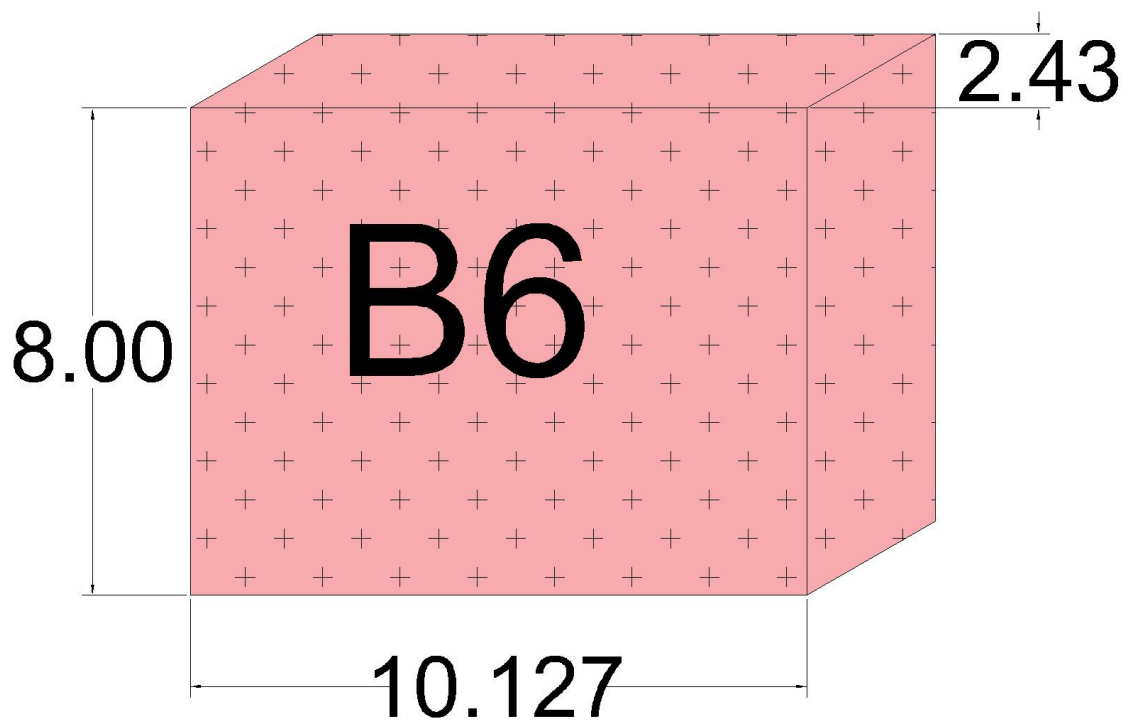


Figura 73 - Bancada B6.

Na tabela 29 encontram-se explícitos a quantidade de fio necessária, quanto tempo se demora a extrair esse bloco, a quantidade de energia e água que se gasta e o rejeito obtido pelo corte.

Tabela 29 - Tempos e consumos necessários para o destaque da bancada B6.

Face (mxm)	Área (m ²)	Rejeito (m ³)	Tempo (h)	Consumo de água (m ³)	Consumo de energia (KW/h)	Fio (m)
2x(8x2,43)	19,44	0,39	15,55	46,66	1944,00	9,72
10,127x2,43	24,61	0,25	9,84	29,53	1230,43	6,15
10,127x8	81,02	0,81	32,41	97,22	4050,80	20,25

Finalmente a bancada B7 tem de dimensões 4,05mx8x2,43m (Figura 74) e possui duas faces de 8mx2,43m, com 19,44m² cada uma, uma face de 4,05mx8m com 32,40m², e uma face com 4,05mx2,43m com 9,84m².

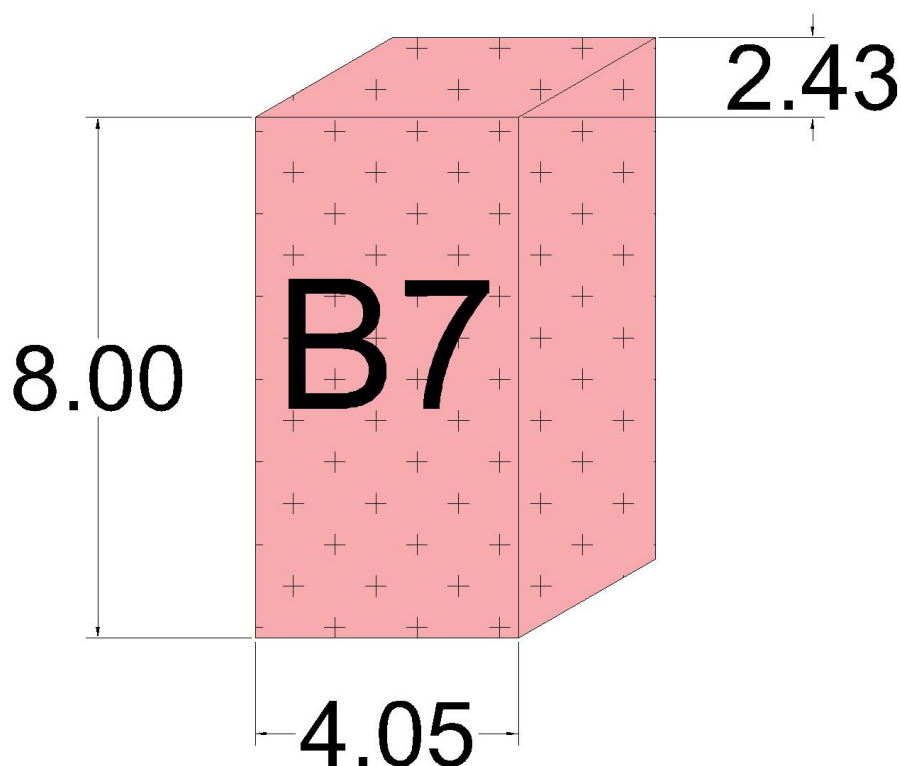


Figura 74 - Bancada B7.

Na tabela 30 encontram-se explícitos a quantidade de fio necessária, quanto tempo se demora a extrair esse bloco, a quantidade de energia e água que se gasta e o rejeito obtido pelo corte.

Tabela 30 - Tempos e consumos necessários para o destaque da bancada B7.

Face (mxm)	Área (m ²)	Rejeito (m ³)	Tempo (h)	Consumo de água (m ³)	Consumo de energia (KW/h)	Fio (m)
2x(8x2,43)	19,44	0,39	15,55	46,66	1944,00	9,72
4,05x2,43	9,84	0,10	3,94	11,81	492,08	2,46
4,05x8	32,40	0,32	12,96	38,88	1620,00	8,10

Na tabela 31 encontram-se explícitos a quantidade de fio necessária, quanto tempo se demora a extrair todos os blocos principais das bancadas superficiais, a quantidade de energia e água que se gasta e o rejeito obtido pelo corte. Considerando-se que a pedreira no fim de vida terá 40m de profundidade, ou seja, até onde existe informação, na tabela 30 também se pode ver uma estimativa do total de recursos necessários para desmontar toda a área de exploração.

Tabela 31 - Total de recursos necessários para destacar os blocos das bancadas superficiais.

	Área (m ²)	Rejeito (m ³)	Tempo (h)	Consumo de água (m ³)	Consumo de energia (KW/h)	Fio (m)
Total Superior	836,08	9,48	316,94	1173,79	42934,39	237,10
Fim de vida	4180,40	47,40	1584,70	5868,95	214671,95	1185,50

Depois de destacado o bloco principal é necessário esquartejar esse bloco para um outro com dimensões que se adequem ao seu transporte e comercialização, mas, o corte não é feito imediatamente para um bloco de dimensões comerciais, ou seja, primeiro passa por uma fase intermédia. O bloco intermédio tem de dimensões 2mx8mx2,43m (Figura 75).

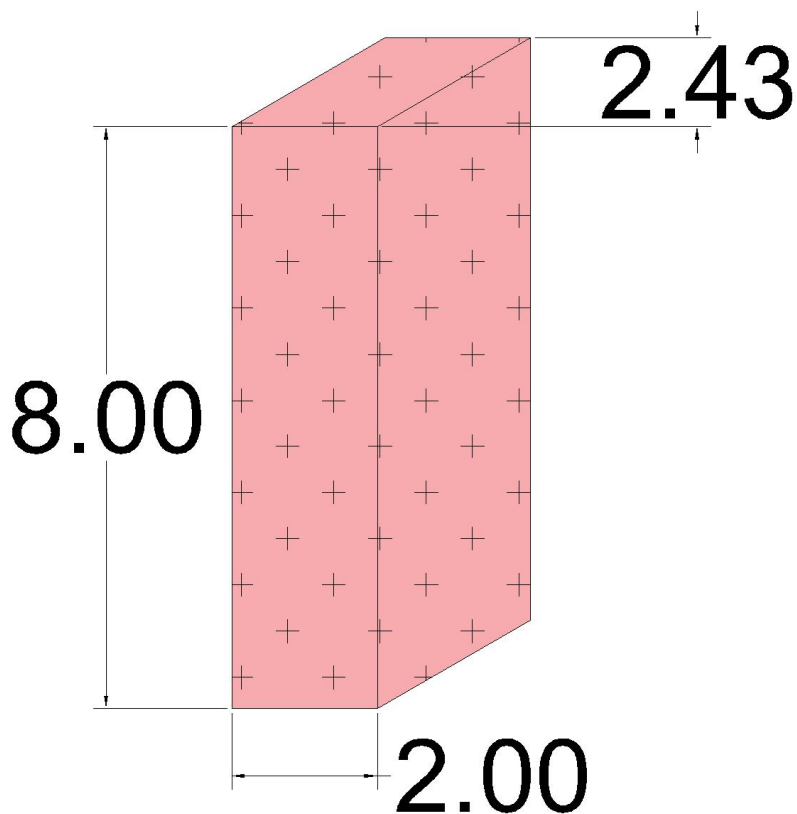


Figura 75 - Bloco intermédio.

O bloco intermédio possui duas faces de 8mx2,43m com 19,44m², uma face de 8mx2m com 16m² e uma face de 2mx2,43m com 4,86m². Para realizar o esquartejamento deste bloco só serão realizados cortes verticais ao longo da face de 2,00mx8,00m. Na tabela 32 encontram-

se explícitos a quantidade de fio necessária, quanto tempo se demora a extrair esse bloco, a quantidade de energia e água que se gasta e o rejeito obtido pelo corte.

Tabela 32 - Tempos e consumos necessários para o esquadramento do bloco intermédio.

Face (mxm)	Área (m ²)	Rejeito (m ³)	Tempo (h)	Consumo de água (m ³)	Consumo de energia (KW/h)	Fio (m)
8,00x2,43	19,44	0,19	7,78	23,33	972	4,86

Com as dimensões das bancadas e com as do bloco intermédio é possível saber quantos blocos intermédios é possível extrair de cada bancada. Da bancada B1 e B6 é possível extrair 5 blocos intermédios, mas existe um excesso de 0,127m, nas bancadas B2, B5 e B8 é possível extrair 6 blocos intermédios, mas existe um excesso de 0,152m, nas bancadas B3 e B4 é possível extrair 4 blocos intermédios, mas existe um excesso de 0,101m e na bancada B7 é possível extrair 2 blocos, mas existe um excesso de 0,05m.

Com estes dados e a informação calculada relativamente aos tempos e recursos necessários para o esquadramento de um bloco é possível ficar a saber o tempo e recursos necessários por bancada e no total da exploração, tabela 33.

Tabela 33 - Total de rejeito, tempo e recursos necessários para esquadra o bloco intermédio em cada bancada e no total.

Bancada	Rejeito (m ³)	Tempo (h)	Consumo de água (m ³)	Consumo de energia (KW/h)	Fio (m)
B1 e B6	1,52	62,24	186,64	7776	48,60
B2, B5 e B8	2,85	116,70	349,95	14580	72,90
B3 e B4	1,14	46,68	79,98	5832	19,16
B7	0,38	15,56	46,66	1944	9,72
Total	5,89	241,18	663,23	30132	150,38
Fim de vida	29,45	1205,90	3316,15	150660	751,90

Depois de obtido o bloco intermédio é necessário esquadra-lo para as dimensões do bloco comercial 2,43mx1,8mx2m (Figura 76).

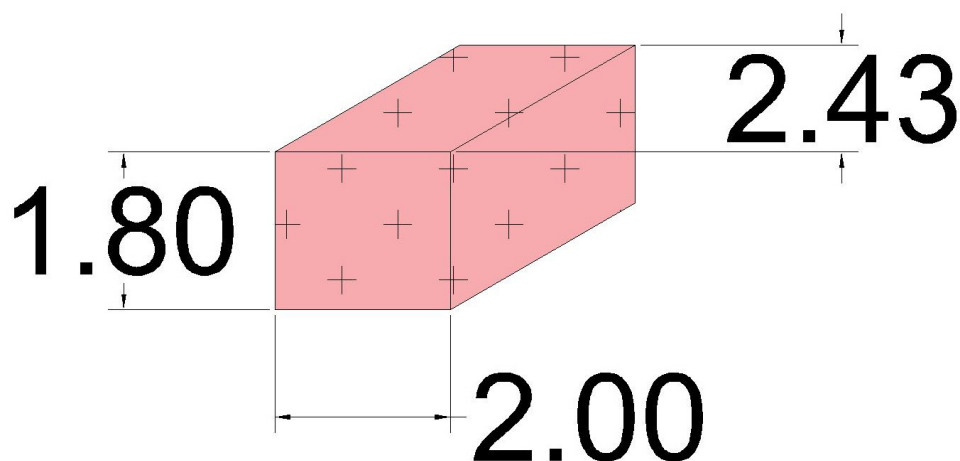


Figura 76 - Bloco comercial ou final.

De cada bloco intermédio é possível extrair 7 blocos finais, mas existe uma sobra de 0,80m, no esquadramento deste bloco só serão feitos cortes espaçados de 1,80m, ou seja, só serão cortadas faces de 2,00mx2,43m com 4,86m².

Tabela 34 - Tempos e consumos necessários para o esquadramento do bloco intermédio.

Face (m x m)	Área (m ²)	Rejeito (m ³)	Tempo (h)	Consumo de água (m ³)	Consumo de energia (KW/h)	Fio (m)
8x2,43	4,86	0,05	1,94	5,83	243	1,22

Com estes dados e a informação calculada relativamente aos tempos e recursos necessários para o esquadramento de um bloco é possível ficar a saber o tempo e recursos necessários por bancada e no total da exploração, tabela 35.

Tabela 35 - Total de rejeito, tempo e recursos necessários para esquadra o bloco comercial em cada bancada e no total.

Bancada	Rejeito (m ³)	Tempo (h)	Consumo de água (m ³)	Consumo de energia (KW/h)	Fio (m)
B1 e B6	3,00	116,40	349,80	14580	73,20
B2, B5 e B8	5,84	209,52	629,64	26244	131,76
B3 e B4	2,40	93,12	279,84	11664	58,56
B7	0,20	46,56	138,92	5932	29,28
Total	11,44	465,60	1399,20	58320	292,80
Fim de vida	57,20	2328,00	6996	291600	1464,00

Como foi dito anteriormente é possível extrair 7 blocos comerciais de cada bloco intermédio e multiplicando este valor com o número de blocos que intermédios que é possível extrair de cada bancada ficamos a saber o número de blocos comerciais possíveis de extrair em cada bancada, tabela 36.

Tabela 36 - Número de blocos comerciais.

Bancada	Blocos intermédios	Blocos comerciais
B1	5	35
B2	6	42
B3	4	28
B4	4	28
B5	6	42
B6	5	35
B7	2	14
Total		224

De destacar que na tabela 34 só se encontram explanados o número de blocos comerciais que é possível extrair das bancadas mais superficiais com as bancadas totais, este número cresce para 1 120 blocos.

A tabela 37 apresenta um resumo de rejeito, tempo de corte, consumo de água, consumo de energia e quantidade de fio necessário para o destaque de bloco principal e esquartejamento dos blocos intermédios e finais.

Tabela 37 - Valores do rejeito, tempo de corte, consumo de água, consumo de energia e quantidade de fio necessário para o destaque de bloco principal e esquartejamento dos blocos intermédios e finais.

	Bloco principal	Bloco intermédio	Bloco final	Total
Rejeito total (m ³)	9,48	5,89	11,44	26,81
Tempo de corte total (h)	316,94	241,80	465,60	1024,34
Consumo de água total (m ³)	1173,74	663,23	1399,20	3236,17
Consumo de energia total (Kw/h)	42934,39	30132,00	58320,00	131386,39
Fio (m)	237,10	150,38	292,80	680,28

4.6 Vida Útil

A vida útil de uma pedreira é um dado muito importante, pois permite ver se o investimento realizado vai ser rentável. Normalmente a vida útil de uma pedreira depende das reservas e da produção mensal pretendida, no caso de estudo como não existe uma produção mensal definida, logo a vida útil da pedreira foi calculada através do rendimento do equipamento de corte.

Para determinar a vida útil da pedreira em estudo foi dividido o volume de recursos existente na área de exploração pelo rendimento do equipamento de corte, através desta operação foi obtida uma vida útil de cerca de 85 anos (anexo 4).

4.7 Cálculo das pilhas de rejeito

Neste ponto irá ser tratado o tópico do cálculo das pilhas de rejeito e a sua localização. As pilhas de rejeito irão acomodar todo o material designado como rejeito no ponto do cálculo das reservas da área de exploração bem como o rejeito resultante do destacamento dos blocos principais e esartejamento dos blocos intermédios e comerciais.

O rejeito será disposto em duas pilhas, uma com o gabro e a rocha híbrida e a outro com o granito rosa e irão ocupar uma área quadrada, de 205mx205m (anexo 5), e irão situar-se numa área fora da área de exploração e da pedreira (Figura 77), a Figura pode ser vista com maior detalhe no anexo 6. Embora as pilhas se situem fora da área da pedreira isto não constitui um problema muito grave, visto que no momento do licenciamento da pedreira ter ficado acordado que a área podia ser expandida.

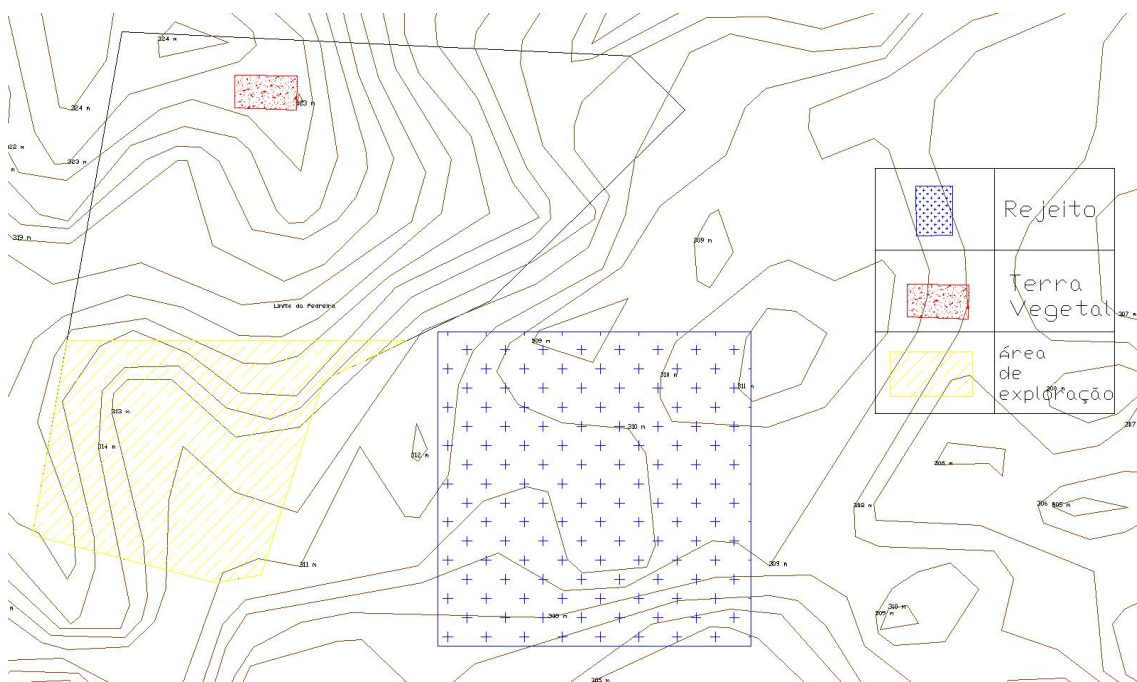


Figura 77 - Lay-out da pedreira.

4.8 Recuperação Ambiental

A recuperação ambiental de uma pedreira é de grande importância, pois além de ser obrigatória por lei, decreto-Lei nº 270/2001, de 6 de outubro, vai amenizar os grandes impactos paisagísticos que uma pedreira pode provocar. A recuperação vai também dar valor ao espaço em termos ecológicos e paisagísticos, podendo no futuro vir a gerar lucro, directa ou indirectamente, ao proprietário do espaço.

A recuperação de uma pedreira pode ser feita de 3 formas diferentes: restauração, a reabilitação e a reconversão. A restauração tem como objectivo restabelecer a área afectada ao seu estado natural, pelo que este método é o menos utilizado pois pode ser um método muito dispendioso. A reabilitação propõe que a área afectada seja reconvertida num espaço que se insira no ecossistema circundante. A reconversão propõe que seja dado um novo uso há área afectada (Valadares, 2016).

A recuperação de uma pedreira pode ser feita de varias maneiras, isto é, usando um método específico para a recuperação ou combinando vários métodos para o mesmo objectivo. Dois dos métodos mais usados são a deposição de inertes e a revegetação da área afectada com vegetação já existente/local. Estes dois métodos podem ser utilizados de forma isolada, onde na deposição de inertes, a cavidade resultante da exploração é coberta com inerte, havendo 4 possíveis tipos de preenchimento: o enchimento completo, o enchimento parcial, a manutenção e a ausência de enchimento e na revegetação da área afectada com vegetação já existente/local irão ser plantadas espécies vegetais nas bancadas resultantes da exploração, de forma a amenizar o impacte visual. Mas também pode ser utilizada uma combinação das duas, ou seja, a cavidade resultante da exploração é preenchida com inertes e a superfície resultante é revegetada com vegetação já existente/local (Valadares, 2016).

4.8.1 Critério de selecção do método do método de recuperação ambiental

O método escolhido para a recuperação ambiental da pedreira é a reabilitação, ou seja, parte da pedreira irá ser preenchida com os inertes resultantes da exploração e a superfície resultante irá ser coberta com a terra vegetal, já removida no início da exploração, e revegetada com espécies locais.

Este método foi o escolhido pois como a área circundante á pedreira é relativamente deserta logo, a escolha de outro método de recuperação ambiental necessário para o estabelecimento ou uma estrutura de entretenimento, iria requerer um investimento que podia não se revelar rentável.

Capítulo 5 - Conclusões

5. Conclusões

Após a realização deste trabalho pode-se concluir que o maciço em estudo é competente, pois este é constituído por uma rocha compacta e de grão fino o que contribui para a rocha ser resistente ao choque e à abrasão e não se encontra alterada, como se pode ver pelos valores obtidos nos ensaios realizados.

A rocha pode ser usada como rocha ornamental, pois como se pode ver na análise estrutural do maciço este não se encontra muito fracturado e comparando os valores padrão com as características que uma rocha ornamental deve de possuir podemos constatar que esta cumpre todos os requisitos menos um, a resistência à compressão, mas este pode ser de certa forma ignorado pois nos ensaios realizados pela empresa Visa Consultores verifica-se que na realidade a resistência à compressão da rocha se encontra dentro do intervalo padronizado. Por estes mesmos motivos pode-se também concluir que a rocha em estudo pode ser utilizada em todo o tipo de aplicações.

Este trabalho também permitiu ficar a conhecer a quantidade de material rochoso que é possível extrair, não da área da pedreira toda, pois esta vai ter de acolher vários tipos de estruturas como a instalação de transformação, escritórios, entre outros, mas sim da designada área de exploração. Da área de exploração é possível extrair cerca de 397 667m³ de gabro, 54 476m³ de granito rosa e 56 155m³ de rocha híbrida para um total de 508 299m³.

Quanto ao plano de lavra pode-se concluir que a rocha será destacada com fio diamantado, pois, este adapta-se melhor aos contornos do bloco unitário e o rejeito que produz durante o destacamento e esquartejamento dos blocos é menor. Relativamente ao tempo e recursos necessários desde o destaque do bloco principal à obtenção do bloco comercial também se pode ver que são necessárias cerca de 1024h, 3236m³ de água, 131386 Kw/h e 680m de fio diamantado.

Quanto à vida útil da pedreira, como já foi dito anteriormente, para calcular a vida de uma pedreira normalmente utiliza-se a produção mensal pretendida, mas, como neste caso essa informação não se encontra disponível foi calculado um rendimento de corte e a partir desse rendimento foi estimada a vida útil da pedreira. Com o estudo realizado foi possível concluir que com a utilização de um equipamento de corte a vida útil da pedreira é de 85 anos.

Nesta sugestão de conversão de uma pedreira de rocha industrial em pedreira de rocha ornamental também se toca no assunto da recuperação ambiental, pois esta é uma parte importante na vida de uma pedreira. O método escolhido para a recuperação ambiental da pedreira é a reabilitação que consiste em parte da pedreira ser preenchida com os inertes resultantes da exploração e a superfície resultante irá ser coberta com a terra vegetal. Como já foi referido no tópico da recuperação ambiental este método foi o escolhido pois devido às

particularidades do local outro método que que englobe um investimento inicial mais elevado pode não ser economicamente viável.

Perspectivas futuras

Tendo em vista a falta de dados disponível, pois numa área de aproximadamente três hectares só foram realizadas seis sondagens numa zona muito concentrada, entende-se importante realizar um maior número de sondagens, utilizando uma técnica geoestatística para a determinação da malha mais adequada, para abranger uma área maior e tornar os dados mais fidedignos.

Pode ainda apontar-se a necessidade de um estudo de campo mais elaborado, ou seja, se possível recolher um maior número de descontinuidades, recolher mais informações relativamente a essas descontinuidades, como por exemplo a sua localização, grau de alteração, comprimento, terminação, preenchimento, entre outros. Será também desejável a aplicação de vários métodos de recolha de dados ou a conjugação de mais do que um método de maneira a eliminar erros adjacentes a esses métodos.

Finalmente, será importante realizar todos os modelos 3D e cálculos associados, refazer o estudo estrutural e definir o bloco unitário e fazer uma nova sugestão do plano de lavra com os novos dados, conseguindo assim um modelo 3D e um bloco unitário mais realista e um plano de lavra mais completo e otimizado.

Capitulo 6 – Bibliografia

6. Bibliografia

Carvalho, J., Henriques, P., Falé, P. & Luís, G. (2008). Decision criteria for the exploration of ornamental-stone deposits: Application to the marbles of the Portuguese Estremoz Anticline. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 45 (8):1306-1319

Carvalho, J. (2007). Rochas ornamentais: tecnologias e critérios de prospecção.

Casal Moura et al. (2000). Granitos e rochas similares de Portugal. Porto: Marca-Artes Gráficas. Obtido de <http://www.lneg.pt/download/7255/index.html>

Chaminé, H.I. (2016). Técnicas de amostragem em estudos de maciços rochosos fracturados: importância na prática da geologia estrutural, geociências de engenharia e mecânica das rochas. In: H.I. Chaminé, M.J. Afonso, A.C. Galiza (eds.), Eduardo Gomes (1931-2008): Engenheiro, Docente, Empreendedor - Uma Homenagem. Coleção LABCARGA-Geo|2, Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada & Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto. p. 297-343.

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. 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.

Consmaga. (2006). Levantamento Geológico da pedra "Herdade do Montinho". Almodôvar.

Deere, D.U. & Deere, D.W. (1988). The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice. ASTM, 92-101.

Dinis da Gama, C. (1995). Aspectos geotécnicos y de fracturación en la explotación de canteras. López Jimeno, C. (Ed.). Cap. 10 del Manual de Rocas Ornamentales. Entorno Gráfico. S.L., Madrid, pp. 231-246.

Dessureault, D. S. (2003). Rock excavation. Course notes.

Dinis da Gama, C. (1995). Aspectos geotécnicos y de fracturación en la explotación de canteras.

Farinha Ramos, J. (2010). Alguns aspectos do contributo da geologia no estudo e caracterização de maciços para exploração de rochas ornamentais. In: *Ciências Geológicas - Ensino, Investigação e sua História* (pp. 131-141). Lisboa: Associação Portuguesa de Geólogos/Sociedade Geológica de Portugal.

Fegueiredo, J. et al. (2001). Guia Técnico do Sector da Pedra Natural. Lisboa: INETI.

Galiza, A. (2007). Desmonte de maciços Rochosos I. ISEP (policopiado).

González de Vallejo L.I. & Ferrer M. (2011). *Geological engineering*. CRC Press, Taylor-Francis group, 725 p.

Guerreiro, H. (2000). Exploração subterrânea de mármore.

Henriques, T. (2009). Corte de rochas com jactos de água de alta pressão.

ISRM – International Society for Rock Mechanics (1978). Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, 15(6):319-368.

ISRM – International Society for Rock Mechanics (1981). Basic geotechnical description of rock masses. *Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, 18:85-110. Jimeno, C. (1996). *Manual de Rocas Ornamentales - Prospección, explotación, elaboración y colocación*. Madrid: Entorno Grafico, S. L.

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*, 628 p.

ISRM – International Society for Rock Mechanics (2015). The ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 2007-2014. In: Ulusay, R. (ed.), suggested methods prepared by the Commission on Testing Methods, ISRM. Springer, Berlin, 293 p.

Lopes, S. (2009). Estudo geológico-geotécnico da pedreira da Herdade do Montinho. Arronches.

Mancini, R. C. (1995). "Hard dimension stone production by splitting and cutting methods in Italian quarries.". Mine Planning and Equipment Selection -International Symposium, pp. 151-156.

Mauldon, M. D. (2001). Circular scanlines and circular windows: new tools for characterizing the geometry of fracture traces. *Journal of Structural Geology*, pp. 247-258.

Menezes, R. (2005). Tecnologias de lavra em maciços rochosos.

Pahl, P. (1981). Estimating the mean length of discontinuity traces. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 18(3):221-228.

Pollard, H. W. (1995). An experimental study of the relationship between joint spacing and layer thickness. *Journal of Structural Geology*, 17(6):887-905.

Priest, S.D. & Hudson, J.A. (1981). Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 18(3):183-197.

Rebola, P. (2011). Ensaios de tipo inicial para marcação CE da pedra natural.

Rohrbaugh, M., Dunne, W., & Mauldon, M. (2002). Estimating fracture trace intensity, density, and mean length using circular scanlines and windows. *AAPG Bulletin*, pp. 2089-2104.

Simão, J., Carvalho, C., Silva, Z. C., & Moura, A. C. (2010). Factor de qualidade em rochas ornamentais com base em ensaios mecânicos e envelhecimento artificial. *Geotecnia*.

Smith, M. (1999). *Stone: Building stone, rock fill and armourstone in construction*.

Smith, M. R. (1999). *Stone: Building stone, rock fill and armourstone in construction*. London: The Geology Society.

Sobreiro, S. (2007). Métodos de exploração e tecnologias de corte e extracção. Em *Mármore e calcários ornamentais de Portugal* (pp. 101-126).

Sousa, L. (2012). Os granitos de Vila Pouca de Aguiar como factor de desenvolvimento regional. Uma abordagem multidisciplinar. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Terzaghi R.D. (1965). Sources of errors in joint surveys. *Géotechnique*, 15(3): 287-304.

Valadares, C. F. (2016). *Recuperação Ambiental da Pedreira do Corgo do Lombo*.

Watkins, H., Bond, C., Healy, D., & Butler, R. (2015). Appraisal of fracture sampling methods and a new workflow to characterise heterogeneous fracture networks at outcrop. *Journal of Structural Geology*, 72:67-82.

Normas consultadas

EN 1926, Resistência à compressão, 2007

EN 12372, Resistência à flexão sob carga centrada, 2003

EN 1936, Peso específico aparente e porosidade aberta, 2007

EN 13755, Absorção de água à pressão atmosférica, 2008

EN 14066, Resistência ao envelhecimento por choque térmico, 2007

EN 14157, Resistência ao desgaste, 2007

EN 14158, Resistência ao choque, 2007

EN 13501-1, Comportamento ao fogo, 2001

EN 12371, Resistência à flexão e compressão após gelo, 2010

EN 14231, Resistência ao escorregamento, 2003

EN 12524, Permeabilidade ao vapor de água, 2000

Sites Consultados

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172014000100013, 11 de Fevereiro de 2017

http://www.fiec.org.br/sindicatos/simagran/artigos_palestras/Curso_Caracterizacao_TecndeRochas_arquivos/imag_e006.jpg, 13 de Fevereiro de 2017

Capitulo 7 - Anexos

7. Anexos

7.1 Anexo 1 – Sondagens



CLIENTE: Mendes Peixoto S.A.

LOCAL: Senhora do Rosario - Pedreira da Herdade do Montinho - Arronches

FURO: AR1

LOG GEOLÓGICO

PROFUNDIDADE (m)	COLUMNA LITOLÓGICA	MÉTODOS DE PERFURAÇÃO: Convencional / "Wire Line"		
		DIÁMETRO DE PERFURAÇÃO: HQWL/NQWL		
		METRAGEM FINAL: 40 m		
		EQUIPAMENTO DE SONDAGEM: LongYear 38		
		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	RQD %	OBSERVAÇÕES
0		0.00, 4.10 ZONA DE ALTERAÇÃO Zona de alteração com calhaus de gabro de diferentes granulometrias e coloração. Alguns óxidos presentes. Passagens no final de gabro alterado e compacto.		
5		4.10, 5.50 GRANITO Granito com bastante feldspato. Passa gradualmente a gabro		diaclasses raras
		5.50, 7.50 GABRO Gabro de cor esverdeada com raras intercalações quartzosas. Granularidade fina.		
		7.50, 10.40 GABRO Gabro de cor e esverdeada escura. Intercalações raras de material de mistura de granularidades diferentes. Gabro de grão fino.		diaclasses subverticais com óxidos nas superfícies de fractura.
10		10.40, 13.20 ROCHA HIBRIDA Rocha Híbrida Gabro/Diorítica de grão médio a grosseiro de tonalidade variável, com inclusões de quartzo, tomando uma granularidade mais grosseira e tonalidade mais clara.		Algumas intercalações graníticas e diaclasses subverticais raras
		13.20, 16.20 ROCHA HIBRIDA Semelhante ao anterior mas com maior quantidade de quartzo.		Fracturas a 45° com óxidos raras
15		16.20, 19.20 MISTURA Zona de mistura de gabro e material mais grosseiro com alguns veios de feldspato.		diaclasses subverticais com óxidos nas superfícies de fractura.
20		19.20, 21.20 GABRO Gabro de grão fino de cor verde escura, com intercalação de material mais grosseiro com abundante quartzo.		Curtas intercalações graníticas no seio do gabro
		21.20, 23.80 GABRO Gabro de grão fino e de cor verde escura. Passa gradualmente a gabro de grão médio a grosseiro.		
25		23.80, 24.50 ROCHA HIBRIDA Rocha Híbrida Gabro/Diorítica de grão médio a grosseiro com cristais de quartzo ou feldspato, com tonalidade verde clara.		Intercalações e mistura de gabros de diferentes granularidades e presença de feldspatos.
		24.50, 27.40 ROCHA HIBRIDA Rocha Híbrida Gabro/Diorítica de grão médio a grosseiro com cristais de quartzo ou feldspato, com tonalidade verde clara. Passa a gabro fino a partir dos 26,50, sob a forma de intercalações		
		27.40, 30.30 GABRO Gabro de grão fino de cor verde escura.		Fracturas a 45° com óxidos raras
30		30.30, 33.30 GABRO Gabro de grão fino de cor verde escura.		
		33.30, 35.70 GABRO Gabro de grão fino de cor verde escura, com intercalação de zona rica em feldspato e quartzo.		Diaclasses com preenchimento de argilas esverdeadas e alguma disseminação de pirite.
35		35.70, 38.60 MISTURA Mistura de gabro de grão fino com gabro de grão médio acompanhado de abundante quartzo e feldspato.		
40		38.60, 40.00 GRANITO Granito grosseiro		



CLIENTE: Mendes Peixoto S.A.

LOCAL: Senhora do Rosario - Pedreira da Herdade do Montinho - Arronches

FURO: AR2

LOG GEOLÓGICO

PROFUNDIDADE (m)	COLUNA LITOLÓGICA	MÉTODOS DE PERFURAÇÃO: Convencional / "Wire Line"		
		DIÁMETRO DE PERFURAÇÃO: HQWL/NQWL		
		METRAGEM FINAL: 40 m		
		EQUIPAMENTO DE SONDAJEM: LongYear 38		
		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	RQD %	OBSERVAÇÕES
0		0.00, 0.80 ZONA DE ALTERAÇÃO Nível de gábro alterado e arenizado, compacto.		
0.80		0.80, 3.80 GRANITO ROSA Granito rosa de grão grosseiro com abundantes feldspatos.		Diaclasses raras subverticais com óxidos nas superfícies de fractura.
3.80		3.80, 9.70 ROCHA HÍBRIDA Rocha Híbrida Gábro/Diorítica de grão médio a grosseiro de tonalidade cinzenta/esverdeada.		Diaclasses com preenchimento de argilas verdes.
9.70		9.70, 16.50 GABRO Gábro de cor esverdeada e grão fino, muito compacto.		Diaclasses subverticais com óxidos raros.
16.50		16.50, 19.30 MISTURA Nível de mistura de gábro de grão fino com gábro grosseiro e com abundante quartzo.		
19.30		19.30, 21.45 ROCHA HÍBRIDA Rocha Híbrida Gábro/Diorítica de grão médio a grosseiro de cor verde clara a cinzenta.		
21.45		21.45, 39.60 GABRO Gábro de cor esverdeada e grão fino, muito compacto.		Diaclasses subverticais com óxidos raros.
39.60		39.60, 40.00 GRANITO ROSA Granito rosa de grão grosseiro com abundantes feldspatos.		Diaclasses a 45° com argilas de cor verde e estr. enquiçadas.



CLIENTE: Mendes Peixoto S.A.

LOCAL: Senhora do Rosario - Pedreira da Herdade do Montinho - Arronches

FURO: AR3

LOG GEOLÓGICO

PROFUNDIDADE (m)	COLUMNA LITOLÓGICA	MÉTODOS DE PERFURAÇÃO: Convencional / "Wire Line"		
		DIÁMETRO DE PERFURAÇÃO: HQWL/NQWL	METRAGEM FINAL: 40 m	EQUIPAMENTO DE SONDAJEM: LongYear 38
		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	RQD %	OBSERVAÇÕES
0		0.00, 3.60 ZONA DE ALTERAÇÃO Zona de terra vegetal e Gabro alterado.		
5		3.60, 8.15 GABRO Gabro de grão fino e cor esverdeada.		Diaclasses subverticais com alguns óxidos
		8.15, 9.40 MISTURA Nível de mistura de gabro e granito		
10		9.40, 15.60 GABRO Gabro de grão fino e cor esverdeada. Muito compacto.		Diaclasses subverticais com alguns óxidos
15		15.60, 17.60 GABRO Gabro de grão fino e cor esverdeada, com intercalações de veios de quartzo.		
		17.60, 18.70 GABRO Gabro de grão fino e cor esverdeada.		
20		18.70, 25.90 ROCHA HÍBRIDA Rocha Híbrida Gabro/Diorítica com mistura de gabro de grão fino e com algum quartzo. Material intercalado.		Fracturação mais intensa. Diaclasses com óxidos nas superfícies
25		25.90, 29.25 GRANITO ROSA Granito de cor rosada de grão fino a médio.		
30		29.25, 40.00 GABRO Gabro com intercalações frequentes de gabro de grão médio a grosseiro e bastante quartzo.		
35				
40				



CLIENTE: Mendes Peixoto S.A.

LOCAL: Senhora do Rosario - Pedreira da Herdade do Montinho - Arronches

FURO: AR4

LOG GEOLÓGICO

PROFUNDIDADE (m)	COLUMNA LITOLÓGICA	MÉTODOS DE PERFURAÇÃO: Convencional / "Wire Line"		
		DIÁMETRO DE PERFURAÇÃO: HQWL/NQWL		
		METRAGEM FINAL: 40 m		
		EQUIPAMENTO DE SONDAJEM: LongYear 38		
		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	RQD %	OBSERVAÇÕES
0		0,00, 2,20 ZONA DE ALTERAÇÃO Terra vegetal.		
		2,20, 5,20 GABRO Gabro alterado e arenizado.		
5		5,20, 9,95 GABRO Rocha muito alterada, possivelmente gabro, com intensa argilização e arenização.		
10		9,95, 12,45 GABRO Gabro bastante alterado, pouco competente e oxidado.		Alteração intensa e diaclasamento com preenchimento de oxidos.
		12,45, 21,30 GABRO Gabro são de grão fino e cor esverdeada.		Intercalações centimétricas de granito rosa, muito raras.
15				
20				
		21,30, 23,15 ROCHA HIBRIDA Rocha Híbrida Gabro/Diorítica de grão médio a grosseiro com intercalação de granito rosa.		Diaclases com argilas esverdeadas e brancas
25		23,15, 31,60 GABRO Gabro maioritariamente de grão fino e de cor verde, bastante compacto.		Diaclases subverticais com argilas e alguns oxidos
30				
		31,60, 40,00 ROCHA HIBRIDA Rocha Híbrida Gabro/Diorítica de grão médio com raras intercalações quartzosas e graníticas, espaçadas ao longo do intervalo.		
35				
40				



CLIENTE: Mendes Peixoto S.A.

LOCAL: Senhora do Rosario - Pedreira da Herdade do Montinho - Arronches

FURO: AR5

LOG GEOLÓGICO

PROFUNDIDADE (m)	COLUNA LITOLÓGICA	MÉTODOS DE PERFURAÇÃO: Convencional / "Wire Line"		
		DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO: HQWL/NQWL		
		METRAGEM FINAL: 40 m		
		EQUIPAMENTO DE SONDAGEM: LongYear 38		
		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	RQD %	OBSERVAÇÕES
0		0.00, 3.50 ZONA DE ALTERAÇÃO Zona de terra vegetal e a luviação.		
5		3.50, 6.50 GABRO Gabro de grão fino e cor esverdeada, com curtas e raras intercalações de quartzo.		
		6.50, 7.60 ROCHA HÍBRIDA Rocha Híbrida Gabro/Diorítica de grão médio a grosseiro com bastante quartzo, com intercalações de gabro fino.		Diaclasses subverticais com alguns óxidos nas superfícies de diaclasamento.
		7.60, 10.65 GABRO Gabro de grão fino e cor esverdeada. Bastante compacto		Diaclasses a 45° da orientação da sondagem.
10		10.65, 12.05 GABRO Gabro de grão fino e cor esverdeada. Bastante compacto		Diaclasses com preenchimento de argilas brancas e oxidadas.
		12.05, 12.90 GRANITO ROSA Intercalação de granito rosa, com bastante feldspato de grão médio a grosseiro		
15		12.90, 16.95 GABRO Gabro de grão fino e cor esverdeada.		
20		16.95, 22.10 ROCHA HÍBRIDA Rocha Híbrida Gabro/Diorítica de grão médio a grosseiro com passagens de gabro de grão fino e cor verde.		Diaclasses a 45° da orientação da sondagem com abundantes óxidos e argilas.
25		22.10, 40.00 ROCHA HÍBRIDA Rocha Híbrida Gabro/Diorítica de grão médio, bastante homogêneo de cor cinzenta escura, bastante compacto		
30				
35				
40				



CLIENTE: Mendes Peixoto S.A.

LOCAL: Senhora do Rosario - Pedreira da Herdade do Montinho - Arronches

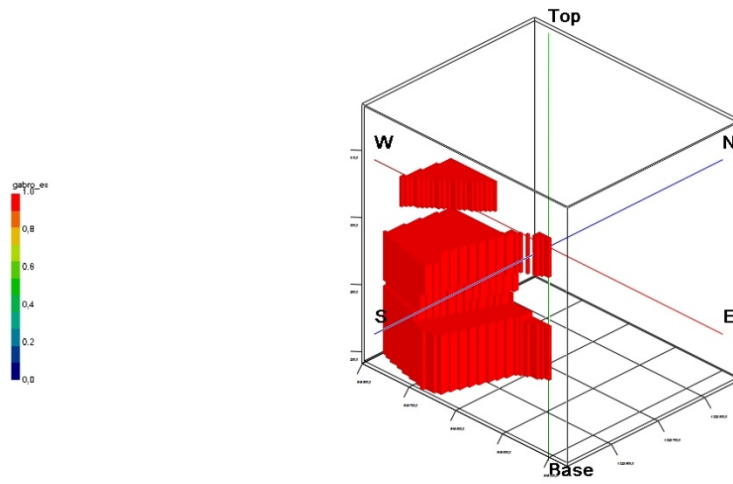
FURO: AR6

LOG GEOLÓGICO

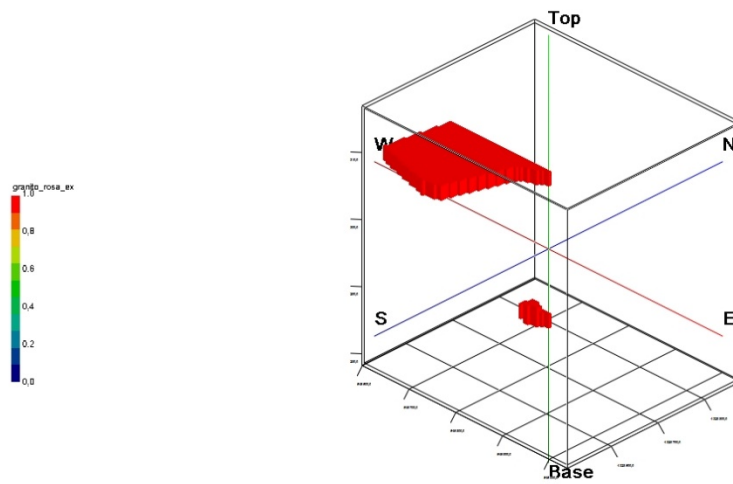
PROFUNDIDADE (m)	COLUNA LITOLÓGICA	MÉTODOS DE PERFURAÇÃO: Convencional / "Wire Line"		
		DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO: HQWL/NQWL		
		METRAGEM FINAL: 40 m		
		EQUIPAMENTO DE SONDAGEM: LongYear 38		
		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	RQD %	OBSERVAÇÕES
0		0,00, 1,45 ZONA DE ALTERAÇÃO Terra vegetal com rocha altamente arenizada.		
1,45		1,45, 2,05 GRANITO Granito completamente alterado e argilizado.		
2,05		2,05, 5,00 ROCHA HÍBRIDA Rocha Híbrida Gabro/Diorítica de grão médio a grosseiro, bastante alterado e pouco coerente.		
5,00		5,00, 6,00 ROCHA HÍBRIDA Rocha Híbrida Gabro/Diorítica de grão médio a grosseiro, alterado e com alguma oxidação.		
6,00		6,00, 14,70 ROCHA HÍBRIDA Rocha Híbrida Gabro/Diorítica de grão médio a grosseiro, de cor cinzenta esverdeada, compacto e com raras diáclases.		Diáclases raras, preenchidas por óxidos e pontualmente raras argilas brancas.
14,70		14,70, 15,70 GRANITO ROSA Granito de cor rosada, com abundante feldspato.		
15,70		15,70, 25,40 ROCHA HÍBRIDA Rocha Híbrida Gabro/Diorítica de grão médio a grosseiro e de cor cinzenta, com intercalações de granito rosa dos 17,00 aos 17,60 e aos 25,00.		Intercalação de granito dos 14,70 aos 15,70
25,40		25,40, 27,80 GRANITO ROSA Granito de grão fino com abundante feldspato, e de cor rosada. Alguma argilização das diáclases.		
27,80		27,80, 32,55 GABRO Gabro de grão fino e cor esverdeada, bastante compacto. Intercalação de granito rosa no topo do intervalo.		Diáclases a 45° da orientação da sondagem com alguns óxidos e argilas.
32,55		32,55, 35,55 GABRO Gabro de grão fino e cor esverdeada, bastante compacto.		
35,55		35,55, 38,55 MISTURA Mistura de gabro de grão fino e granito de cor rosada. Alguns quartzo em veios.		
38,55		38,55, 40,00 GABRO Gabro de grão fino e cor esverdeada, compacto.		

7.2 Anexo 2 – Modelos da zona de exploração

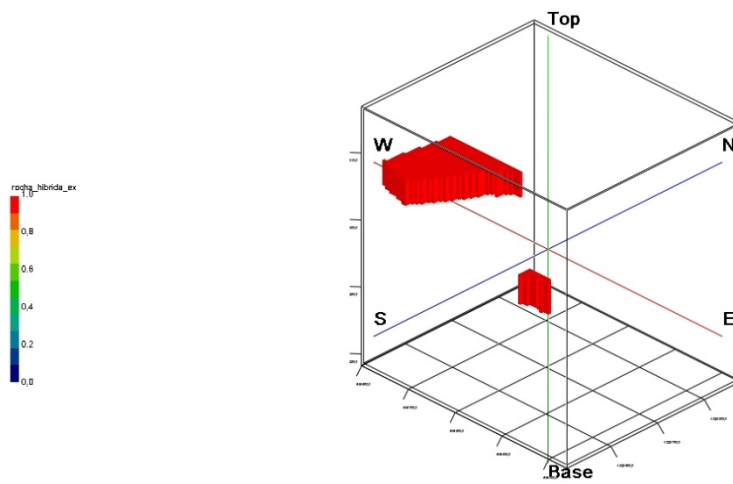
Modelo do Gabro



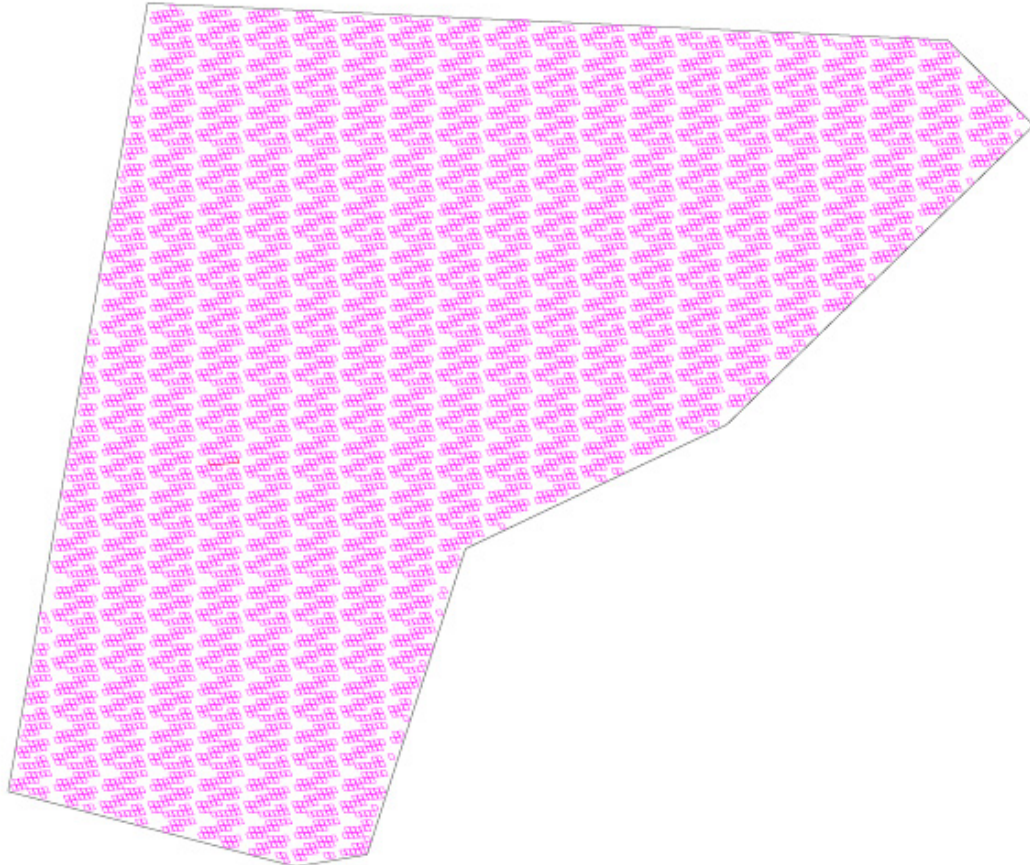
Modelo do Granito Rosa



Modelo da rocha hibrida



7.3 Anexo 3 – Modelo extrapolação



7.4 Modelo 4 – Calculos do tempo de vida

Bancada 1		
Volume	196,87	m3
Tempo	57,8	h
Rendimento	3,41	m3/h
Bancada 2		
Volume	236,23	m3
Tempo	66,25	h
Rendimento	3,57	m3/h
Bancada 3		
Volume	157,48	m3
Tempo	49,34	h
Rendimento	3,19	m3/h
Bancada 4		
Volume	157,48	m3
Tempo	49,34	h
Rendimento	3,19	m3/h
Bancada 5		
Volume	236,23	m3
Tempo	66,25	h
Rendimento	3,57	m3/h
Bancada 6		
Volume	196,87	m3
Tempo	57,8	h
Rendimento	3,41	m3/h
Bancada 7		
Volume	78,73	m3
Tempo	38,45	h
Rendimento	2,05	m3/h
Bancada 8		
Volume	236,23	m3
Tempo	66,25	h
Rendimento	3,57	m3/h

Rendimento médio	3,11
Volume Pedreira	508299
Horas	163449,57
Dias	20431,20
Meses	1021,56
Anos Vida	85,13

7.5 Anexo 5 – Calculos das Pilhas

Calculo do raio e da altura das pilhas

Gabro – Angulo de atrito 35°

Volume de uma pilha $\rightarrow V = \frac{\text{Área da Base} \times \text{Altura}}{3}$

$$V = \frac{\pi * r^2 * h}{3}$$

$$109372 = \frac{\pi * r^2 * h}{3}$$

$$109372 = \frac{\pi * r^2 * 0,7 * r}{3}$$

$$109372 = \frac{2,20 * r^3}{3}$$

$$r^3 = \frac{109372 * 3}{2,20}$$

$$r^3 = 149136,636$$

$$r = \sqrt[3]{149136,636}$$

$$r = 53,03m$$

$$\tan 35 = \frac{h}{r} \rightarrow 0,7 = \frac{h}{r} \rightarrow h = 0,7 * r \rightarrow h = 37,121m$$

Granito – Angulo de atrito 51,5°

Volume de uma pilha $\longrightarrow V = \frac{\text{Área da Base} \times \text{Altura}}{3}$

$$V = \frac{\pi * r^2 * h}{3}$$

$$22776 = \frac{\pi * r^2 * h}{3}$$

$$22776 = \frac{\pi * r^2 * 1,26 * r}{3}$$

$$22776 = \frac{3,949 * r^3}{3}$$

$$r^3 = \frac{22776 * 3}{3,949}$$

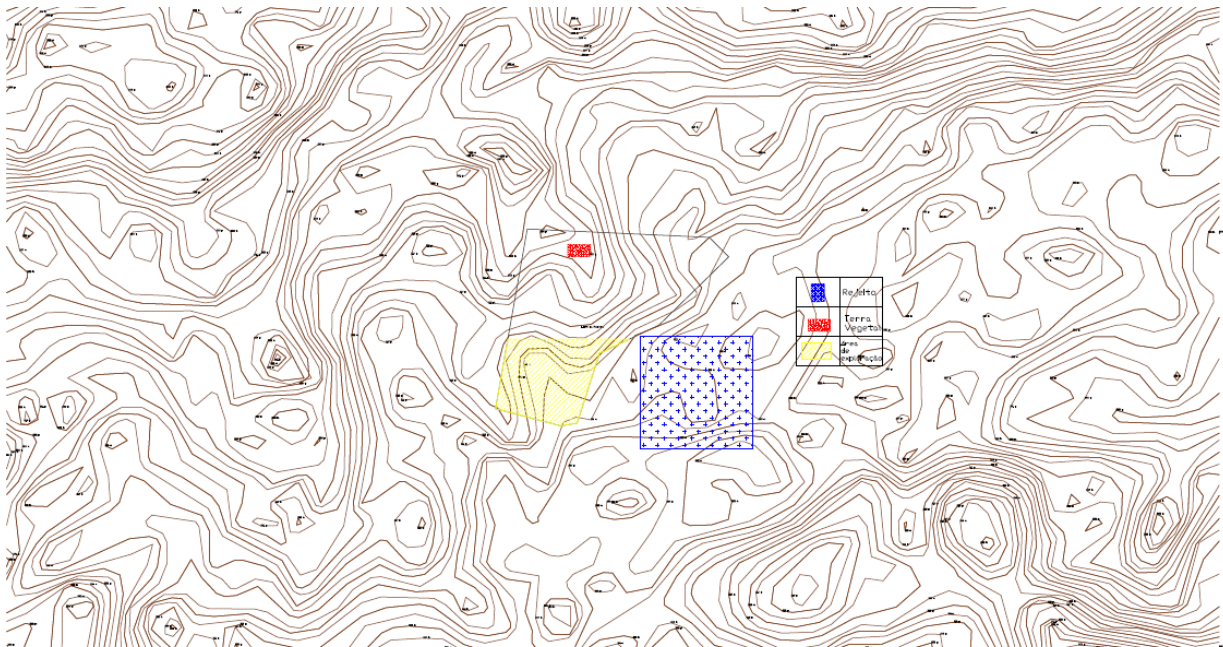
$$r^3 = 17302,608$$

$$r = \sqrt[3]{17302,608}$$

$$r = 47,5m$$

$$\tan 51,5 = \frac{h}{r} \longrightarrow 1,26 = \frac{h}{r} \longrightarrow h = 1,26 * r \longrightarrow h = 59,89m$$

7.6 Anexo 6 – *Lay-out*



7.7 Anexo 7 – Ficha das rochas estudadas

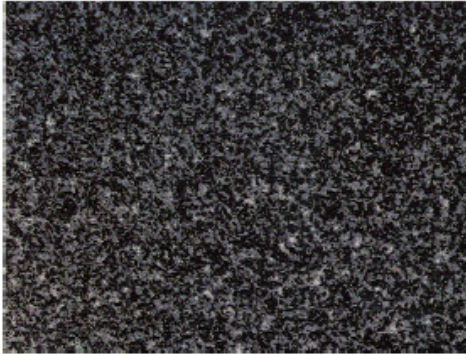


Imagem em tamanho real.

DIORITO	PRETO	ROCHAS ÍGNEAS
	ARRONCHES = GABRODIORITO DE ARRONCHES	

RI-DI 34 A

► Localização

Distrito - PORTALEGRE
Concelho - ARRONCHES
Freguesia - ARRONCHES
Lugar - MONTE DAS ESCARNINHAS

► Descrição Macroscópica

Rocha ígnea de tonalidade cinzenta escura, com granulado fino a médio e aspecto homogéneo.

► Utilização Recomendada

Interiores e exteriores.

► Enquadramento Geológico

Os afloramentos deste tipo de rocha encontram-se localizados na zona externa da estrutura granítica anelar sub-vulcânica de Santa Eulália (Alto Alentejo). A sua idade é Hercínica, ante-Vestfaliana.

► Características Físico-Mecânicas

1. Resistência mecânica à compressão 1660 kg/cm²
2. Res. mec. à compr. após teste de gelividade 1820 kg/cm²
3. Resistência mecânica à flexão 173 kg/cm²
4. Massa volumica aparente 2840 kg/m³
5. Absorção de água à P. At.N. 0.1 %
6. Porosidade aberta 0.4 %
7. Coef. de dilatação linear térmica val. máx 6.3 x 10⁻⁶ per° C
8. Resistência ao desgaste 0.5 mm
9. Resistência ao choque: altura mínima de queda 75 cm

Obs. A resistência ao gelo é superior a 25 ciclos de gelo-degelo.

► Características Gerais da Exploração

Na pedreira em apreço, a fracturação é moderada, embora outras pedreiras da área mostrem, por vezes, fracturação relativamente densa. O principal sistema de fracturas observado tem orientação média N 30 a 40° E, inclinando de 80° para SE até à vertical e, para além de um outro com atitude N 60° W, 45° NE, ocorrem fracturas de fraco pendor e sub-horizontais. A rocha encontra-se algo alterada nas proximidades das fracturas. A ocorrência de alguns filões aplito-pegmatíticos relacionados com o granito rosado ocorrente na região e zonas pegmatíticas de um tipo de rocha idêntico concorrem para diminuir o rendimento da exploração. Os blocos extraídos são de tamanhos pequeno e médio; o corte de placas é feito segundo qualquer dos planos das faces dos blocos. Há algumas reservas deste tipo de rocha na área, mas a lavra foi, entretanto, suspensa.

► Microscopia

Minerais Essenciais

Plagioclase (andesina)	~58 %
Hornblenda	~25 %
Biotite	~12 %

Minerais acessórios

Quartzo	~4%
Clorite e minerais opacos	~1%

Aspectos Microscópicos

Segundo o plano de orientação preferencial



N +x15

Segundo o contra

► Análise Química

Al ₂ O ₃	17.94 %
CaO	7.63 %
Fe ₂ O ₃ (total)	9.53 %
H ₂ O+	0.94 %
H ₂ O-	0.18 %
K ₂ O	1.45 %
MgO	4.48 %
MnO	0.12 %
Na ₂ O	3.87 %
P ₂ O ₅	0.08 %
SiO ₂	52.56 %
TiO ₂	1.12 %

Descrição Microscópica

Diorito hornblendo-biotítico de textura hipidiomórfica granular, com alteração sericitica da plagioclase e alteração clorítica da biotite.

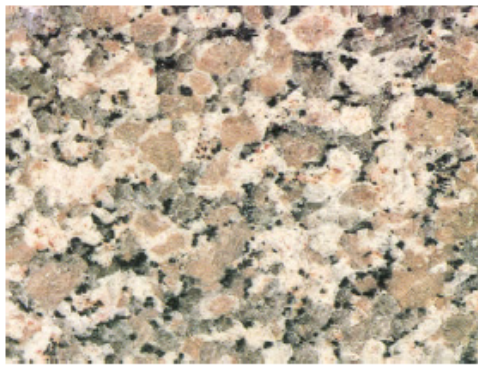


Imagem em tamanho real.

GRANITO	ROSA ARRONCHES	ROCHAS ÍGNEAS
---------	-------------------	---------------

RI-GR 324

► Localização

Distrito - PORTALEGRE
Concelho - ARRONCHES
Freguesia - ARRONCHES
Lugar - HERDADE DAS PINAS

► Descrição Macroscópica

Granito de granulado grosseiro e aspecto homogéneo, porfiróide, com cor levemente rosada determinada pela tonalidade dos megacristais de feldspato, os quais se destacam de uma matriz branco-acinzentada com pontuações escuras.

► Utilização Recomendada

Interiores e exteriores.

► Enquadramento Geológico

Este tipo de granito alcalino, com cor rosada, faz parte do anel intermédio da estrutura sub-vulcânica de Santa Eulália (Alto Alentejo), envolvendo um granito cinzento. Atribui-se-lhe idade Hercínica, ante-Vestfaliana.

► Características Físico-Mecânicas

1. Resistência mecânica à compressão 1340 kg/cm²
2. Res. mec. à compr. após teste de gelividade 1530 kg/cm²
3. Resistência mecânica à flexão 120 kg/cm²
4. Massa volúmica aparente 2830 kg/m³
5. Absorção de água à P. A.T.N. 0.2 %
6. Porosidade aberta 0.4 %
7. Coef. de dilatação linear térmica val. máx 9.3 x 10⁻⁶ per° C
8. Resistência ao desgaste 0.4 mm
9. Resistência ao choque: altura mínima de queda 55 cm

Obs. A resistência ao gelo é superior a 25 ciclos de gelo-degelo.

► Características Gerais da Exploração

A pedra mostra-se relativamente pouco fracturada, registando-se uma certa dispersão dos sistemas de diaclases, dos quais os de direcção N 40° W e N 15° E, ambos de pendor elevado ou sub-verticais, são os mais importantes. O granito apresenta algumas heterogeneidades algo dispersas, tais como enclaves e "schlierens" biotíticos e raros filonetes apfíto-pegmatíticos de feldspato de tom rosado mais acentuado, inseridos segundo fracturas tardias. Por vezes, encontra-se alterado para amarelo-acastanhado na proximidade de algumas das fracturas. Extraem-se blocos de tamanhos médio ou grande, em que o melhor dos aspectos ornamentais é obtido por corte ao "correr" da pedra; também se cortam placas paralelamente ao "contra" e ao "levante". A zona tem boas perspectivas quanto a reservas.

► Microscopia

Minerais Essenciais

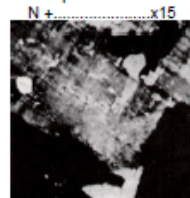
Microclina	~40 %
Plagioclase	~30 %
Quartzo	~20 %
Biotite	~8 %

Minerais acessórios

Zircão, apatite e minerais opacos ~2%

Aspectos Microscópicos

Segundo o plano de orientação preferencial



Segundo o contra

► Análise Química

Al ₂ O ₃	14.73 %
CaO	1.74 %
Fe ₂ O ₃ (total)	2.74 %
H ₂ O+	0.24 %
H ₂ O-	0.18 %
K ₂ O	4.43 %
MgO	0.67 %
MnO	0.03 %
Na ₂ O	3.87 %
P ₂ O ₅	0.06 %
SiO ₂	70.72 %
TiO ₂	0.23 %

Descrição Microscópica

Rocha granítica porfiróide com textura hipidiomórfica granular.

