

Estudo geológico-geomecânico do maciço rochoso fracturado de Monteiras (Castro Daire, NW de Portugal)

PEDRO NELSON DOS SANTOS MOREIRA
Julho de 2017



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Estudo geológico-geomecânico do maciço rochoso fracturado de Monteiras (Castro Daire, NW de Portugal)

Pedro Nelson dos Santos Moreira



2017

(página propositadamente em branco)



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

**Estudo geológico-geomecânico do maciço rochoso fracturado
de Monteiras (Castro Daire, NW de Portugal)**

Pedro Nelson dos Santos Moreira

1990270

*Projecto apresentado ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente**, realizada sob a orientação do Professor Doutor Helder I. Chaminé, Professor Coordenador com Agregação do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.*

(página propositadamente em branco)

Júri

Presidente

Doutor Helder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé

Professor Coordenador com Agregação, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor João Paulo Meixedo dos Santos Silva

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

Doutora Maria José Coxito Afonso

Professora Adjunta, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

*A dissertação de **mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente (MEGG)** foi apresentada e defendida em prova pública, pelo Licenciado **Pedro Nelson dos Santos Moreira**, no Auditório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Geotécnica (ISEP) em 27 de Julho de 2017 mediante o júri nomeado, em que foi atribuída, por unanimidade, a classificação final de **16 (dezasseis) valores**, cuja fundamentação se encontra em acta. Todas as correções pontuais determinadas pelo júri, e só essas, foram efectuadas.*

*Dedico esta dissertação à Carla e Catarina,
por tudo...*

(página propositadamente em branco)

Agradecimentos

Uma palavra de agradecimento a todos quantos, ao longo deste período, de uma ou de outra forma, me incentivaram na elaboração do presente trabalho. Assim, gostaria de destacar:

Ao Professor Helder I. Chaminé (ISEP) pela fabulosa orientação que imprimiu a este trabalho, por toda a disponibilidade em partilhar todo o seu saber, tanto nas inúmeras idas ao campo como no trabalho de gabinete, e por acreditar que os engenheiros geotécnicos do ISEP também são capazes de realizar *grandes projectos*. Grato ainda pela minuciosa revisão ao manuscrito e a partilha da bibliografia de geomecânica de meios fracturados.

Ao Engenheiro Jorge Marinho (FPM) por todo o seu apoio, sem o qual este projecto nunca teria sido possível.

Ao Sr. André Marcelino (FPM) e a todo os funcionários da pedreira de Monteiras pela preciosa ajuda na fase de aquisição de dados no campo, bem como a todos os funcionários do grupo FPM pelo excelente ambiente de trabalho.

Aos meus amigos e colegas Engenheiros R. Martins, A. Medeiros, J. Ribeiro e L. Resende, pelo fantástico companheirismo e boa disposição, demonstrados no ISEP e durante o trabalho de campo; continuem sempre assim...

Ao Doutor J. Teixeira (LABCARGA|ISEP) pelo auxílio prestado na elaboração de alguns mapas digitalizados e aquisição de cartografia vectorizada. À Doutora L. Guimarães (UP) pelas interessantes discussões sobre o estudo estatístico. À colega Dr.ª Liliana Freitas (LABCARGA|ISEP) pelo apoio na revisão da formatação do documento.

Os agradecimentos nominais têm o inconveniente, porventura, de não incluírem todos os que colaboram, sob o risco de tornarem este documento numa longa e fastidiosa lista. Se estes agradecimentos omitirem alguém, trata-se apenas um lapso no papel, uma vez que o signatário desta dissertação tem bem presente o apoio e as valiosas contribuições de todos Vós...

Aos meus Pais, Sogros e família por todo o apoio de retaguarda ao desenvolvimento deste projecto de dissertação. Bem hajam.

À Carla e Catarina, *por tudo...* sempre !.

(página propositadamente em branco)

Palavras-chave

Geomecânica, descontinuidades, técnica de amostragem linear, maciços rochosos, georrecursos, N de Portugal.

Resumo

Neste trabalho, apresentam-se e discutem-se os resultados da aplicação da técnica de amostragem linear de descontinuidades em faces expostas do maciço rochoso da pedra granítica de Monteiras (Coira d'Além, Castro Daire; NW de Portugal). É, igualmente, utilizada informação sobre a rede de fracturação regional, obtida através da análise morfoestrutural de mapas topográficos e mapas geológicos. São ainda referidos os métodos utilizados no tratamento dos dados de terreno com o objetivo de definir as famílias de descontinuidades e de caracterizar estatisticamente a sua atitude, espaçamento e extensão. Os resultados obtidos são comparados, à mega e macroescala, no sentido de averiguar a presença de um padrão de fracturação com dimensão multi-escala. A aplicação desta técnica para a caracterização da compartimentação do maciço poderá contribuir para aperfeiçoar a gestão sustentável do georrecurso da pedra de Monteiras.

(página propositadamente em branco)

Keywords

Geomechanics, discontinuities, scanline sampling technique, rock masses, georesources, N Portugal.

Abstract

This work presents the results of the structural geomorphology/geology and geotechnics studies for the block size of a granitic rock mass. For this characterisation, the scanline sampling technique of discontinuities has been applied to the study of free rock mass faces from Monteiras granitic quarry (Coira d'Além, Castro Daire; N Portugal). For that purpose, the surrounding area of the open quarry, as well as selected granitic outcrops, were studied using the following tools: surface geomorphological/geological mapping, structural geology and geotechnics/geomechanics techniques. Thus, a morphotectonic analysis of topographic map and geological survey has then been carried out. In addition, the evaluation methods of field data for discontinuities sets and the statistical characterisation of their orientation, spacing and extension are also presented. The results achieved at different scales are compared in order to detect the presence of a multiscale fracture network pattern. The use of these techniques for understanding the rock mass block size may contribute to improve the sustainable management of the georesources from Monteiras granitic quarry.

(página propositadamente em branco)

Índice

1.	Enquadramento do tema e objetivos	3
2.	Introdução geral	7
3.	Caracterização da compartimentação de maciços rochosos	11
3.1.	Introdução	11
3.2.	Descontinuidades: noção, tipos e génese	11
3.3.	Descrição de Maciços Rochosos	16
3.3.1.	Metodologia e sistemática	16
3.3.2.	Parâmetros do maciço rochoso	17
3.3.3.	Características e parâmetros elementares para a classificação de maciços rochosos	22
3.3.4.	Técnica de amostragem linear aplicada a superfícies de descontinuidades	27
3.4.	Caracterização geomecânica	30
3.4.1.	Ensaio de “Los Angeles”	30
3.4.2.	Ensaio esclerométrico	32
4.	Pedreira de Monteiras: caracterização geológica, geotécnica e geomecânica	37
4.1.	Generalidades	37
4.2.	Enquadramento geográfico	37
4.3.	Metodologias	39
4.4.	Enquadramento regional	41
4.5.	Geologia, Geotecnia e Geomecânica da Pedreira de Monteiras	45
4.5.1.	Geologia local do maciço e área envolvente	45
4.5.2.	Cartografia geológica e geotécnica	47
4.5.3.	Geotecnia e geomecânica local do maciço	49
4.5.4.	Caracterização geomecânica local	55
4.6.	Reservas da Pedreira de Monteiras: breves considerações	66
5.	Conclusões	71
6.	Referências	75

página propositadamente em branco)

Índices de Figuras

Figura 1. Exemplo de uma superfície de descontinuidade (Hoek, 2007).	12
Figura 2. Representação esquemática ideal de uma superfície de diaclasamento representando os principais elementos observáveis em faces expostas do maciço, como por exemplo, as estruturas plumosas típicas em maciços graníticos (adaptado de Davis & Reynolds, 1996). Em A, B e C apresenta-se os 3 modos fundamentais de geração de estrias em diaclasamento, ou seja, em A abertura perpendicular às paredes das superfícies de diaclases, em B deslizamento segundo uma direção paralela à superfície de deslizamento e perpendicular à frente da fracturação, em C movimento “em tesoura” paralelo à superfície de diaclasamento e à frente da fracturação.	15
Figura 3. Principais tipos de diaclases, num maciço magmático (Sodré Borges, 2002). 1. Diaclases cruzadas (provavelmente, as primeiramente formadas); 2. Diaclases diagonais; 3. Diaclases sub-horizontais; 4. Diaclases longitudinais (provavelmente, as mais recentes, pós-magmáticas).	15
Figura 4. Exemplos de formas geométricas relacionadas com o padrão da fracturação (Palmström, 1995).	19
Figura 5. Equipamento de campo básico para o levantamento pela técnica de amostragem linear aplicada a estudos geotécnicos e geomecânicos (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).	22
Figura 6. Esquema do dispositivo para levantamento de descontinuidades pela técnica de amostragem linear (adaptado de Brady & Brown, 2004). D – distância à origem da fita; L – semi-comprimento exposto.	27
Figura 7. Ficha tipo de levantamento geológico-geotécnico e geomecânico de campo, com aplicação da técnica de amostragem linear.	29
Figura 8. Exemplos de máquina de Los Angeles.	30
Figura 9. Exemplo de aplicação do martelo de Schmidt.	33
Figura 10. Ábaco de Miller para o cálculo da resistência a partir do martelo Schmidt (Gonzalez de Vallejo et al., 2002).	34
Figura 11. Mapa do distrito de Viseu (segundo E.I.A., 2004).	38
Figura 12. Localização da pedreira nº 5750 de Monteiras, lugar da Coira D’Além (adaptado da Carta Militar de Portugal do Serviço Cartográfico do Exército, Folha nº 147 - Tarouca, 1/25.000).	38
Figura 13. Panorâmica da pedreira nº 5750 de Monteiras, vista de Sul.	39
Figura 14. Fotointerpretação dos lineamentos tectónicos regionais e Modelo Digital de Terreno (MDT) construído a partir da vectorização das curvas de nível da carta Militar de Portugal (escala 1/25.000, folha 147), pelo método krigagem com uma resolução de 10m.	42

Figura 15. Enquadramento geotectónico regional dos granitos Variscos da Zona Centro-Ibérica, bem como a visualização das principais faixas de cisalhamento e sistemas de falhas regionais do NW de Portugal (adaptado de Dias et al., 2000).	43
Figura 16. Enquadramento geológico estrutural da região de Monteiras (adaptado de Teixeira et al., 1969).	44
Figura 17. Modelo Digital de Terreno da Pedreira de Monteiras (base topográfica, ano 2003, cedida gentilmente por FPM; anexo 1).	45
Figura 18. Modelo Digital de Terreno com a implantação das zonas geotécnicas definidas para a Pedreira de Monteiras (base topográfica, ano 2003, cedida gentilmente por FPM).	48
Figura 19. Histogramas representativos da frequência do grau de alteração (ISRM, 1978, 1981) para o maciço de Monteiras.	50
Figura 20. Histogramas de frequências absolutas de diaclases vs. classes de espaçamento dos painéis estudados.	53
Figura 21. Aplicação do ensaio esclerométrico na pedreira de Monteiras.	56
Figura 22. Relação entre a resistência à compressão uniaxial (MPa) e o ensaio Los Angeles (%), adaptado de Al-Harhi (2001).	62
Figura 23. Diagrama de dispersão para os resultados obtidos através do ensaio de resistência à compressão uniaxial (σ_c , MPa) e do ensaio Los Angeles (LA, %).	63
Figura 24. Relação entre a resistência à compressão uniaxial (MPa) e o ensaio Los Angeles (%), e intervalo de confiança a 95% para as previsões, obtida a partir dos ensaios realizados na pedreira de Monteiras.	64
Figura 25. Modelo Digital de Terreno e aspeto geral da exploração da pedreira de Monteiras, vista de Leste para Oeste. Representação das áreas para a estimativa das reservas da Pedreira de Monteiras.	67

Índices de quadros

Quadro 1. Descrição dos principais tipos de diaclases em rochas magmáticas (Sodré Borges, 2002). __	16
Quadro 2. Classificação do tamanho dos blocos de material-rocha com base no índice volumétrico (J_v).	21
Quadro 3. Classificação de maciços rochosos em função do tamanho e forma dos blocos. _____	21
Quadro 4. Graus de alteração propostos pela ISRM (1981) e GSE (1995). _____	24
Quadro 5. Classificação do espaçamento entre descontinuidades, segundo a ISRM (1978, 1981). _____	24
Quadro 6. Descrição da continuidade (ISRM, 1981). _____	25
Quadro 7. Abertura de descontinuidades (ISRM, 1978, 1981). _____	26
Quadro 8. Resistência à compressão simples segundo a ISRM (1978, 1981). _____	34
Quadro 9. Síntese das características dos perfis amostrados no maciço das Monteiras (granito porfiróide de duas micas, Y_{2m} ; granito porfiróide essencialmente biotítico, Y_b). _____	52
Quadro 10. Síntese das características geomecânicas dos perfis amostrados. _____	57
Quadro 11. Síntese das características geomecânicas dos perfis amostrados (cont.). _____	58
Quadro 12. Síntese das características geomecânicas dos perfis amostrados (cont.). _____	59
Quadro 13. Resultados comparativos dos ensaios Los Angeles e esclerométrico. _____	61
Quadro 14. Estatística descritiva dos ensaios de resistência obtidos para o maciço granítico da pedreira de Monteiras. _____	62
Quadro 15. Coeficientes de regressão para a relação entre a resistência à compressão uniaxial (MPa) e o ensaio Los Angeles (%) para os dados amostrais da pedreira de Monteiras. t, estatística t de Student; g.l., graus de liberdade; P, probabilidade associada à estatística t; $IC_{95\%}$, Intervalo de confiança a 95%. _____	63

Índices de anexos

Anexo 1	Levantamento topográfico
Anexo 2	Mapa Geológico da Pedreira de Monteiras
Anexo 3	Mapa Geotécnico da Pedreira de Monteiras
Anexo 4	Mapa de localização dos perfis
Anexo 5	Diagramas de contorno estrutural
Anexo 6	Diagramas roseta
Anexo 7	Mapa de localização das estações geomecânicas

(página propositadamente em branco)

1. Enquadramento do Tema e Objectivos

(página propositadamente em branco)

1. Enquadramento do tema e objetivos

Este trabalho enquadra-se na unidade curricular “Dissertação/Projeto/Estágio” do 2º ano (anual) do curso de mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente do Departamento de Engenharia Geotécnica (DEG) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Politécnico do Porto (P.Porto).

Este Projeto pretende apresentar a caracterização das condicionantes geológico-geotécnicas e geomecânicas com o intuito de estudar a compartimentação do maciço rochoso da pedreira granítica de Monteiras. Esta pedreira está situada na localidade de Monteiras, entre os lugares do Colo do Pito e da Moura Morta (Castro Daire, NW de Portugal) e encontra-se, atualmente, em fase de exploração pela empresa FRANCISCO PEREIRA MARINHO & IRMÃOS, S.A. (FPM). O georrecurso granítico em questão é explorado pela empresa para fins vários, i.e., brita, “tout-venant”.

O presente trabalho foi desenvolvido em duas fases complementares, ou seja, uma primeira fase, referente ao trabalho de campo enquadrada na fase de reconhecimento geológico-geotécnico, uma segunda fase, ligada ao processamento, análise e interpretação dos dados para uma caracterização geotécnica e geomecânica do maciço rochoso. Assim, neste trabalho, são referidos de uma forma sucinta os métodos e as técnicas para tratamento dos dados de terreno, visando a caracterização do estado de alteração do maciço e a definição das famílias de descontinuidades, recorrendo, na medida do possível, à terminologia e às recomendações propostas pela ISRM - *International Society for Rock Mechanics* (ISRM 1978, 1981, 2007, 2015), pela GSE - *Geological Society Engineering Group Working Party Report* (GSE, 1995) e pelo CFCCF – *Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow* (CFCCF, 1996). Apresentam-se, ainda, os resultados do estudo da rede de fracturação regional, com base na análise morfoestrutural de mapas topográficos e dos reconhecimentos geológicos locais. Comparam-se os resultados obtidos à mega e macroescala no sentido de averiguar a presença de um padrão de fracturação com dimensão multi-escala. Por fim, discute-se a utilidade desta metodologia e das técnicas associadas para a conceptualização de um modelo geotécnico-geomecânico em meio fraturado. Para o efeito, apresenta-se, ainda que de uma forma sumária, a técnica de amostragem linear aplicada a faces expostas em diferentes taludes rochosos, bem como nos métodos de tratamento geológico-geotécnico das descontinuidades. A título exemplificativo apresentam-se os principais resultados obtidos no levantamento de terreno de descontinuidades nos diferentes taludes da pedreira de Monteiras. A aplicação da técnica de amostragem linear em faces expostas do material-rocha para a caracterização da compartimentação do maciço poderá, eventualmente, contribuir para melhorar a gestão do georrecurso de Monteiras.

Os trabalhos de terreno decorreram na pedreira das Monteiras tendo sido realizados pelo signatário deste projeto e, por vezes, coadjuvado pelo Sr. André Marcelino (FPM), sob coordenação do Professor Helder I. Chaminé. O presente projeto enquadra-se, ainda, ao abrigo do protocolo de cooperação entre a empresa FPM e o ISEP, sob a supervisão técnico-científica do Prof. Doutor Helder I. Chaminé (ISEP) e do administrador da FPM, Engenheiro Civil Jorge Marinho. O presente trabalho retoma e actualiza o estudo prévio de Moreira (2005).

Em síntese, poderemos destacar que os principais objetivos deste estudo foram:

- O reconhecimento e a caracterização geológico-geotécnica (em termos de litologia, de fracturação e de alteração) do maciço granítico de Monteiras com o intuito de se estabelecer a compartimentação, em grande, do maciço rochoso. O levantamento sistemático das discontinuidades da face exposta de rocha pela técnica de amostragem linear (e.g., ISRM, 1981; Dinis da Gama, 1995; Peacock et al., 2003; Brady & Brown, 2004; Chaminé et al., 2015; Chaminé, 2016) e caracterização geológico-geotécnica pela aplicação da “Basic Geotechnical Description of Rock Masses”, referenciada simplesmente por BGD, proposta pela ISRM (1981). Execução da cartografia geológica e geotécnica da pedreira de Monteiras.
- O cruzamento e a síntese de todos os dados geológicos, geomorfológicos, geotectónicos, hidrogeológicos, geotécnicos para o estabelecimento de uma síntese geológica, geotécnica e geomecânica para o maciço. Execução de ensaios esclerométricos e de fragmentação para a caracterização de parâmetros geomecânicos.
- Por fim, como objetivo complementar e perspectivado numa fase exploratória, são delineados alguns aspetos orientativos em termos geomecânicos e de deformação que porventura poderão ser úteis para a gestão do georrecurso.

2.Introdução geral

(página propositadamente em branco)

2. Introdução geral

Numa perspetiva puramente geológica, as rochas são os materiais constituintes da litosfera terrestre. Logo, nesta designação tão abrangente poder-se-á considerar, quer os materiais superficiais não consolidados quer os materiais num estado fluido (*e.g.*, hidrocarbonetos). Dado o carácter lato da definição anterior, esta não poderá interessar ao Engenheiro. A primeira restrição a fazer consiste em reservar a designação de rocha unicamente para os materiais sólidos componentes da crosta terrestre (Mello Mendes, 1967-68).

É nestes materiais rochosos que o Homem tem de apoiar a maior parte das suas estruturas, tem de rasgar as suas escavações, para fins de construção civil ou de exploração mineira, tem que sondar para obter petróleo ou gás natural, tem que fragmentar e moer para a abertura de obras subterrâneas ou para obter materiais de construção, etc. Por fim, é o comportamento destas rochas que o Homem tem que compreender para poder interpretar a evolução geológica do planeta Terra (Mello Mendes, 1967-68; Rocha, 1981, 2013).

Assim, a geomecânica pode ser perspectivada como o domínio científico que se ocupa do estudo dos materiais geológicos naturais e o seu comportamento reológico, bem como dos meios em que eles ocorrem (Mello Mendes, 1967-68). A contribuição da geologia é de extrema importância em qualquer projeto de geomecânica e/ou geotecnia, em virtude da habitual complexidade das unidades geológicas, no que respeita à diversidade dos distintos tipos de litologias que ocorrem e à sua particular heterogeneidade e o estado de alteração (Aires-Barros, 1991; Brown, 1991; Rocha, 1981, 2013). De facto, as ferramentas geológicas tradicionais (*e.g.*, a cartografia geológica, a geologia estrutural e a fotogeologia) quando aplicadas, por exemplo, à prospeção geológica, à prospeção geotécnica e aos estudos de geomecânica, perspectivadas num quadro geológico regional atualizado, serão com certeza uma ferramenta de excelência, em estudos de natureza geotécnica (Chaminé, 2016).

(página propositadamente em branco)

3.Caracterização da compartimentação de maciços rochosos

3. Caracterização da compartimentação de maciços rochosos

3.1. Introdução

A descrição e caracterização de maciços rochosos com fins geotécnicos tem como objetivo identificar e determinar as condições e propriedades, observáveis em trabalho de campo, que posteriormente permitam com estudos adicionais prever o comportamento do material-rocha perante escavações, fundações ou qualquer outro fim construtivo ou extrativo que implique uma modificação ao estado natural dos maciços rochosos.

O comportamento de um maciço rochoso é definido em função das propriedades intrínsecas dos materiais que o constituem, assim como a estrutura e a resistência ao corte dos planos de descontinuidade que o afetam, bem como as condições geológicas, tectónicas e hidrogeológicas (Pereira, 1985).

Todos os maciços rochosos, para além de serem normalmente estruturas descontínuas e heterogéneas, apresentam, em regra, uma evidente anisotropia. Esta é devida, por um lado à anisotropia do material rochoso e, por outro lado, às famílias de descontinuidades que compartimentam os maciços. Esta última contribuição é, em geral, a mais relevante, não só no que diz respeito à deformabilidade, mas também à resistência dos maciços rochosos.

A base de qualquer análise da mecânica das rochas prática é a compilação dos dados geológicos na qual deve constar a definição dos tipos de rocha, do tipo de descontinuidades e das propriedades físicas do material. Assim, até mesmo a análise mais sofisticada se pode tornar um exercício sem sentido se a informação geológica na qual é baseada é inadequada ou inexacta (Brady & Brown, 2004; Hoek, 2007; Gonzalez de Vallejo & Ferrer, 2011). Os métodos e técnicas para a análise de elementos geológicos não mudaram muito nos últimos 25 anos, no entanto, existiram alguns avanços no equipamento usado no reconhecimento de campo, como por exemplo, uma evolução no tipo de bússola com clinómetro.

3.2. Descontinuidades: noção, tipos e génese

Designam-se por descontinuidades qualquer entidade geológica que interrompa a continuidade física de uma dada formação geológica (figura 1). Estas são muito importantes pois, ao seccionarem um maciço rochoso, vão influenciar as propriedades geomecânicas deste, uma vez que lhe conferem um comportamento, em termos de deformabilidade, permeabilidade e resistência ao corte, muito diferente daquele que apresenta o material que o constitui (Rocha, 1981; Brady & Brown, 2004; Hoek, 2007; Gonzalez de Vallejo & Ferrer, 2011).

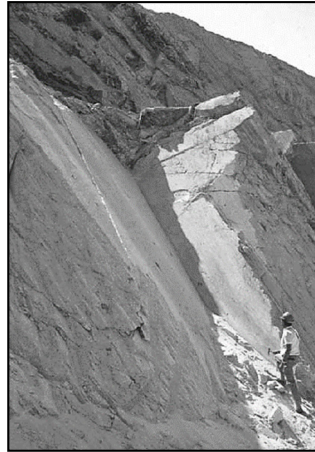


Figura 1. Exemplo de uma superfície de descontinuidade (Hoek, 2007).

É comum em mecânica das rochas o uso do termo descontinuidade como termo geral para descrever a maior parte das superfícies estruturais (tais como falhas, diaclases, estratificação, xistosidade, etc.) de um dado maciço rochoso que tem resistência relativamente baixa à tração. Esta terminologia será assumida no presente trabalho, mudando apenas quando for necessária a identificação da origem geológica da superfície estrutural.

Ao longo dos tempos geológicos, os maciços rochosos estiveram submetidos a sucessivos estados de tensão que conjuntamente com as condições ambientais e tendo em conta as características intrínsecas do material, originaram uma série de modificações no maciço rochoso original (Dinis da Gama, 1995; Chaminé, 2016). As descontinuidades dos maciços rochosos condicionam, de uma forma definitiva, as suas propriedades e o seu comportamento em termos de resistência, de deformabilidade e de permeabilidade. As descontinuidades imprimem um carácter descontínuo e anisotrópico aos maciços, tornando-os assim, mais deformáveis e frágeis. Em suma, o comportamento mecânico do maciço rochoso, o seu modo de deformabilidade e os seus mecanismos de rotura estão condicionados pelo número de famílias de descontinuidades.

As diaclases (ou juntas) são os planos de descontinuidade mais frequente nos maciços rochosos e correspondem, segundo a ISRM (1978), a superfícies que ocorrem no material-rocha ao longo das quais não existe rejeito entre os blocos. No entanto a movimentação das superfícies de diaclases, mesmo quase que impercetível, não reúne consenso na comunidade científica. Para alguns autores, as diaclases com estrias são evidência de algum movimento estrutural no maciço. Outros consideram que se uma descontinuidade apresenta estrias, então deverá ser classificada como falha. Tipicamente, são planas (ou aproximadamente planas). As diaclases constituem estruturas planares não-penetrativas, características de um comportamento frágil ou semi-frágil das rochas.

Estes planos de rotura ocorrem, portanto, em rochas competentes e são típicos de uma resposta das rochas sujeitas a um estado de tensão, quando localizadas nos níveis estruturais superiores (Sodré Borges, 2002).

Atendendo à sua origem, distinguem-se vários tipos de diaclases (Pereira, 1985; Davis & Reynolds, 1996):

- Diaclases de origem tectónica associadas a mega-dobramentos e a zonas de cisalhamento. No primeiro caso apresentam uma disposição característica; as diaclases associadas a falhas, normalmente, dispõem-se paralelamente à superfície de falha e com uma frequência que diminui com o aumento da distância da origem da mesma.
- Diaclases em rochas ígneas formadas por contração durante ou depois da instalação do corpo ígneo. Apresentam, em regra, uma disposição característica em três famílias ortogonais entre si.

Os planos de estratificação são as superfícies que limitam os estratos em rochas sedimentares. Caracterizam-se por serem sistemáticas e com elevada continuidade e cujo o espaçamento oscila, geralmente, entre poucos centímetros e vários metros. As superfícies de laminação são descontinuidades sistemáticas que aparecem em rochas sedimentares, correspondendo aos planos que limitam as lâminas ou níveis mais pequenos de uma sequência sedimentar. Adquirem maior importância em rochas de grão fino e caracterizam-se por um espaçamento muito reduzido, na ordem do milímetro ou centímetro. As superfícies de contacto litológico são planas singulares de separação entre diferentes litologias de um maciço rochoso. Têm pouca expressão em rochas sedimentares, ao contrário das rochas ígneas onde adquirem uma elevada importância, onde influenciam em grande parte o seu comportamento mecânico, como são exemplo as falhas (Pereira, 1985).

Em termos genéticos, as descontinuidades geram-se e propagam-se quando a pressão exercida sobre o maciço rochoso iguala a sua resistência mecânica. Vários são os mecanismos e fontes capazes de produzir elevadas pressões sobre a crosta terrestre. Entre esses podemos referir as pressões litoestáticas (modificação dos estados de pressão exercidos pelos estratos de cobertura do substrato devido a levantamentos epirogénicos e fenómenos erosivos), a pressão dos geofluidos, as tensões tectónicas, etc.

Do ponto de vista geotécnico, importa determinar a amplitude da abertura da diaclase e a sua variação ao longo do plano de diaclasamento (em particular, verificar se ocorrem, ou não, pontos

de contacto entre as duas superfícies separadas pelo diaclasamento). Quando preenchida, a natureza do preenchimento tem de ser muito bem especificada (em particular, as suas características mecânicas). Se a diaclase não estiver preenchida, é importante, ainda do ponto de vista geotécnico, caracterizar a sua rugosidade (Sodré Borges, 2002): verificar se as suas paredes são lisas, estriadas ou polidas; se são planas, onduladas ou denteadas. Destas características dependerá o comportamento mecânico das discontinuidades.

Na figura 2 ilustram-se dois tipos de estruturas típicas das superfícies de diaclasamento (Davis & Reynolds, 1996): as estruturas plumosas (“plumose ou hackle-marks”) e as “rib-marks”, cuja génese tem sido objeto de muita discussão, mas que não está ainda perfeitamente esclarecida, podendo diferentes mecanismos dar-lhes origem.

Diversos mecanismos têm sido avançados para explicar a formação de diaclases, como por exemplo a atuação de esforços de torção. Prevalece, contudo, a convicção de que as diaclases se repartem por dois tipos principais, quanto à sua origem (*e.g.*, Bell, 1992; Davis & Reynolds, 1996; Palmström, 1995; Sodré Borges, 2002; Palmström & Stille, 2010): diaclases de tração (ou de extensão) e diaclases de corte (ou de cisalhamento). Na discussão sobre a possibilidade de ocorrência dos dois tipos de diaclases, um dos argumentos fulcrais tem-se centrado à volta das estruturas plumosas observadas nos planos de diaclasamento.

Durante o levantamento tectónico do maciço, possíveis variações da pressão intersticial presente nas rochas desempenharão um papel fundamental na génese da fracturação. Consoante o valor daquela pressão, assim a fracturação poderá ser por corte ou por tracção, podendo em situações-limite, oscilar, num mesmo local, entre os dois modos. Então, poderá observar-se uma típica fratura (veio) de tração prolongar-se sob a forma de “tension gashes” dispostas em degrau, como é típico das zonas de cisalhamento frágil-dúctil (Sodré Borges, 2002).

As fraturas observadas numa rocha magmática são, na sua maioria, primárias: resultam da fracturação da crosta, mais ou menos rígida, do corpo ígneo, em resultado do movimento da massa central ainda fluida e, ainda, da sua expansão ou da sua retração. Tais fraturas são, frequentemente, preenchidas por aplitos ou por minerais de origem hidrotermal, relacionados com o episódio ígneo. Sendo primárias, não são, verdadeiramente, diaclases e deveriam, antes, ser descritas como veios. No entanto, não é de excluir a ocorrência de verdadeiras diaclases num maciço magmático: elas serão fraturas tardias (relativamente ao episódio magmático), pelo que serão, muito provavelmente, estéreis (ou o seu preenchimento não derivou, diretamente, do mesmo episódio magmático), mas terão uma orientação estreitamente relacionada com a fracturação primária. Na figura 3, ilustram-se as “diaclases” dos tipos mais frequentemente

observados num maciço magmático, ordenadas segundo a sua idade provável, da mais antiga para a mais recente. No quadro 1, sumariam-se as características dessas mesmas fraturas, segundo a mesma ordenação.

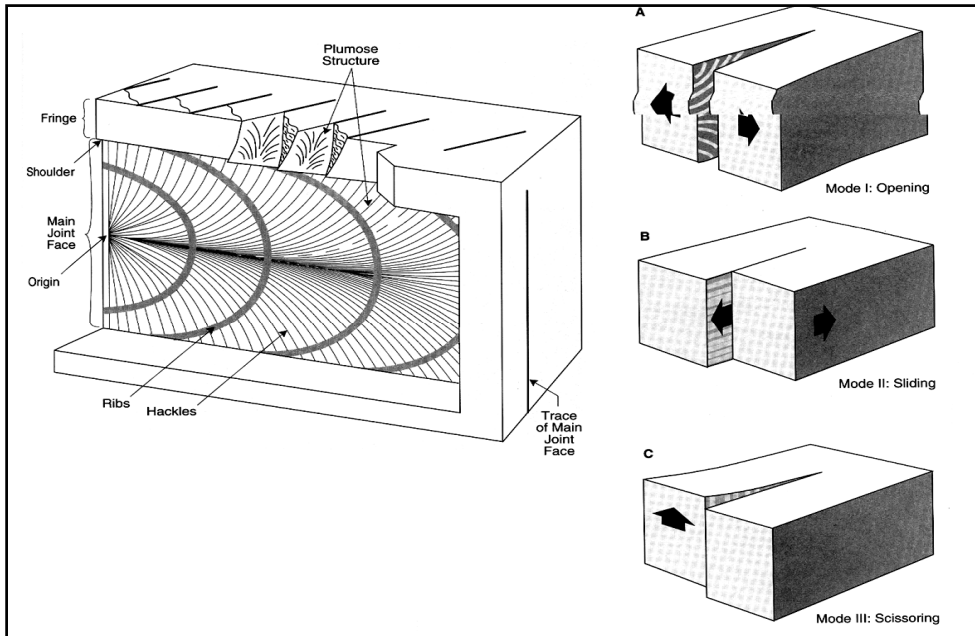


Figura 2. Representação esquemática ideal de uma superfície de diaclasamento representando os principais elementos observáveis em faces expostas do maciço, como por exemplo, as estruturas plumosas típicas em maciços graníticos (adaptado de Davis & Reynolds, 1996). Em A, B e C apresenta-se os 3 modos fundamentais de geração de estrias em diaclasamento, ou seja, em A abertura perpendicular às paredes das superfícies de diaclases, em B deslizamento segundo uma direção paralela à superfície de deslizamento e perpendicular à frente da fracturação, em C movimento “em tesoura” paralelo à superfície de diaclasamento e à frente da fracturação.

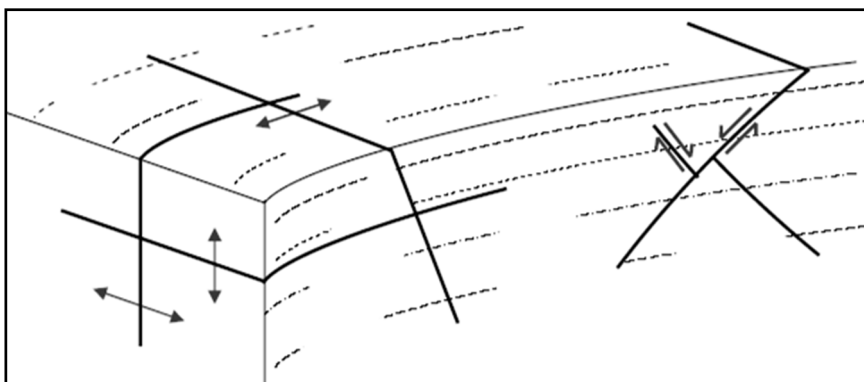


Figura 3. Principais tipos de diaclases, num maciço magmático (Sodré Borges, 2002). 1. Diaclases cruzadas (provavelmente, as primeiramente formadas); 2. Diaclases diagonais; 3. Diaclases sub-horizontais; 4. Diaclases longitudinais (provavelmente, as mais recentes, pós-magmáticas).

Quadro 1. Descrição dos principais tipos de *diaclasses* em rochas magmáticas (Sodré Borges, 2002).

DESIGNAÇÃO	ORIENTAÇÃO	PREENCHIMENTO	MECANISMO
Diaclasses cruzadas <i>cross-joints, Q-joints</i>	Perpendiculares às linhas de fluxo	Preenchidas. Com estrias de deslizamento.	Tracção associada ao atrito entre a crosta e o magma fluido e, ainda, à possível expansão da intrusão.
Diaclasses diagonais <i>diagonal-joints</i>	A 45°, ou mais, das linhas de fluxo	Preenchidas. Com estrias de deslizamento.	Por corte associado às tensões criadas pelo fluxo: tracção ao longo das linhas de fluxo; com pressão, perpendicularmente.
Diacl. sub-horizontais <i>flat-lying joints</i>	Sub-horizontais (nas zonas apicais de domos acha-tados ou em soleiras)	Preenchidas.	Talvez, por tracção resultante da retracção da massa interna da intrusão, ao arrefecer.
Diacl. longitudinais <i>longitudinal-joints, S-joints</i>	Paralelas às linhas de fluxo (seguem a sua direcção, mas não o seu mergulho)	Raramente preenchidas. Quando preenchidas, contém minerais estranhos à intrusão	Por tracção, devida a esforços gerados pelo arrefecimento, associados aos causados pela extensão lateral devida ao levantamento tectónico.

3.3. Descrição de Maciços Rochosos

3.3.1. Metodologia e sistemática

A descrição e caracterização de maciços rochosos em afloramentos é uma tarefa necessária em todos os estudos de geologia de engenharia ou de geotecnia, cujo o objetivo maior é o conhecimento das propriedades e características geotécnicas dos materiais rochosos.

O desenrolar dos trabalhos de campo em afloramentos permite obter informação necessária para avaliar o comportamento geotécnico dos maciços rochosos, planificar as fases de investigação mais avançadas e interpretar os resultados que se obtêm das mesmas. Devido à grande variedade de condicionantes e propriedades, a caracterização dos maciços pode ser uma tarefa complexa, sobretudo se se encontrarem conjuntamente materiais rochosos e terrosos, zonas fraturadas, tectonizadas e/ou meteorizadas.

As descrições dos maciços rochosos com fins geotécnicos necessitam de atenções e medidas adicionais às geológicas; assim se justifica a necessidade de estabelecer uma sistemática que padronize critérios e facilite a comunicação entre todos os geo-profissionais que tenham de realizar trabalhos semelhantes. Estas descrições podem implicar um certo grau de subjetividade que se deve evitar, na medida do possível, realizando observações sistemáticas e utilizando uma terminologia padronizada (ISRM, 1978, 1980, 2007, 2015).

A sistemática para a descrição dos afloramentos de maciços rochosos pode-se resumir nas seguintes etapas (ISRM, 1987, 1981; Dearman, 1991):

- Descrição das características gerais do afloramento;

-
- Divisão em zonas geotécnicas e descrição geral de cada zona;
 - Descrição pormenorizada de cada zona em termos da matriz rochosa e das descontinuidades;
 - Descrição dos parâmetros geológicos e geométricos do maciço rochoso;
 - Caracterização global e classificação geológico-geotécnica do maciço rochoso.

O estudo geral do maciço deverá incluir a identificação, a descrição das condições gerais do afloramento e a caracterização dos vários aspetos geológico-geotécnicos, *i.e.*, o tipo de litologias e do material-rocha, o estado de alteração, o estudo das descontinuidades e as condições hidrogeológicas. A divisão em zonas geotécnicas mais ou menos homogéneas realiza-se a partir de critérios essencialmente litológicos e geológico-estruturais. A descrição de cada zona deve ser o mais objetiva e clara possível, recorrendo-se, normalmente, a uma terminologia recomendada (*e.g.*, ISRM, 1980; Dearman, 1991; GSE, 1995; CFCCF, 1996; ISRM, 2007, 2015).

3.3.2. *Parâmetros do maciço rochoso*

Para a caracterização global do maciço rochoso a partir dos dados obtidos no estudo dos afloramentos, juntamente com a descrição dos seus componentes, da matriz-rochosa e das descontinuidades, devem ser considerados outros aspetos representativos do conjunto, tais como:

- O número de descontinuidades e de famílias presentes no maciço;
- Tamanho dos blocos e intensidade de fracturação;
- Grau de alteração.

Definir-se-á família de descontinuidade como o conjunto de todas as descontinuidades que apresentam idêntica orientação. De acordo com esta definição, uma falha, uma diaclase, uma microfissura, poderão ser englobadas na mesma família, o que terá a sua lógica se se admitir que por um lado todas elas podem ter resultado dos efeitos produzidos pelos mesmos campos de tensão instalados no maciço, e por outro lado, que é no seu conjunto que elas influenciam o maciço rochoso e, conseqüentemente, a obra de engenharia (Rocha, 1981; Pereira, 1985; Gonzalez Vallejo & Ferrer, 2011). Contudo, existem descontinuidades que não poderão ser agrupadas nas famílias, ou por serem erráticas ou aleatórias, não possuindo a mesma orientação das restantes ou por

apresentarem características físicas e mecânicas peculiares (Pereira, 1985). Nestes casos dever-se-á privilegiar o seu estudo individual de forma a analisar e ter em conta as suas implicações para o maciço rochoso.

A orientação média de uma família avalia-se mediante a projeção estereográfica ou pela construção de diagramas rosetas realizadas com os dados das orientações medidas para cada descontinuidade. Atualmente existem programas informáticos para realizar este tipo de trabalho de uma forma rápida e exata, como é o caso do programa geoinformático utilizado, “StereoNet for Windows version 3.03” da Geological Software® (1992 – 1995).

O maciço pode classificar-se pelo número de famílias, variando entre maciços rochosos compactos com apenas uma família de descontinuidades, como é exemplo um maciço rochoso, e maciços com três ou mais famílias de descontinuidades.

A ISRM (1978) recomenda que se considerem os seguintes nove casos para análise do número de famílias de descontinuidades que ocorrem em certa zona do maciço:

- Caso 1: maciço compacto, com algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.
- Caso 2: uma família de descontinuidades.
- Caso 3: uma família de descontinuidades e ainda algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.
- Caso 4: duas famílias de descontinuidades.
- Caso 5: duas famílias de descontinuidades e ainda algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.
- Caso 6: três famílias de descontinuidades.
- Caso 7: três famílias de descontinuidades e ainda algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.
- Caso 8: quatro ou mais famílias de descontinuidades.
- Caso 9: maciço de rocha muito esmagada, com o aspeto idêntico ao de um solo.

As famílias de descontinuidades podem ser representadas graficamente mediante a construção de blocos-diagramas, permitindo assim a visualização espacial da sua orientação relativa e do tamanho e forma dos blocos de matriz rochosa.

As descontinuidades quando dispostas com uma certa regularidade designam-se por superfícies de compartimentação, i.e., são os planos de anisotropia planar de fraqueza estrutural (figura 4).

O tamanho do bloco unitário é, em muitos aspetos da geotecnia, um dos mais críticos parâmetros determinados para os maciços rochosos. No entanto, em vários casos, torna-se um parâmetro difícil de quantificar, sendo por vezes impossível a sua determinação por métodos expeditos. Como consequência, a estimativa do bloco unitário é tipicamente realizada e incorporada nas classificações dos maciços rochosos.

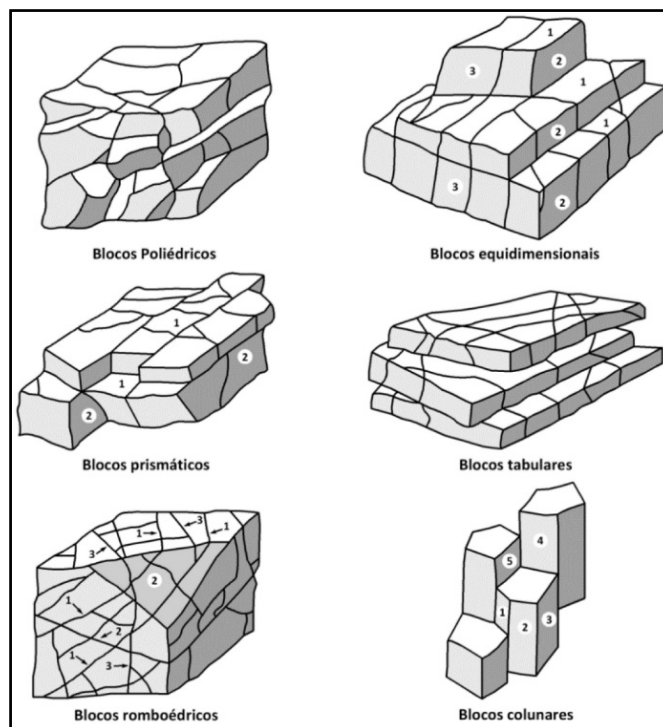


Figura 4. Exemplos de formas geométricas relacionadas com o padrão da fracturação (Palmström, 1995).

Conceptualmente, a determinação deste parâmetro pode-se considerar como produto de três parâmetros geotécnicos simples: a orientação dos sistemas de descontinuidades, o espaçamento real (espaçamento perpendicular entre diaclases de uma mesma família) e a persistência. Dependendo da variação destes parâmetros, são duas as soluções possíveis (Gonzalez de Vallejo & Ferrer, 2011): i) verifica-se o aparecimento de famílias de descontinuidades que conseguem delimitar um bloco unitário; ii) em alternativa a massa rochosa não possui uma fracturação que possibilite o aparecimento dos blocos. Dos três parâmetros referidos a orientação e o espaçamento são, por isso, os mais fáceis de quantificar.

A importância sobre a determinação do bloco unitário, pelas classificações de maciços rochosos, é significativa. O mesmo acontece na abertura de túneis e no desmonte de rocha, onde no primeiro, este parâmetro geomecânico, determina em parte onde esta abertura poderá ocorrer ou não. No que diz respeito ao desmonte de rocha torna-se necessário o conhecimento do bloco unitário, uma vez, que com este parâmetro poderá contribuir para que o diagrama de fogo seja otimizado (Galiza et al., 2011).

O tamanho dos blocos que formam o maciço rochoso condiciona de forma definitiva o seu comportamento, suas propriedades geoestruturais e geomecânicas. A dimensão e forma dos blocos estão definidas pelo número de famílias de descontinuidades, a sua orientação, o seu espaçamento e continuidade. Assim, a forma do bloco unitário é determinada a partir da orientação das descontinuidades e do número de famílias; enquanto que a dimensão do bloco é determinada pelo seu espaçamento, continuidade e número de famílias das descontinuidades (ISRM, 1978; Gonzalez de Vallejo & Ferrer, 2011).

A descrição do tamanho do bloco pode-se realizar das seguintes formas (ISRM, 1978, 1981):

- Mediante o índice dimensional do tamanho dos blocos – L_b (“Block Size Index”), que representa as dimensões médias dos blocos tipo medidos nos afloramentos. Este índice, perde significado para mais de quatro famílias de descontinuidades, sendo, assim, dado pela média dos comprimentos dos três lados do sólido em questão. Por exemplo, no caso de uma rocha sedimentar (*e.g.*, arenito) com planos de estratificação perpendiculares entre si, o índice L_b , seria definido por:

$$L_b = (e_{n1} + e_{n2} + e_{n3}) / 3$$

em que, e_n ($n=1, 2, 3$) os valores médios para o espaçamento de cada uma das famílias de descontinuidades e n o número de famílias. Na prática, este índice é pouco utilizado visto ser de difícil determinação e bastante complexo.

- Mediante o parâmetro J_v (quadro 2), que representa o número total de descontinuidades que intersectam uma unidade de volume ($1m^3$) de maciço rochoso. Perante a dificuldade de observar tridimensionalmente um afloramento, o valor de J_v , só se pode determinar mediante a contagem de descontinuidades de cada família que intersecta um dado comprimento, medido perpendicularmente à direção de cada uma das famílias:

$$J_v = 1/e_1 + 1/e_2 + 1/e_3$$

em que e_1 , e_2 , e_3 representam o espaçamento médio de cada família de descontinuidades. A distância a medir dependerá do espaçamento de cada família, variando normalmente entre 5 e 10 metros.

Quadro 2. Classificação do tamanho dos blocos de material-rocha com base no índice volumétrico (J_v).

J_v	Tamanho dos blocos
<1	Blocos muito grandes
1 – 3	Blocos grandes
3 – 10	Blocos médios
10 – 30	Blocos pequenos
30 – 60	Blocos muito pequenos
>60	Rocha esmagada

Na prática, qualquer um destes índices é pouco utilizado privilegiando-se sempre o parâmetro espaçamento entre descontinuidades que em certa medida, constitui o elemento de base de ambos os critérios propostos. Para a descrição dos maciços recorre-se ainda ao seu aspeto macroscópico e qualitativo. Também para este caso a ISRM (1978) definiu seis tipos de maciço rochoso (compacto, em blocos, tabular, colunar, irregular e esmagado) que são apresentados no quadro 3.

Quadro 3. Classificação de maciços rochosos em função do tamanho e forma dos blocos.

Classe	Tipo de maciço	Tamanho e características dos blocos
I	1 – Compacto	Poucas descontinuidades ou espaçamento muito largo
II	2 – Em blocos	Blocos aproximadamente equidistantes
III	3 – Tabular	Blocos com uma dimensão (normalmente segundo a horizontal) consideravelmente menor que as outras duas
IV	4 – Colunar	Blocos com uma dimensão (normalmente segundo a vertical) consideravelmente maior que as outras duas
V	5 – Irregular	Grandes variações no tamanho e forma dos blocos
VI	6 - Esmagado	Blocos com dimensões bastante pequenas (<i>“heavily pointed to sugar cube”</i>)

3.3.3. Características e parâmetros elementares para a classificação de maciços rochosos

A “Basic Geotechnical Description of Rock Masses” [BGD] (ISRM, 1978, 1981) apareceu com a necessidade de colmatar os seguintes aspetos:

- Criar uma normalização, ao nível da terminologia e das recomendações, que permitissem ao Geotécnico (seja, Geólogo de Engenharia, Engenheiro Geotécnico, Engenheiro Geólogo, Engenheiro Civil (ramo Geotecnia), Engenharia de Minas, etc.) transmitir uma caracterização geral de um dado maciço rochoso de modo a serem inteligíveis pelo espectro alargado das formações técnico-científicas supracitadas;
- Conter a maior quantidade possível de informação de interesse, para a descoberta de novas soluções, relacionadas com os problemas de engenharia de maciços rochosos;
- Sempre que possível utilizar, descrições simples e padronizadas, em vez, de observações solitárias e personalizadas.

A *International Society for Rock Mechanics* [Sociedade Internacional de Mecânicas das Rochas] (ISRM, 1978, 1981) recomenda que no estudo das discontinuidades se deve atender, principalmente, à determinação das suas principais características tais como a atitude, o espaçamento, a rugosidade, a abertura e o enchimento. A figura 5 apresenta o equipamento de campo básico para estudos de compartimentação de maciços rochosos recorrendo à técnica de amostragem linear aplicada a estudos geotécnicos e geomecânicos.

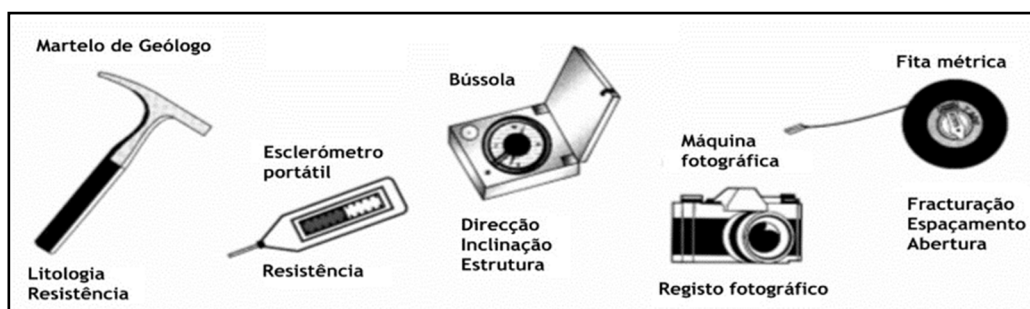


Figura 5. Equipamento de campo básico para o levantamento pela técnica de amostragem linear aplicada a estudos geotécnicos e geomecânicos (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

Seguidamente irá ser feita uma descrição de todos os parâmetros anteriormente referidos:

Atitude geológica

A orientação espacial de uma descontinuidade, considerando que se trata de uma superfície que pode ser aproximada a um plano, é definida em geral, por dois parâmetros, a direção (definida como a amplitude angular entre uma linha de pendente máxima pertencente ao plano de descontinuidade e o Norte magnético) e a inclinação (definida como a amplitude angular entre a mesma pendente e a horizontal). A medição da orientação das descontinuidades é feita com uma bússola (munida de um clinómetro).

Ao analisar a distribuição das descontinuidades num maciço rochoso verifica-se que de um modo geral elas apresentam uma certa regularidade, podendo, no entanto, existir vários conjuntos com orientações distintas. Assim podemos agrupar as descontinuidades com orientações idênticas em famílias.

Estado de alteração

A alteração de uma rocha consiste na sua desagregação e decomposição levadas a cabo por agentes físicos e químicos naturais, que transformam essa rocha noutro produto natural, agora em equilíbrio físico-químico com o meio ambiente onde se encontra.

A determinação do estado de alteração de um maciço rochoso ou do material-rocha é também um fator importante a considerar. Este aspeto pode ser determinado de uma maneira quantitativa, recorrendo à medição de parâmetros como a resistência da rocha, a velocidade de propagação de ultra-sons (*e.g.*, ensaios geofísicos de refração sísmica) ou outros. A ISRM (1978, 1981) propôs que os graus de alteração a considerar fossem constituídos por 5 termos; no entanto, considera-se, frequentemente, a utilização de uma versão simplificada com 3 termos (quadro 4).

Na versão simplificada, as três classes poderão ter as seguintes designações (ISRM, 1981):

W₁₋₂ – rocha sã a pouco alterada

W₃ – rocha medianamente alterada

W₄₋₅ – rocha muito alterada a decomposta

Quadro 4. Graus de alteração propostos pela ISRM (1981) e GSE (1995).

Símbolos	Designações	Características
W ₁	Sã ou não alterada	Não se observam sinais de alteração na matriz rochosa.
W ₂	Ligeiramente alterada	Mudanças na cor original da matriz rochosa (descoloração).
W ₃	Moderadamente alterada	Menos de metade do material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo, mantendo-se a petrofábrica original
W ₄	Muito alterada	Mais de metade do material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo. A rocha é muito friável.
W ₅	Decomposto (saibro)	Todo o material está decomposto e/ou desagregado num solo residual.

Espaçamento

O espaçamento entre descontinuidades define-se como a distância entre dois planos de descontinuidade de uma mesma família, medida perpendicularmente aos respetivos planos. A medição deste parâmetro é realizada com o auxílio de uma fita métrica e deve ser feita ao longo de uma distância, que seja suficientemente representativa da frequência de descontinuidades.

A ISRM (1978, 1981) propõe que seja utilizada uma terminologia para caracterizar os maciços em função do espaçamento das descontinuidades (quadro 5).

Quadro 5. Classificação do espaçamento entre descontinuidades, segundo a ISRM (1978, 1981).

Intervalos (cm)	Simbologia		Designações	
>200	F ₁	F ₁₋₂	Muito Afastadas	Afastadas
60 – 200	F ₂		Afastadas	
20 – 60	F ₃	F ₃	Medianamente Afastadas	Medianamente Afastadas
6 – 20	F ₄	F ₄₋₅	Próximas	Próximas
<6	F ₅		Muito Próximas	

O espaçamento entre descontinuidades possui um papel muito importante na permeabilidade do maciço rochoso. Em geral, pode-se afirmar que a condutividade hidráulica correspondente a uma determinada família de descontinuidades é inversamente proporcional ao espaçamento.

O espaçamento entre planos de descontinuidades condiciona também o tamanho dos blocos de matriz rochosa, definindo assim, o comportamento mecânico do maciço rochoso.

Continuidade ou persistência

A continuidade ou persistência de um plano de descontinuidades expressa-se pelo seu comprimento, medida o seu traço no plano de observação. É um parâmetro de grande importância (quadro 6), mas de difícil quantificação a partir da observação do afloramento, onde se conseguem visualizar os traços dos planos de descontinuidade segundo uma inclinação aparente. A medição da continuidade realiza-se mediante a utilização de uma fita graduada. É importante destacar as famílias mais contínuas, uma vez que geralmente, serão estas que condicionam os planos de rotura do maciço rochoso.

Quadro 6. Descrição da continuidade (ISRM, 1981).

Continuidade	Distância
Muito pouco contínuas	<1 m
Baixa continuidade	1 – 3 m
Continuidade média	3 – 10 m
Continuidade alta	10 – 20 m
Continuidade muito alta	>20 m

Abertura

A abertura de uma descontinuidade consiste na distância média entre duas paredes da descontinuidade, medida segundo a normal a essas superfícies. A abertura das descontinuidades varia muito em função das diferentes zonas dos maciços rochosos, uma vez que à superfície esta pode ser elevada, mas em profundidade pode reduzir-se a poucas décimas de milímetro ou até mesmo encontrarem-se fechadas. É uma das características com grande influência na deformabilidade, resistência ao corte e permeabilidade dos maciços rochosos.

A ISRM (1978, 1981) propôs que em termos de abertura de descontinuidades, os maciços sejam descritos como se apresenta no quadro 7, sendo cada família estudada por si e caracterizada pela média de aberturas após tratamento estatístico.

Quadro 7. Abertura de descontinuidades (ISRM, 1978, 1981).

Abertura (mm)	Descrição	
<0,1	Muito fechadas	Fechadas
0,1 – 0,25	Fechadas	
0,25 – 0,5	Parcialmente abertas	
0,5 – 2,5	Abertas	Entreabertas
2,5 – 10	Medianamente largas	
>10	Largas	
10 – 100	Muito largas	Abertas
100 – 1000	Extremamente largas	
>1000	Cavernosas	

Enchimento

Este parâmetro relaciona-se com a abertura. O enchimento (ou preenchimento) de uma descontinuidade pode definir-se como o tipo de material existente entre as paredes de uma descontinuidade. A presença de enchimento governa o comportamento físico das descontinuidades, por esta razão devem ser registados todos os aspetos que possam ser relevantes para a compreensão do desempenho destes materiais na mecânica estrutural dos sistemas de descontinuidades.

Rugosidade

A superfície que constitui as paredes das descontinuidades apresenta-se, em regra, irregular a várias escalas. A rugosidade aumenta a resistência ao corte, que decresce com o aumento da abertura das descontinuidades e, em geral, com a espessura de preenchimento. Pode também ser um indicador da movimentação dos planos de descontinuidades.

A rugosidade pode ser obtida em campo através de diversos métodos, dependendo da exatidão pretendida. O método mais expedito e rápido é a comparação visual da descontinuidade com perfis padrão de rugosidade (ISRM, 1978, 1981), que caracterizam qualitativamente as paredes das descontinuidades em: denteadas, onduladas e planas.

3.3.4. Técnica de amostragem linear aplicada a superfícies de descontinuidades

Descreve-se, seguidamente, de uma forma sucinta a técnica de amostragem linear (designada pelos autores anglo-saxónicos por “Scanline Sampling Technique”) de superfícies de descontinuidades ocorrentes numa face exposta de rocha (figura 6). Em Portugal foi aplicada, por exemplo, mas num contexto geológico e do tipo de obra bem distinto deste trabalho, por Lamas (1989), Dinis da Gama et al. (1992), Chaminé & Gaspar (1995) e Espinha et al. (2004). Com esta técnica não se pretende efetuar o levantamento exaustivo de todas as descontinuidades ocorrentes numa dada face exposta de rocha, mas sim obter dados a partir dos quais se poderão extrapolar as características de compartimentação da zona em estudo (Bell, 1992; Dinis da Gama, 1995; Chaminé et al., 2013; Mahé et al., 2015; Chaminé, 2016). Será também objeto de estudo, a metodologia de tratamento dos resultados obtidos no terreno, com vista à definição de famílias de descontinuidades e sua descrição estatística.

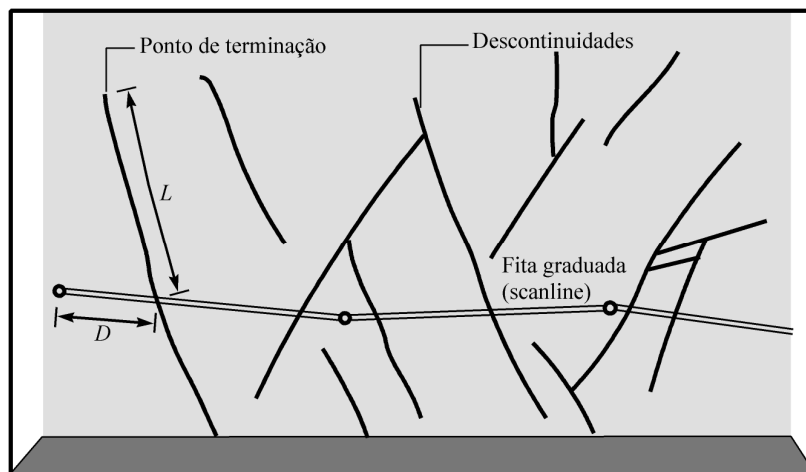


Figura 6. Esquema do dispositivo para levantamento de descontinuidades pela técnica de amostragem linear (adaptado de Brady & Brown, 2004). D – distância à origem da fita; L – semi-comprimento exposto.

A técnica de amostragem linear consiste, basicamente, na colocação de uma fita graduada em faces expostas do maciço rochoso e no registo de algumas características (geométricas e mecânicas) de todas as descontinuidades por ela intersectadas. Para cada descontinuidade que a linha de amostragem intersecte registam-se as seguintes grandezas:

- Distância à origem da fita graduada
- Semi-comprimento exposto, ou seja, o comprimento visível da intersecção da descontinuidade com a face exposta da rocha, apenas para um dos lados da fita graduada

-
- Tipo de terminação que apresenta a extremidade da descontinuidade (R – na rocha; D – noutra descontinuidade; O – obscura)
 - Atitude da descontinuidade (direção e inclinação) medida junto ao ponto de intersecção da linha de amostragem com a descontinuidade
 - Curvatura (C), numa escala de 1 a 5, em que 1 representa superfícies planas e 5 superfícies muito curvas
 - Rugosidade (R), numa escala de 1 a 5, representando 1 uma superfície lisa e 5 uma superfície muito rugosa.

Além destas grandezas podem ser ainda eventualmente registadas outras características das descontinuidades, tais como abertura, tipo de preenchimento, presença de água e qualquer outra característica que se entenda relevante. Todos os dados obtidos no trabalho de campo são registados numa ficha de levantamento (figura 7) de descontinuidades da qual constam para além das grandezas já mencionadas as seguintes:

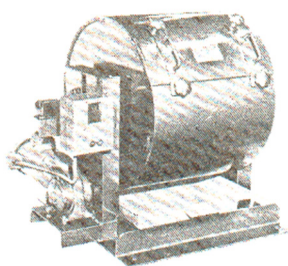
- Número da linha de amostragem
- Localização da linha de amostragem
- Atitude da linha de amostragem
- Direção do hasteal estudado
- Litologia(s)
- Data do levantamento
- Rubrica do responsável pelo levantamento.

3.4. Caracterização geomecânica

3.4.1. Ensaio de “Los Angeles”

O Índice de desgaste é um valor que está relacionado com a resistência à abrasão por meios mecânicos e também com a capacidade resistente dos agregados. Possui a sua principal importância na determinação das características dos agregados que irão ser utilizados em misturas betuminosas. A norma NP EN1907-2 (2002) estabelece o procedimento para determinar a resistência ao desgaste dos agregados de densidades normais.

O método consiste em analisar granulometricamente um agregado grosseiro, isto é, preparar uma amostra de agregado britado, 5000g, passadas na fração 10/14 mm de modo a obter uma porção que será submetida ao ensaio de abrasão na máquina de *Los Angeles* (figura 8) e expressar a perda de material ou desgaste, como a percentagem de massa perdida durante o ensaio em relação à de massa da amostra inicial.



Máquina de Los Angeles

Figura 8. Exemplos de máquina de *Los Angeles*.

Equipamento necessário para o ensaio:

- a. Máquina de *Los Angeles*: Tambor com cerca de 710 ± 6 mm de diâmetro interior e 510 ± 6 mm de comprimento montado horizontalmente sobre umas hastes verticais, onde uma das quais deve possuir um dispositivo que permita a acoplamento de um motor que promoverá a rotação da máquina. No corpo cilíndrico existe uma abertura para introduzir a amostra, que posteriormente será selado com uma tampa provida de dispositivos que permitam fixá-la firmemente com vista a garantir a estanquicidade do conjunto. A rotação do corpo cilíndrico deve compreender uma velocidade tal que lhe permita uma frequência compreendida entre 31 e 33 rotações por minuto.

-
- b. Balança: Com uma capacidade superior a 10 ± 1 kg e uma precisão igual ou maior a 0.1% da massa pesada.
 - c. Peneiros: De chapa perfurada e de malha quadrada, com as aberturas de 14 mm e 10 mm.
 - d. Estufa: Que permita a secagem da amostra a uma temperatura constante de 110 ± 5 °C.
 - e. Esferas de aço: Carga abrasiva constituída por 11 esferas de aço, cada uma com um diâmetro compreendido entre 45mm e 49mm e uma massa compreendida entre 440 g e 445 g; a massa total da carga abrasiva deve estar compreendida entre 4690 g e 4860 g.

Procedimento

O ensaio deve ser efetuado sobre o agregado passado no peneiro de 14 mm e retido no de 10 mm. Peneirar a amostra laboratorial nos peneiros de 10 mm, 12.5 ou 11.2 mm e 14 mm para obter frações separadas nos intervalos 10 mm a 12.5 ou 11.2 mm (cerca de 2000 g) e 12.5 ou 11.2 mm a 14 mm (cerca de 3000).

Lavar separadamente cada fração e secá-las na estufa a uma temperatura de 110 ± 5 °C até massa constante. Uma vez que o teor de humidade se mantenha constante, deixar arrefecer a amostra até à temperatura ambiente. Misturar as duas frações para obter um a amostra laboratorial modificada de 10 a 14 mm, conforme as proporções dadas em cima. Se necessário reduzir a amostra laboratorial modificada proveniente da mistura, de modo a que a massa da amostra para ensaio seja igual a 5000 ± 5 g.

Execução do ensaio

1. Colocar, com precaução, a carga abrasiva na máquina, depois de introduzir a amostra. Colocar a tampa na abertura e fazer a máquina rodar 500 voltas, a uma velocidade constante de 31 r.p.m. a 33 r.p.m.
2. Posteriormente, descarregar os materiais para um tabuleiro colocado debaixo do aparelho, e retirar as esferas.
3. Peneirar a amostra no peneiro de 1.6 mm, desprezando todo o material que passa através deste.

Análise de resultados

Seja m_i a massa da amostra, expressa em gramas, e m_f a massa do material retido no peneiro de 1.6 mm, também expressa em gramas, então a percentagem de perda por desgaste (LA) na máquina de *Los Angeles* será:

$$LA = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100\%$$

A percentagem de perda por desgaste (LA) apresenta-se arredondado ao número inteiro mais próximo.

3.4.2. Ensaio esclerométrico

No que diz respeito à resistência, embora as características de deformabilidade do maciço rochoso sejam essencialmente dependentes das descontinuidades, é de grande utilidade o seu conhecimento da material-rocha, especialmente quando se trata de maciços de fraca qualidade geomecânica.

A determinação da resistência à compressão uniaxial é determinada, em geral, a partir de ensaios de laboratório ou de campo (e.g., Katza et al., 2000; Kahraman, 2001; Kahraman et al., 2002; ISRM, 2015). A determinação do índice de resistência à carga pontual, recorrendo à determinação da dureza com o esclerómetro portátil ou *martelo de Schmidt* (Schmidt, 1951), pode conduzir à estimativa do valor da resistência uniaxial. Porém, outros autores descobriram uma série de aplicações específicas para este equipamento. Entre estas aplicações estão incluídas a avaliação de descontinuidades das rochas (Hucka, 1965), a avaliação e o controlo dos tetos de minas (ISRM, 1987), o desempenho e rendimentos de tuneladoras TBM (*Tunnel Boring Machine*) (Kolaiti & Papadopoulos, 1993) e a resistência das paredes de descontinuidades (Hart & Wang, 1995). Algumas destas investigações, ilustram o facto da necessidade de desenvolver correlações seguras entre os ensaios “in situ” e os ensaios laboratoriais, onde ambos utilizam o *martelo de Schmidt*, com vista a permitir que os investigadores possam prever os valores da resistência de rochas com base em resultados laboratoriais.

O *martelo de Schmidt* foi desenvolvido em 1948 como ensaio de natureza não destrutiva de dureza do betão (Schmidt, 1951), e foi usado, mais tarde, para calcular a resistência das rochas (Cargill & Shakoor, 1990). O *martelo de Schmidt* foi extensamente usado durante mais de 30 anos como um

índice de dureza das rochas. Foi mundialmente usado por causa de sua simplicidade, rapidez, não destrutibilidade e portabilidade.

O *martelo de Schmidt* é projetado para níveis diferentes de energia de impacto, mas os modelos, geralmente, adotados para a determinação das propriedades dos materiais rochosos são os modelos L e N. O tipo L, tem uma energia de impacto de 0.735Nm, sendo o martelo mais utilizado em estudos de maciços rochosos; enquanto que o martelo do tipo N é o mais utilizado em estudo de betões.

A determinação da resistência à compressão uniaxial, do maciço rochoso em estudo, foi realizada com o auxílio de um esclerómetro portátil ou *martelo de Schmidt* (figura 9), que consiste num aparelho que permite um ensaio de campo que avalia a dureza do material-rocha através da medição do ressalto de uma massa de aço quando percutida sobre a superfície da rocha. Esta superfície deverá ser fresca e limpa, sem nenhum sinal de alteração e nem de fissuras.



Figura 9. Exemplo de aplicação do *martelo de Schmidt*.

Na execução do ensaio, o aparelho deverá ser colocado o mais perpendicularmente possível à superfície estrutural a ser ensaiada. Em função da dureza (ou resistência) da rocha, a massa de aço sofre maior ou menor ressalto, seguidamente, o valor do ressalto é registado numa escala do aparelho (0 – 100).

A medição do ressalto correlaciona-se com a resistência do maciço, mediante o ábaco de Miller (figura 10), que tem em conta a densidade da rocha (que para o caso em estudo se trata de um granito com densidade média considerada 26kN/m^3) e a orientação do martelo em relação à superfície de rocha ensaiada.

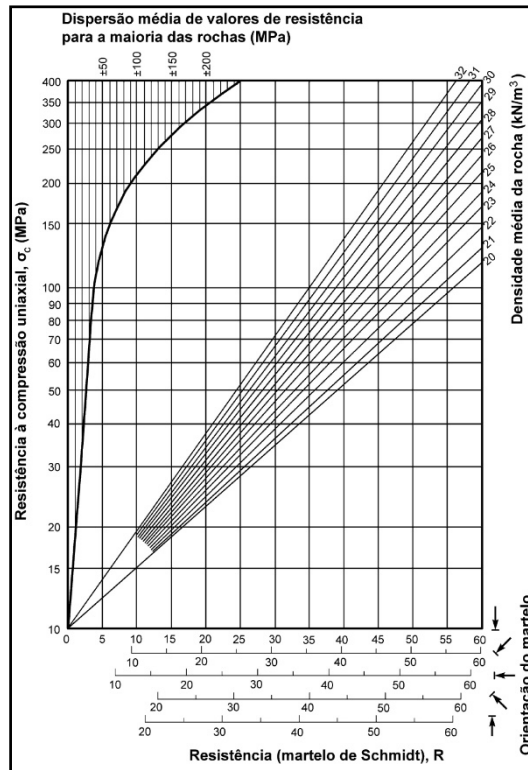


Figura 10. Ábaco de Miller para o cálculo da resistência a partir do *martelo Schmidt* (Gonzalez de Vallejo et al., 2002).

O valor estimado a partir do *martelo de Schmidt* deve ser obtido estatisticamente, de tal maneira que seja um valor representativo da resistência em causa. Assim, o ISRM (1981) recomenda a realização de 10 medições em cada superfície ensaiada, tomando como valor representativo a média dos 5 valores mais elevados. Com o valor médio obtido e conhecida a densidade média do material-rocha, recorrendo-se ao ábaco de Miller consegue-se obter o valor da resistência à compressão uniaxial, σ_c , para o material ensaiado (quadro 8).

Quadro 8. Resistência à compressão simples segundo a ISRM (1978, 1981).

Simbologia	Resistência à Compressão Simples (σ_c , MPa)	Designação	
		S_1	> 200
S_2	60 a 200	Elevada	
S_3	20 a 60	Média	
S_4	6 a 20	Baixa	S_{4-5} Baixa
S_5	< 6	Muito baixa	

4. Pedreira de Monteiras: caracterização geológica, geotécnica e geomecânica

(página propositadamente em branco)

4. Pedreira de Monteiras: caracterização geológica, geotécnica e geomecânica

4.1. Generalidades

O presente estudo destina-se à caracterização dos principais constrangimentos geológicos, geotécnicos e geomecânicos da Pedreira nº 5750 de Monteiras, situada no lugar de Coira D'Além, freguesia de Monteiras, concelho de Castro Daire, distrito de Viseu. A pedreira referida pertence à empresa FRANCISCO PEREIRA MARINHO & IRMÃOS, S.A. – CONSTRUÇÃO (FPM), com sede no lugar do Relógio do Sol, concelho de Lamego. O grupo FPM é uma empresa de referência na área da Construção Civil e Obras Públicas na região Norte, empregando mais de 100 trabalhadores ativos e tendo sido considerada, em 2004, a melhor PME pela revista EXAME-EMPRESA.

A pedreira de Monteiras possui uma área aproximada de 17 hectares, encontrando-se presentemente em atividade, estando toda a sua produção de agregados destinada à construção civil e obras públicas. Todo este empreendimento dispõe de um vasto conjunto de infraestruturas que apoiam toda a atividade extrativa, entre os quais: Escritório; Sanitários / balneários; Posto de primeiros socorros; Laboratório de ensaios; Postos de transformação de eletricidade; Depósito de combustível fixo; Oficina; Instalação de britagem e tratamento de agregados

Quanto ao emprego direto, na pedreira de Monteiras, é atualmente de 15 postos de trabalho do quadro e 1 diretor técnico a tempo integral, contribuindo, deste modo, para o desenvolvimento e fixação da população na região. A laboração da pedreira efetua-se nos dias úteis entre as 8:00h e as 17:30h e no sábado decorrem as operações de manutenção. Os elementos do enquadramento regional e da situação de referência foram compilados do relatório do “Estudo de Impacto Ambiental da Pedreira nº 5750 – Monteiras” (E.I.A., 2004), bem como apoiado nos relatórios técnicos do signatário (F.P.M., 2004a,b; Moreira, 2005) e outros dados à estampa (e.g., Martins et al., 2006; Batista, 2016).

4.2. Enquadramento geográfico

A Pedreira de Monteiras fica situada na região natural da Beira Alta, Distrito de Viseu, concelho de Castro Daire. É limitado a Norte pelos concelhos de Tarouca, Lamego, Resende e Cinfães, a Sul pelo concelho de Viseu, a poente pelos concelhos de S. Pedro do Sul e Arouca e a nascente por Vila Nova de Paiva (figura 11).



Figura 11. Mapa do distrito de Viseu (segundo E.I.A., 2004).

A pedra localiza-se a cerca de 9 km do centro da Vila de Castro Daire, em terrenos de fraco valor agrícola, essencialmente formados por vegetação arbórea rasteira. A área total do concelho é de 383.2 km², tendo cerca de 16.990 habitantes distribuídos por 22 freguesias. A localização estratégica do concelho permitiu um certo desenvolvimento da rede viária, esta potencialidade contribuiu para a localização de algumas das principais vias nacionais, como a Estrada Nacional nº 2 (E.N. 2: Viseu – Peso da Régua) e a Auto-Estrada N^o24.

O concelho de Castro Daire ocupa, do ponto de vista geomorfológico, uma vasta superfície essencialmente planáltica, com orientação média NW-SE, onde a serra do Barroso, a Noroeste de Castro Daire, apresenta 1383 m de altitude (figura 12).

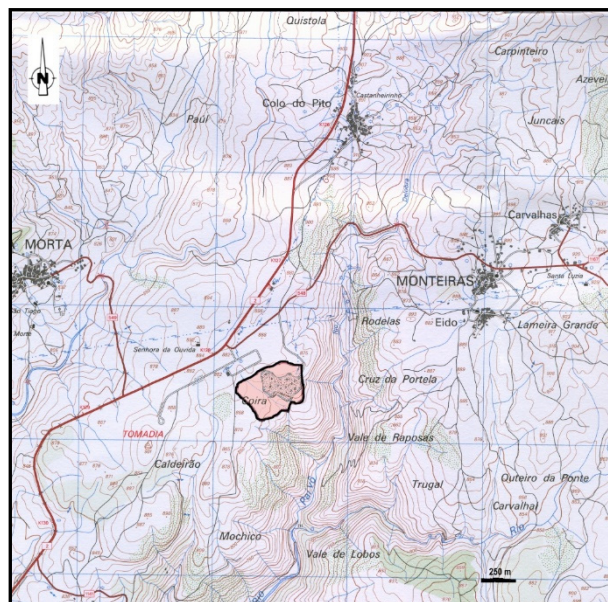


Figura 12. Localização da pedra nº 5750 de Monteiras, lugar da Coira D'Além (adaptado da Carta Militar de Portugal do Serviço Cartográfico do Exército, Folha nº 147 - Tarouca, 1/25.000).

A atividade extrativa desenvolve-se sobre uma encosta de declive moderado, com orientação predominante de NE, entre as cotas 830 e 880 m (figura 13). A zona extrativa situa-se junto ao rio Paivô, afluente do rio Paiva, pertencentes à bacia hidrográfica do rio Douro. A área em exploração encontra-se praticamente desprovida de vegetação, notando-se a presença de pequenos maciços arbóreos e arbustivos, ainda jovens, em zonas de exploração entretanto abandonadas.

A temperatura média na zona da pedreira de Monteiras é de 10º - 12.5ºC (chegando mesmo a temperaturas extremas de 45ºC a -15ºC). A precipitação total anual nesta região varia entre 1000 e 1600 mm e ocorre durante 75 e 100 dias por ano. A humidade relativa do ar situa-se, aproximadamente, entre os 75% a 80%.



Figura 13. Panorâmica da pedreira nº 5750 de Monteiras, vista de Sul.

4.3. Metodologias

Neste trabalho tentou-se, na medida do possível, seguir em termos de procedimentos, normas e terminologia a ter em linha de conta em qualquer obra de Engenharia Civil e em estudos de prospeção geológico-geotécnica, a saber:

- “Eurocódigo 7 – Projeto geotécnico” (Matos Fernandes, 2000);
- “Basic Geotechnical Description of Rock Masses”, referenciada simplesmente por BGD, proposta pela “International Society for Rock Mechanics” ISRM (1981), para a caracterização geológico-geotécnica (ISRM, 1978, 1981).
- Técnicas e métodos de campo propostos por Ferrer & Gonzalez de Vallejo (2007) e Hoek (2007).

Na impossibilidade, do ponto de vista prático, de estudar exaustivamente a compartimentação do maciço rochoso na totalidade da área envolvente da pedreira de Monteiras, optou-se por realizar esse estudo a partir de uma amostragem expressiva que fosse representativa de todo o maciço. Dado que a amostragem, do ponto de vista cartográfico, deve ser realizada, de preferência, sobre as superfícies expostas de taludes com características lineares (i.e., dispostos segundo direções definidas por vias de comunicação, ferroviária ou rodoviária), adotou-se a técnica da amostragem linear.

A técnica de amostragem linear consiste, basicamente, na colocação de uma fita graduada em faces expostas do maciço e no registo de algumas características (geométricas e mecânicas) de todas as descontinuidades por ela intersectadas. Uma descrição metodológica da técnica encontra-se, por exemplo, em Brady & Brown (2004), Chaminé & Gaspar (1995), Dinis da Gama (1995), Chaminé et al. (2015), Chaminé (2016). Na sua aplicação à área do maciço granítico da pedreira de Monteiras optou-se pela colocação de uma fita graduada (em metros) nos taludes a serem levantados a, aproximadamente, 1.50m do solo. Para cada talude (ou painel) analisado, depois de colocada a fita graduada a partir da origem de cada linha de amostragem, foram cartografadas de uma forma sistemática todas as descontinuidades (diaclasses, falhas e, mais raramente, estruturas filonianas) que intersectavam essa linha de amostragem. Cada uma das descontinuidades foi descrita e registada nas fichas de levantamento segundo a classificação geotécnica da BGD (“Basic Geotechnical Description of Rock Masses”) proposta pela ISRM (1981). Os parâmetros geológico-geotécnicos determinados para a caracterização das descontinuidades do maciço foram, essencialmente, os seguintes: a atitude, o espaçamento, a continuidade ou persistência, o preenchimento e a rugosidade. Procedeu-se, também, a uma inventariação e caracterização preliminar das condições hidrogeológicas do maciço.

Os dados recolhidos no terreno, referentes à técnica de amostragem linear aplicada à BGD, foram submetidos a um tratamento adequado para posterior interpretação e análise, permitindo a definição de diversas famílias de descontinuidades. O estabelecimento das diferentes famílias para os taludes cartografados foi conseguido através da elaboração de diagramas estruturais — diagramas de contorno estrutural e diagramas de rosetas, tendo-se utilizado para o efeito o programa geoinformático “StereoNet for Windows” (Geological Software®). Na digitalização da informação geológico-geotécnica recorreu-se ao programa informático *OCAD for Cartography*.

4.4. Enquadramento regional

A exploração processa-se em 6 degraus, com uma altura média de 9m, por razões de segurança, bem como por uma boa gestão técnica. As plataformas de trabalho nas bancadas tenderão a manter uma largura mínima de 35m, exceto nos momentos de abertura e fecho da própria bancada.

A situação geológica da região onde se localiza a pedreira de Monteiras encontra-se descrita na “Carta Geológica de Portugal”, à escala 1:50.000, folha 14–A, de Lamego (Teixeira et al., 1969).

Geomorfologia regional

O local da pedreira de Monteiras situa-se, do ponto de vista geomorfológico, no maciço granítico de Monteiras, segundo uma direção geral NE-SW. Este maciço apresenta, *grosso modo*, uma forma elipsoidal, alongada e constitui um importante relevo de resistência na região. O bordo leste constituirá uma importante escarpa de falha regional, com orientação média N10°E; aliás bem patente na geometria alongada do corpo granítico, na deformação do material granítico junto a esse bordo e, sobretudo, no lineamento tectónico regional materializado pelo Rio Paivô.

Os traços morfoestruturais da região podem ser descritos como uma área essencialmente montanhosa e acidentada, com relevos vigorosos e vales encaixados (figura 14). Neste relatório apenas se irá dar importância aos aspetos que se relacionam diretamente com a região onde se insere a pedreira das Monteiras.

No que respeita ao relevo, domina na região de Castro Daire, a serra de Montemuro, cujo ponto mais alto atinge os 1382 m, onde se forma uma extensa ossatura rigidamente alinhada ao longo do rio Douro. A serra de Montemuro, observada de Castro Daire, tem um perfil característico, formado pelos topos graníticos, salientando-se o conjunto de cinco relevos mamilares a que a população da região designa por as “Têtas”. Daí o nome de Serra das Têtas porque é conhecida nesta área.

Integra-se ainda no conjunto de relevos do maciço de Montemuro, a serra de Bigorne (1210 m), situada mais a Ocidente, mas que liga com a primeira pelo patamar do v.g. Cruz de Rossão (1204 m), ao longo do qual circula a estrada E.N. 2 de Castro Daire, com amplas zonas aplanadas como a da Sra. da Ouvida (a cerca de 850 – 900 m).

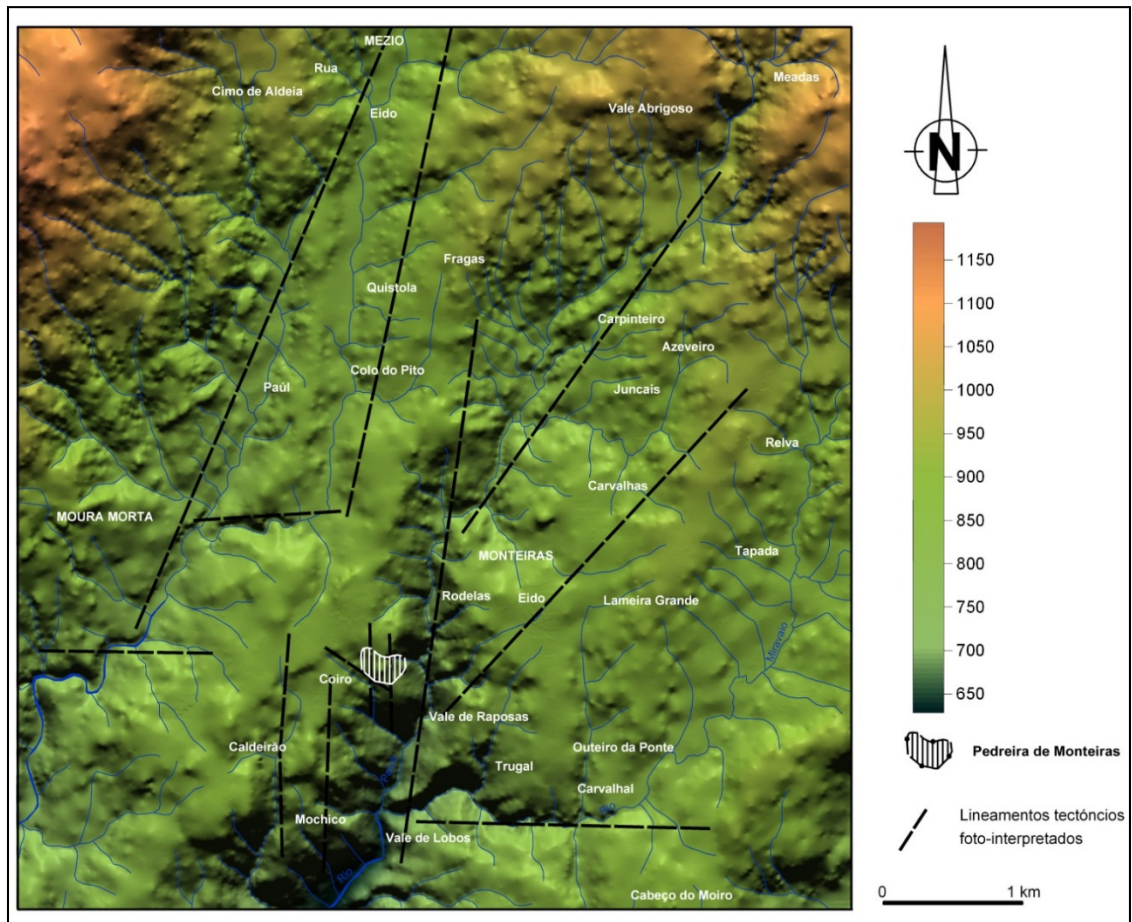


Figura 14. Fotointerpretação dos lineamentos tectónicos regionais e Modelo Digital de Terreno (MDT) construído a partir da vectorização das curvas de nível da carta Militar de Portugal (escala 1/25.000, folha 147), pelo método *krigagem* com uma resolução de 10m.

Geologia regional

O maciço granítico de Monteiras faz parte de uma faixa de granitóides relacionados com a orogenia Varisca, com orientação geral NW-SE, que se estende desde o Alto Minho até às Beiras (figura 15). Do ponto de vista geotectónico inserem-se na Zona Centro-Ibérica (ZCI) do Maciço Ibérico (Dias et al., 2000; Ribeiro et al., 2007).

Do ponto de vista geológico, o lugar de Monteiras, local onde se insere a exploração que é objeto deste estudo geológico, caracteriza-se por possuir duas unidades geológicas, nomeadamente (figura 16):

- **Unidade geológica de cobertura: “terra vegetal” e solo granítico**

Esta unidade é composta por um horizonte orgânico, vulgarmente designado por “terra vegetal”, que recobre todo o maciço rochoso e onde se desenvolve toda a fauna e flora da região.

Na observação direta do terreno no local de exploração, é encontrado um solo muito pouco profundo. Em vários ensaios realizados aquando do estudo de impacte ambiental (E.I.A, 2004), revelou-se um solo com textura fina e com alguma matéria orgânica. Os teores de fósforo e potássio são baixos e a percentagem de magnésio é muito baixa, tratando-se, assim, de um solo ácido, com valor de pH a situar-se nos 5,2.

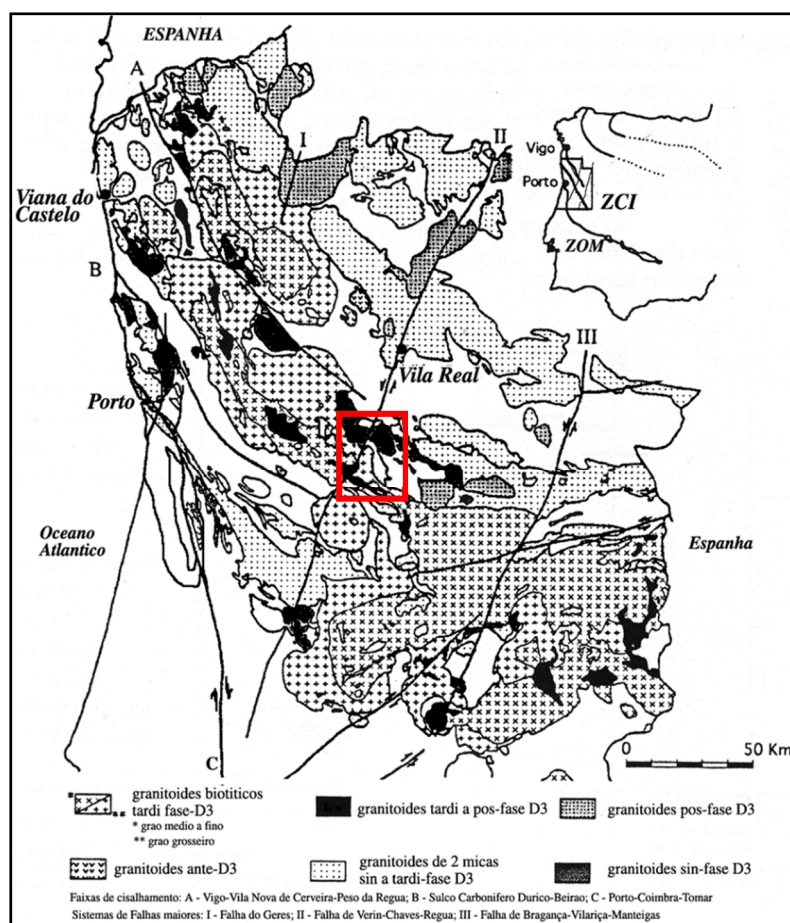


Figura 15. Enquadramento geotectónico regional dos granitos Variscos da Zona Centro-Ibérica, bem como a visualização das principais faixas de cisalhamento e sistemas de falhas regionais do NW de Portugal (adaptado de Dias et al., 2000).

- **Unidade geológica do substrato: granitóides e filões**

Esta unidade é formada por um substrato rochoso constituído por um complexo granítico e uma rede filoniana (Teixeira et al., 1969), onde se situa a presente exploração de agregados.

O material-rocha presente, localizado na mancha granítica de Cujó e Monteiras, são granitos monzoníticos porfiróides, de granularidade média a fina, de duas micas essencialmente biotíticos associados a estruturas de idade Varisca (Teixeira et al, 1969; Martins, 1997; Dias et al. 2000). Esta mancha granítica encontra-se delimitada, quer a Norte quer a Sul, por um granitóide fácies de grão grosseiro a médio.

Da análise da 'Carta Neotectónica de Portugal Continental' (Cabral & Ribeiro, 1988) verifica-se que o sector em estudo se enquadra próximo a sistemas de mega-descontinuidades tectónicas, com orientação geral NNE-SSW a NE-SW (Falha de Régua-Verin) e com orientação média NW-SE (Falha de Vila Nova de Cerveira-Régua-Lamego), com atividade neotectónica importante.

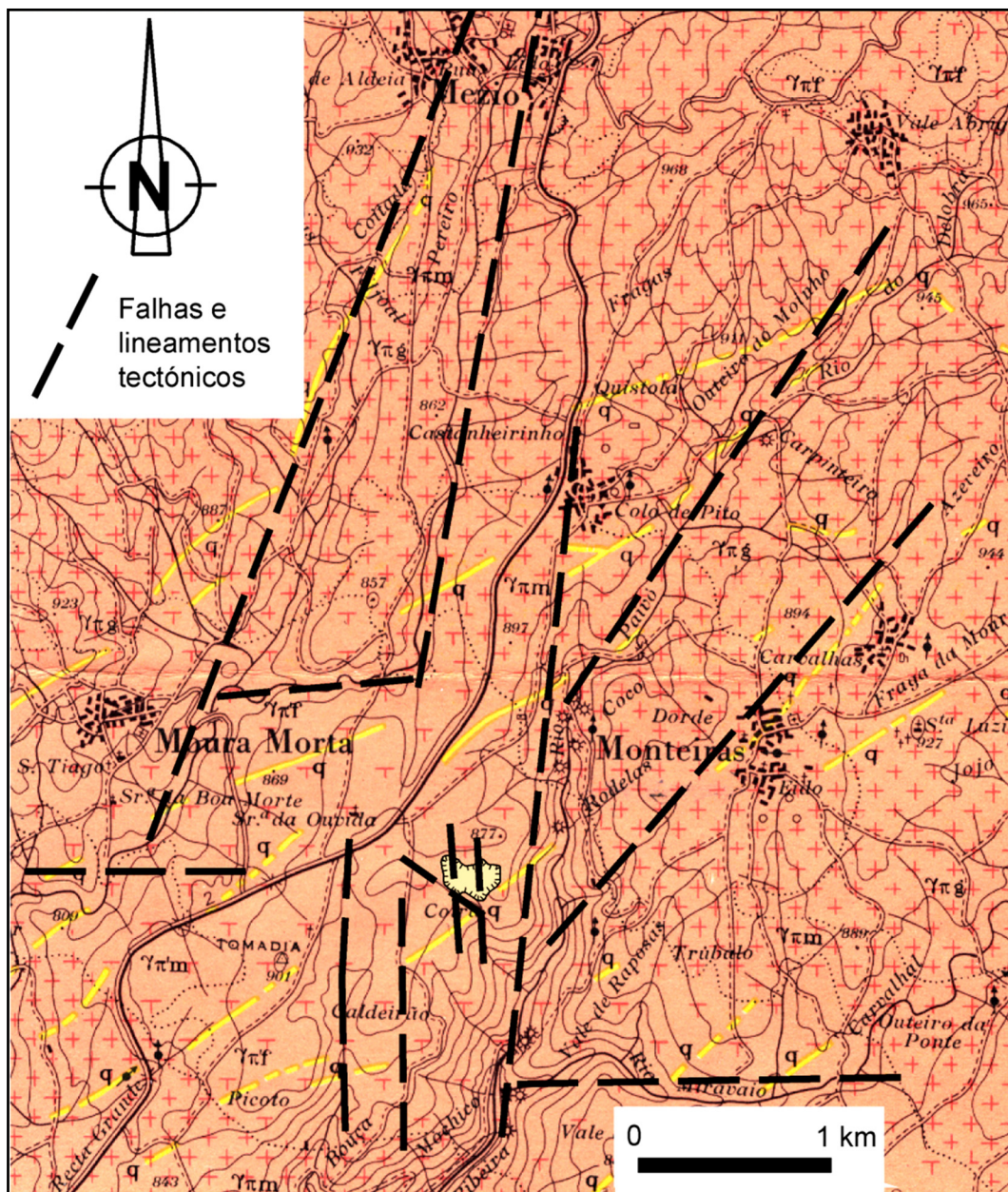


Figura 16. Enquadramento geológico estrutural da região de Monteiras (adaptado de Teixeira et al., 1969).

4.5. Geologia, Geotecnia e Geomecânica da Pedreira de Monteiras

4.5.1. Geologia local do maciço e área envolvente

A região em estudo integra um relevo granítico, com orientação geral NNE-SSW, constituindo um compartimento inter-falhas de alguns km² (figura 17). Este relevo encontra-se delimitado por estruturas tectónicas, com orientação N-S e NE-SW. Atingem-se os 901 metros de altitude no vértice geodésico (v.g.) Tomadia (a cerca de 750m a Sul da Sra. da Ouvida), embora o local da pedreira de Monteiras não ultrapasse os 875 m.

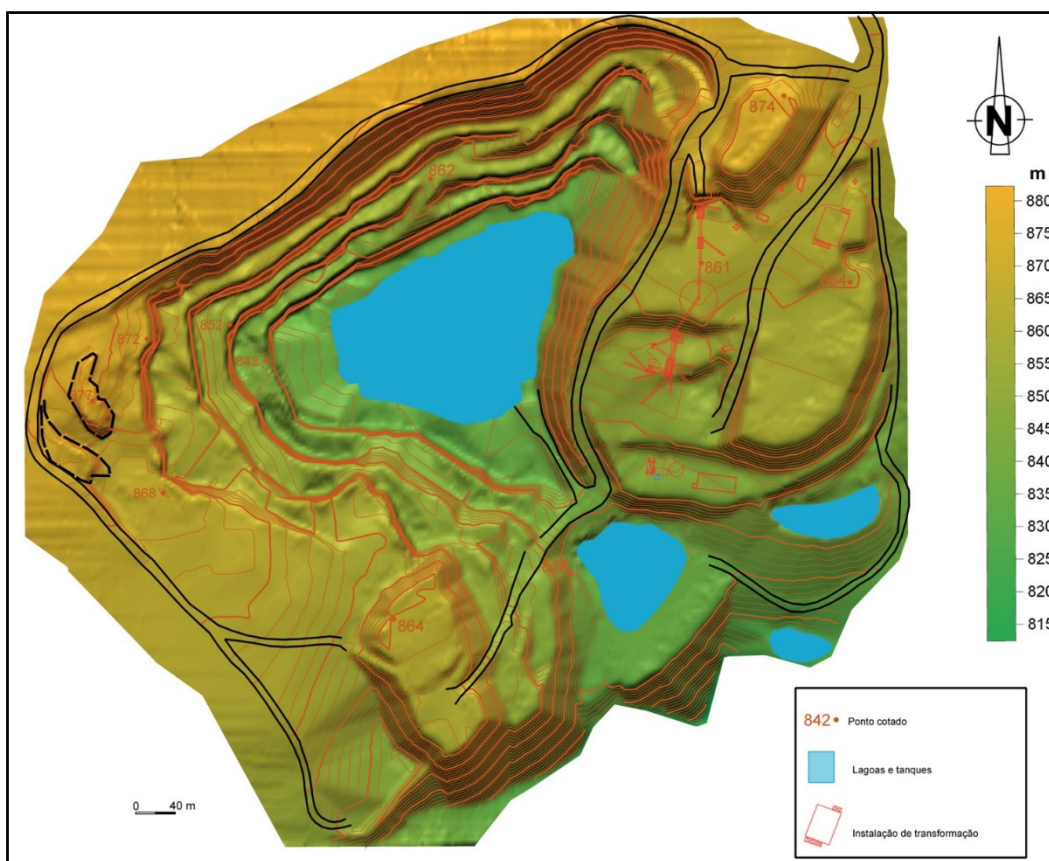


Figura 17. Modelo Digital de Terreno da Pedreira de Monteiras (base topográfica, ano 2003, cedida gentilmente por FPM; anexo 1).

A legislação vigente (*Dec.-Lei 235/83 de 1983; in RSAEEP, 2000*) delimita o território português em quatro zonas sísmicas distintas (que por ordem decrescente de sismicidade, i.e., de risco sísmico, são designadas por A, B, C, D) e define o tipo de construção a que se é obrigado em cada zona (RSAEEP, 2000; Sousa e Oliveira et al., 1999). O concelho de Castro Daire encontra-se incluído na

zona C, onde se admite não serem de reocar os efeitos dos sismos nas construções, muito embora, se tenham já verificado alguns epicentros nas proximidades da região (Cabral, 1995).

Na área ocupada pela pedreira é de salientar a ocorrência de duas fácies graníticas, uma composta por granito porfiróide de grão médio, essencialmente biotítico, que contacta tectonicamente com o granito acinzentado de grão fino. Em termos estruturais a fácies granítica biotítica encontra-se interdigitada na anterior e regista-se rocha muito esmagada no contacto entre as fácies sendo por isso considerado um contacto tectónico, i.e., por falha geológica. Este maciço pode ser considerado como compósito devido à diferenciação das várias fácies graníticas. De salientar que a segunda fácies rochosa referida possui uma expressão reduzida da área de exploração.

Foi efetuado um reconhecimento geológico preliminar de superfície, na parte Oeste da área da pedreira, com o objetivo de estimar a representatividade cartográfica das fácies graníticas em afloramento. Contudo, verificou-se que os terrenos adjacentes ao limite de exploração encontram-se em área queimada, na época em que o presente estudo foi elaborado, o que impossibilitou a inspeção visual e reconhecimento cartográfico pormenorizados do tipo de substrato rochoso. Além disso, na área foram reconhecidas em afloramento algumas estruturas filonianas de quartzo, com atitude geral N85°E/80°SE e uma possança variando em média entre 0.5 e 1 m; mas a maioria desses filões não se encontram “in situ”, mas formando blocos dispersos na área envolvente, o que possivelmente denunciará a presença destas estruturas filonianas em profundidade. Sendo, por isso, recomendável uma campanha de prospeção geológica-geotécnica pormenorizada desta área, envolvendo, entre outras, técnicas de cartografia e prospeção geológica e geotécnica (por exemplo, efetuar uma série de trincheiras, com uma orientação média N80°E ou para N15°W, perpendicular à orientação do filão).

Do ponto de vista geológico diferenciaram-se, no terreno, dois tipos de unidades geológicas locais, a saber:

- Granito porfiróide de grão médio a fino, de duas micas, com esparsos megacristais de feldspato; em alguns locais o granitóide encontra-se vulgarmente caulinizado e sericitizado, sendo esta a razão da descoloração do granito em muitas das zonas da pedreira (ver anexo 2). O granito apresenta, ainda, uma tonalidade esbranquiçada-acinzentada e observam-se encraves máficos, cuja dimensão e frequência não são muito elevadas. Este granitóide apresenta, em regra, frequentes impregnações de sulfuretos (pirite) conferindo às superfícies de descontinuidades um aspeto amarelado ferruginoso;

-
- Granito porfiróide médio, predominantemente biotítico, com uma tonalidade cinzento escuro, bem como raros filonetes de quartzo, pouco possantes e zonas de mais intensa feldspatização.

4.5.2. Cartografia geológica e geotécnica

Tendo em vista a melhor compreensão da rede de fracturação dominante na compartimentação do maciço rochoso da pedreira de Monteiras, elaborou-se esboços das cartografias geológico-estrutural e das zonas geotécnicas, em que se representa uma síntese, à escala 1/3.500, das principais fácies graníticas e estruturas visíveis na referida pedreira. A escala de trabalho para as cartografias referidas foi a de 1/1.000. Com efeito, na cartografia apresentada esboçam-se as principais unidades geológicas e geotécnicas locais (consultar figura 18 e anexos 2, 3).

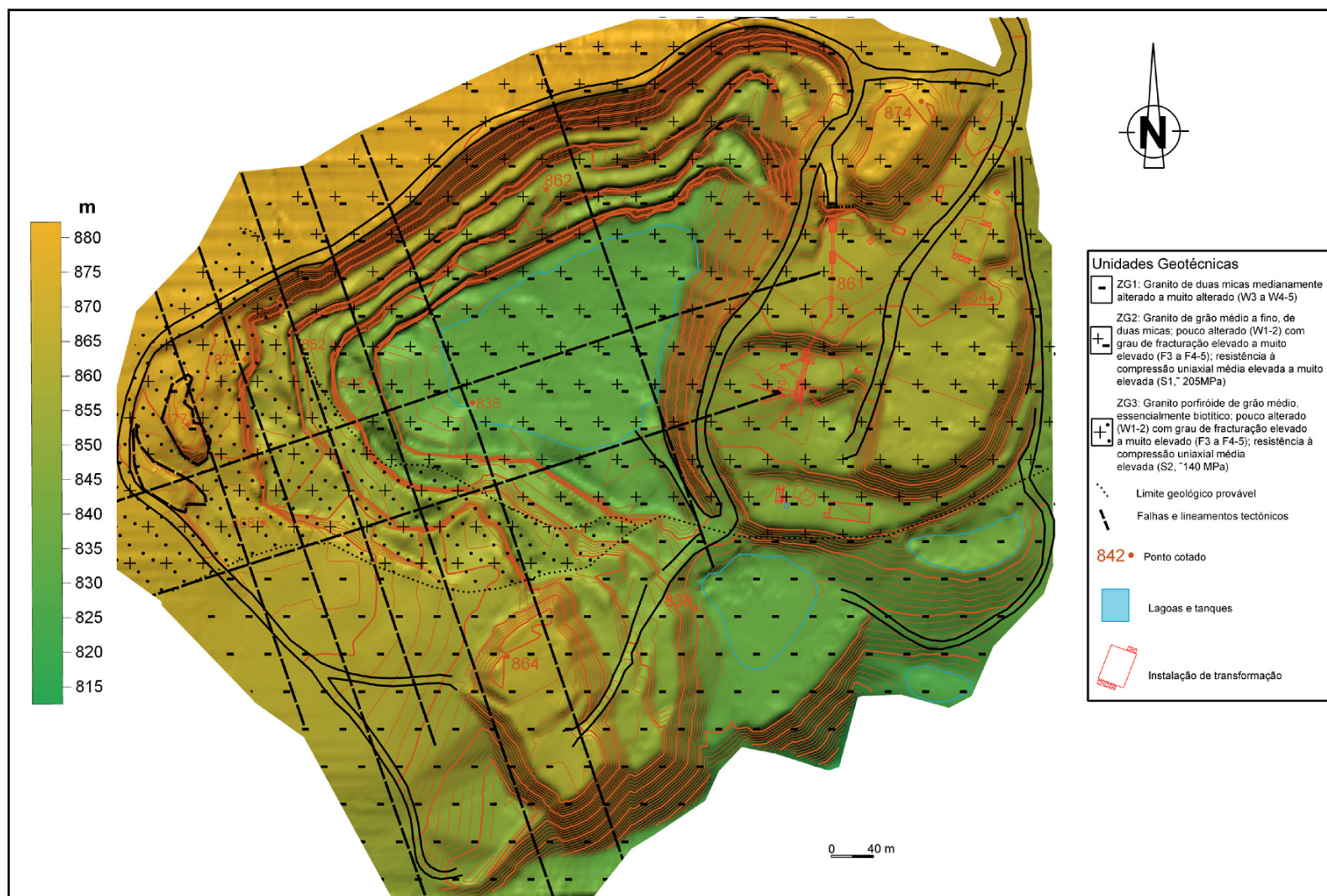


Figura 18. Modelo Digital de Terreno com a implantação das zonas geotécnicas definidas para a Pedreira de Monteiras (base topográfica, ano 2003, cedida gentilmente por FPM).

4.5.3. *Geotecnia e geomecânica local do maciço*

Caracterização geotécnica do maciço

O levantamento de atitudes de descontinuidades, através da técnica da amostragem linear aplicada à geotecnia, foi efetuado em 12 (doze) perfis distribuídos com diversas orientações, de modo a caracterizar, na medida do possível, a área do maciço (longitudinal e transversalmente) de exploração das Monteiras (anexo 4).

Estado de alteração

A determinação do estado de alteração de um maciço rochoso ou do material-rocha, é também um fator importante a considerar. No caso em estudo, o estado de maior alteração de rocha granítica (W_{4-5} , segundo a classificação da ISRM, 1978, 1981) confina-se a uma estreita faixa superficial (não ultrapassando, regra geral, 0.5 m de espessura). Na proximidade das descontinuidades e em zonas de maior densidade de fracturação ou esmagamento, a alteração caracteriza-se pela ocorrência de pontuações ferruginosas, resultantes da oxidação dos minerais ferromagnesianos (particularmente da biotite), conferindo globalmente ao material-rocha uma tonalidade amarelada-acastanhada. Algumas descontinuidades apresentam frequentemente impregnações de sulfuretos conferindo às superfícies de descontinuidades um aspeto amarelado.

O estado maior de alteração da rocha granítica (W_{4-5}), confina-se ao lado sul da pedreira e corresponde aos patamares limítrofes do afloramento (perfis 1 e 6, em toda a sua extensão), encontrando-se aqui o material-rocha completamente alterado, friável e com um tom castanho escuro, sendo mesmo, por vezes, difícil de identificar o tipo de fácies granítica presente.

O maciço na sua parte central da pedreira, com uma orientação E-W, poderá globalmente ser classificado como um granito medianamente alterado [W_3] e, em alguns sectores, como pouco alterado [W_{1-2}] (segundo os critérios do ISRM, 1978, 1981); em algumas zonas superficiais, patenteia um grau de alteração muito acentuado [W_{4-5}] (segundo os critérios do ISRM, 1978, 1981) (figura 19). Assim, a pedreira está vocacionada para a extração de agregados para a construção civil e obras públicas.

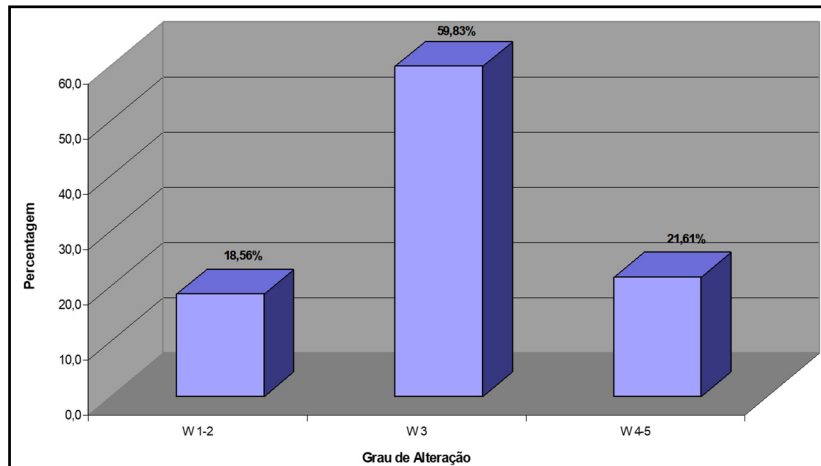


Figura 19. Histogramas representativos da frequência do grau de alteração (ISRM, 1978, 1981) para o maciço de Monteiras.

Estado de Fracturação

O granito de Monteiras apresenta uma intensa fracturação, em que as descontinuidades apresentam uma direção variando entre os quadrantes NNW-SSE a N-S e inclinação subvertical, em virtude do apertado e intenso diaclasamento presente, bem como dos espaçamentos e preenchimentos observados entre diaclases contíguas. Observou-se, ainda, uma fracturação sub-horizontal materializada por uma foliação milonítica, correspondendo a uma zona de intensa deformação.

Da análise dos diagramas estruturais das atitudes das descontinuidades (diaclases e falhas), medidas de forma sistemática, pela técnica de amostragem linear (anexo 4), nos doze perfis estudados, resultam as seguintes considerações (anexos 5 e 6; quadro 9):

- **Perfil 1** (n=64; orientação do perfil N90°-100°E): existência de uma família de descontinuidades predominante de orientação de N0°-10°E/subvertical (subv.); neste perfil assume alguma importância as famílias N350°-360°E; subv. e N80°-90°E; subv.;
- **Perfil 2** (n=22; orientação do perfil N30°-40°E): predominância da família de descontinuidades N70°-80°E; subv.;
- **Perfil 3** (n=71; orientação do perfil N60°-100°E): predominância da família de descontinuidades N340°-360°E; subv.; neste perfil assume alguma importância a família N330°-340°E; subv.;
- **Perfil 4** (n=69; orientação do perfil N60°-80°E): predominância da família de descontinuidades N340°-360°E; subv.; neste perfil assume alguma importância a família N330°-340°E; subv.

-
- **Perfil 5** (n=13; orientação do perfil N340-350°E): predominância da família de descontinuidades N350°-360°E; subv.; neste perfil assume alguma importância a família N40°-50°E; subv.
 - **Perfil 6** (n=58; orientação do perfil N100°-140°E): predominância da família de descontinuidades N0°-10°E; subvertical; neste perfil assume alguma importância a família N350°-360°E; subv.
 - **Perfil 7** (n=71; orientação do perfil N90°-120°E): predominância da família de descontinuidades N0°-10°E; subvertical; neste perfil assume alguma importância a família N350°-360°E; subv.
 - **Perfil 8** (n=10; orientação do perfil N104°-114°E): predominância da família de descontinuidades N350°-360°E; subvertical; neste perfil assume alguma importância a família N0°-10°E; subv.
 - **Perfil 9** (n=96; orientação do perfil N60°-80°E): predominância da família de descontinuidades N350°-360°E; subvertical; neste perfil assume alguma importância a família N0°-10°E; subv.
 - **Perfil 10** (n=128; orientação do perfil N60°-100°E): predominância da família de descontinuidades N340°-360°E; subvertical; neste perfil assume alguma importância a família N70°-80°E; subv.
 - **Perfil 11** (n=95; orientação do perfil N60°-80°E): predominância da família de descontinuidades N340°-350°E; subvertical; neste perfil assume alguma importância as famílias N350°-360°E; subv. e N80°-90°E
 - **Perfil 12** (n=25; orientação do perfil N30°-40°E): predominância da família de descontinuidades N330°-340°E; subvertical; neste perfil assume alguma importância a família N70°-80°E; subv.

Da análise do estereograma geral e do diagrama de rosetas (anexos 5 e 6), em que são projetadas todas as descontinuidades medidas nos painéis resultam as seguintes considerações:

- Uma família de descontinuidades principal com orientação média N340°-350°E; subvertical;
- Uma família de descontinuidades com orientação N0°-10°E; subvertical;
- Uma família de descontinuidades N70°-80°E; subvertical.

Quadro 9. Síntese das características dos perfis amostrados no maciço das Monteiras (granito porfiróide de duas micas, Y_{2m} ; granito porfiróide essencialmente biotítico, Y_b).

Perfil	Grau de alteração	Fácies granítica	Orientação média do perfil	Comprimento do perfil (m) (A)	Nº de descontinuidades (B)	"Factor de fracturação" (B/A)
1	W_3	Y_b e Y_{2m}	N90°-100°E	46,4	64	1,38
2	W_{4-5} e W_3	Y_b	N30°-40°E	58,1	22	0,38
3	W_3	Y_{2m}	N60°-100°E	36,8	71	1,93
4	W_3 e W_2	Y_{2m}	N60°-80°E	41,7	68	1,63
5	W_3	Y_{2m}	-	-	13	-
6	W_3	Y_b e Y_{2m}	N100°-140°E	28,2	58	2,06
7	W_3	Y_b e Y_{2m}	N90°-120°E	51,3	71	1,38
8	W_3	Y_{2m}	N104°-114°E	12,5	10	0,8
9	W_{4-5} e W_3	Y_{2m}	N60°-80°E	35,1	92	2,62
10	W_3	Y_{2m}	N60°-100°E	67,1	127	1,89
11	W_{1-2} e W_3	Y_{2m}	N60°-80°E	32,5	94	2,9
12	W_3	Y_{2m}	N30°-40°E	9,5	23	2,42

Foi também estimado um parâmetro geomecânico que se denominou 'fator de fracturação' (Chaminé et al., 2001). Este fator resulta da razão entre o número de diaclases medidas e o comprimento do painel amostrado. A aplicação deste fator corrobora a intensidade de fracturação referida anteriormente (quadro 9). Além disso, pela observação e cartografia das linhas de amostragem da pedreira de Monteiras o padrão geral da rede de fracturação assemelha-se, segundo a classificação de Palmström (1995), a uma geometria prismática.

Espaçamento de descontinuidades

O sistema de descontinuidades de orientação N340°-350°E/subvertical é o mais frequente, logo será o menos espaçado. A sua persistência em todos os painéis amostrados é também superior à dos restantes sistemas de diaclasamento.

Com o objetivo de caracterizar estatisticamente os espaçamentos apresentados pelo sistema de descontinuidades, elaborou-se o histograma de frequências total vs. classes de espaçamentos para

o conjunto dos perfis estudados. Nesse diagrama também se indicam as frequências absolutas das classes de espaçamentos expressas em percentagem do total de medições.

De um modo geral, podemos considerar, numa abordagem qualitativa e quantitativa que o maciço em causa trata-se de um material-rocha granítico que em termos de qualidade geotécnica apresenta um grau de fracturação muito elevado [F₄₋₅], com alguma tendência para o grau de fracturação elevado [F₃], ou seja, a distância entre as diaclases registadas são < 6 cm (muito próximas) e variando entre 6-20 cm (próximas), respetivamente (ver figura 20).

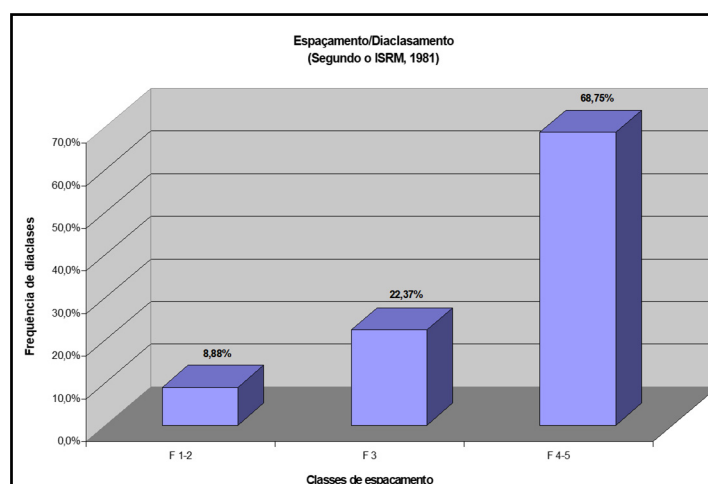


Figura 20. Histogramas de frequências absolutas de diaclases vs. classes de espaçamento dos painéis estudados.

Continuidade ou persistência

As descontinuidades mais frequentes no maciço têm uma atitude média N340°-350°E/subvertical, e são também as mais persistentes no terreno. A observação de persistência das descontinuidades foi efetuada em duas dimensões, correspondente à intersecção da diaclase com a superfície de exposição sub-horizontal e subvertical (nas frentes de desmonte). Constata-se, em todos os painéis estudados, que as diaclases mais abundantes são aquelas que apresentam uma continuidade planar mais acentuada. As faixas de esmagamento sub-horizontais (constituindo cataclasitos), apresentam também uma grande continuidade, interrompendo sistematicamente as descontinuidades (verticais e subverticais) pertencentes às outras famílias.

Abertura

A abertura de uma descontinuidade consiste na distância perpendicular que separa as paredes adjacentes das descontinuidades, isto quando não existe material de preenchimento no seu interior. Regra geral, no caso em estudo, os sistemas de descontinuidades mais importantes possuem aberturas entre 2-10mm (medianamente abertas), não sendo, porém, raro a existência de várias descontinuidades esparsas, com aberturas superiores a 10mm (muito largas).

Enchimento e impregnações

Estreitamente relacionada com a abertura, o enchimento de uma descontinuidade pode definir-se como o tipo de material existente entre as suas paredes, tal como a calcite, argila, silte, milonito, etc. (ISRM, 1978, 1981). Na pedreira de Monteiras, grande parte das descontinuidades cartografadas não possuem enchimento, existindo, porém, numa minoria algum enchimento que consiste em material rochoso resultante da desagregação do maciço e em alguns casos preenchimentos argilosos de caixas de falhas. O sistema de diaclasamento dominante apresenta também frequentes impregnações de sulfuretos (pirite, arsenopirite) conferindo às superfícies de descontinuidades um aspeto amarelado.

Rugosidade

A superfície que constitui as paredes das descontinuidades apresenta, no geral, irregulares a várias escalas, sendo a medição dessas irregularidades bastante difícil. A rugosidade tem grande influência na resistência ao corte do maciço, principalmente no caso das descontinuidades se apresentarem não preenchidas. Também a ISRM (1978, 1981) se debruçou sobre este assunto, propondo nomenclatura e método para caracterizar a rugosidade. No entanto, trata-se de método bastante aleatório e de difícil execução que, na prática, não é usado. Torna-se preferível recorrer a ensaios em laboratório ou em campo, para a determinação da resistência ao corte das descontinuidades, não separando assim a fração intrínseca do fator rugosidade ou ondulação.

No maciço em estudo, a rugosidade dominante é plana, que corresponde a uma rugosidade em que as paredes das descontinuidades são geralmente lisas, mas também se observou um estriamento das superfícies de diaclasamento correspondendo a diáclases de tipo ativo, em termos tectónicos. Por vezes, ocorrem descontinuidades algo onduladas e, mais raramente, se encontram descontinuidades denteadas.

4.5.4. Caracterização geomecânica local

Ensaio esclerométrico

No que diz respeito à resistência, embora as características do maciço rochoso sejam essencialmente dependentes das descontinuidades, é de grande utilidade o conhecimento da resistência do material-rocha. A determinação da resistência à compressão uniaxial, do maciço rochoso em estudo, foi realizada com o auxílio de um esclerómetro portátil ou *martelo de Schmidt*.

No trabalho de campo realizado foi utilizado um *martelo de Schmidt* do tipo L, da marca PROCEQ S.A. (Zurich, Switzerland), do laboratório de Mecânica das Rochas do Departamento de Engenharia Geotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto (I.S.E.P.), figura 21.

Assim, efetuaram-se 68 estações geomecânicas para a realização dos ensaios de campo (figura 21; anexo 7 e quadros 10, 11 e 12) e constatou-se que nas zonas do maciço menos alteradas (W_{1-2}) os valores de resistência uniaxial à compressão variam em média entre 140 MPa (Unidade geotécnica 3: granito biotítico; S_2 , resistência à compressão uniaxial elevada) e 205 MPa (unidade geotécnica 2: granito de duas micas; S_1 , resistência à compressão uniaxial muito elevada); enquanto que nas zonas mais alteradas (W_{4-5} a W_3) o ensaio apresenta valores de resistência média variam entre 50 e 60 MPa (unidade geotécnica 1: granito de duas micas alterado; S_3 , resistência à compressão uniaxial média).



A e D: Na estação geomecânica posicionar o esclerómetro portátil perpendicularmente à superfície de exposição (B) e proceder ao ensaio para determinar a “dureza de Schmidt” (C-D); no final (D), fazer a leitura da dureza

E e F: procedimento prático para “desarmar” o martelo e colocá-lo novamente operacional



Figura 21. Aplicação do ensaio esclerométrico na pedreira de Monteiras.

Quadro 10. Síntese das características geomecânicas dos perfis amostrados.

Estações Geomecânicas						Leitura Esclerómetro Portátil (MPa)										Média dos 5 melhores resultados (MPa)	Resistência uniaxial à compressão simples (MPa)
Nº	Localização	Granito	Descont.	Atitude	Alteração	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	P ₁ (Dir.)	Y _{2m}	Falha	N52E;82E	W ₃	62	60	54	54	55	58	56	60	56	58	59,6	231,3
2	P ₁ (Dir.)	Y _{2m}	Falha	N166E;90E	W ₃	44	54	60	42	50	50	52	60	50	52	55,6	185,0
3	P ₁ (Dir.)	Y _{2m}	Diaclase	N166E;86E	W ₃	52	52	56	60	56	56	58	52	56	54	57,2	200,0
4	P ₁ (Dir.)	Y _{2m}	Diaclase	N160E;88E	W ₂	60	56	62	50	60	60	52	60	56	62	60,8	250
5	P ₁ (Dir.)	Y _{2m}	Diaclase	N82E;62E	W ₄	38	42	44	42	36	40	50	55	42	48	47,8	126,7
6	P ₁ (Dir.)	Y _b	Diaclase	N82E;52E	W ₃	46	34	40	36	38	34	50	34	30	40	42,8	96,7
7	P ₂ (Dir.)	Y _b	Diaclase	N96E;60E	W ₃	40	40	40	46	42	38	35	42	36	40	42	93,3
8	P ₂ (Dir.)	Y _{2m}	Diaclase	N160E;82E	W ₃	64	65	62	62	60	64	62	64	64	62	64,2	250
9	P ₂ (Dir.)	Y _{2m}	Diaclase	N174E;70E	W ₃	58	63	60	54	50	60	56	60	55	59	60,4	250
10	P ₂ (Dir.)	Y _{2m}	Diaclase	N42E;84E	W ₃	60	53	50	56	62	60	56	62	53	62	61,2	250
11	P ₂ (Dir.)	Y _{2m}	Diaclase	N58E;88E	W ₃	58	56	54	58	45	59	56	62	54	60	59,4	230,0
12	P ₂ (Dir.)	Y _{2m}	Diaclase	N24E;80E	W ₃	32	42	60	40	64	56	58	56	62	56	58,4	215,6
13	P ₂ (Dir.)	Y _{2m}	Diaclase	N94E;70W	W ₂	50	48	32	46	48	56	54	52	52	36	52,8	165,0
14	P ₂ (Dir.)	Y _{2m}	Diaclase	N68E;86E	W ₂	58	60	52	60	64	56	58	62	52	57	60,8	250
15	P ₂ (Dir.)	Y _{2m}	Diaclase	N36E;86E	W ₄	20	22	24	18	31	26	22	30	22	26	27,4	58,8
16	P ₂ (Dir.)	Y _{2m}	Diaclase	N60E;80E	W ₄	20	20	24	39	46	44	30	32	25	48	41,8	90,0
17	P ₂ (Centro)	Y _{2m}	Diaclase	N66E;86E	W ₃	56	60	42	58	54	56	58	44	56	54	57,6	212,5
18	P ₂ (Centro)	Y _b	Diaclase	N112E;62E	W ₃	46	52	33	54	58	50	42	28	48	46	50,8	147,0
19	P ₂ (Centro)	Y _b	Falha	N160E;80E	W ₂	44	54	52	38	44	48	46	50	44	49	50,6	146,0
20	P ₂ (Centro)	Y _b	Falha	N176E;62E	W ₂	56	54	50	40	48	49	52	48	52	53	52,8	165,0
21	P ₂ (Centro)	Y _b	Falha	N0E;72E	W ₂	54	46	44	48	50	46	54	36	40	44	50,4	142,0
22	P ₂ (Centro)	Y _b	Falha	N156E;80E	W ₂	38	46	35	38	42	38	46	28	42	33	42,8	96,7
23	P ₂ (Esq.)	Y _b	Falha	N172E;90E	W ₂	52	44	44	50	28	28	40	40	46	44	47,2	123,3
24	P ₂ (Esq.)	Y _b	Falha	N0E;90E	W ₃	38	36	40	28	26	40	30	46	48	44	43,2	100,0
25	P ₂ (Esq.)	Y _b	Falha	N176E;86E	W ₃	40	46	37	38	49	49	43	44	44	42	46,4	120,0
26	P ₂ (Esq.)	Y _b	Falha	N156E;80E	W ₄	47	54	36	46	38	40	45	47	34	34	47,8	126,7

Quadro 11. Síntese das características geomecânicas dos perfis amostrados (cont.).

Estações Geomecânicas						Leitura Esclerômetro Portátil (MPa)										Média dos 5 melhores resultados (MPa)	Resistência uniaxial à compressão simples (MPa)
Nº	Localização	Granito	Descont.	Atitude	Alteração	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
27	P ₂ (Esq.)	Y _b	Falha	N176E;80E	W ₃	50	47	46	50	40	40	52	46	50	46	49,6	138,0
28	P ₂ (Esq.)	Y _b	Falha	N170E;80E	W ₃	40	34	40	42	38	54	46	42	32	42	45,2	110,0
29	P ₂ (Esq.)	Y _b	Falha	N102E;80W	W ₄	25	24	12	20	19	20	12	10	12	18	21,6	32,4
30	P ₂ (Esq.)	Y _b	Falha	N80E;66E	W ₄	22	26	18	34	34	28	24	29	20	28	30,6	51,5
31	P ₃ (Esq.)	Y _{2m}	Falha	N172E;82E	W ₄	34	36	36	38	30	11	23	36	24	34	36	68,3
32	P ₃ (Esq.)	Y _b	Diaclase	N60E;62E	W ₃	14	18	30	29	34	20	32	28	36	28	32,2	56,9
33	P ₃ (Esq.)	Y _b	Falha	N164E;66E	W ₃	48	48	50	50	46	32	47	58	42	42	50,8	147,0
34	P ₅ (Esq.)	Y _b	Falha	N158E;80E	W ₃	46	45	40	46	45	48	38	42	46	40	46,2	113,3
35	P ₅ (Esq.)	Y _{2m}	Falha	N164E;78E	W ₂	50	54	54	43	55	60	53	56	62	54	57,4	203,1
36	P ₅ (Esq.)	Y _{2m}	Falha	N178E;90E	W ₂	54	48	50	50	47	52	52	54	44	53	53	166,7
37	P ₅ (Esq.)	Y _{2m}	Falha	N176E;78E	W ₃	46	32	40	40	44	40	39	50	36	54	46,8	117,1
38	P ₅ (Tras.)	Y _{2m}	Diaclase	N86E;72W	W ₂	61	50	58	55	50	60	50	56	58	60	59,4	230,0
39	P ₅ (Tras.)	Y _{2m}	Falha	N82E;76W	W ₂	55	56	58	58	58	54	60	56	58	46	58,4	225,0
40	P ₅ (Tras.)	Y _{2m}	Falha	N162E;82W	W ₂	58	54	48	52	52	62	55	62	48	58	58,8	227,0
41	P ₅ (Tras.)	Y _{2m}	Falha	N168E;84E	W ₁	48	54	50	52	48	38	48	50	52	44	50,8	147,0
42	P ₅ (Dir.)	Y _{2m}	Falha	N80E;80W	W ₃	54	58	58	62	55	58	56	58	52	56	58,8	227,0
43	P ₅ (Dir.)	Y _{2m}	Diaclase	N66E;70W	W ₃	34	54	52	36	40	50	48	55	44	46	51,8	154,8
44	P ₅ (Dir.)	Y _{2m}	Falha	N168E;78E	W ₃	28	42	38	44	44	44	52	36	44	38	45,6	11,7
45	P ₅ (Dir.)	Y _{2m}	Falha	N52E;80E	W ₂	62	65	64	58	58	60	66	60	62	60	63,8	250
46	P ₅ (Dir.)	Y _{2m}	Falha	N168E;88E	W ₂	57	56	59	57	60	58	58	51	63	59	59,3	229,4
47	P ₂ (Tras.)	Y _{2m}	Diaclase	N170E;88W	W ₃	61	58	54	59	57	56	56	56	54	59	58,8	227,0
48	P ₂ (Tras.)	Y _{2m}	Diaclase	N168E;88E	W ₃	54	54	62	57	54	56	56	56	56	53	57,4	203,1
49	P ₂ (Tras.)	Y _{2m}	Falha	N58E;90E	W ₃	50	52	47	48	50	52	50	60	42	48	52,8	165,0
50	P ₃ (Tras.)	Y _{2m}	Falha	N172E;88N	W ₃	45	44	55	44	60	62	59	48	60	52	59,2	228,8
51	P ₃ (Tras.)	Y _{2m}	Diaclase	N176E;90E	W ₃	47	47	50	50	40	36	42	56	40	54	51,4	157,1
52	P ₃ (Tras.)	Y _{2m}	Diaclase	N70E;86W	W ₃	59	60	62	54	56	61	62	57	62	58	61,4	250

Quadro 12. Síntese das características geomecânicas dos perfis amostrados (cont.).

Estações Geomecânicas						Leitura Esclerómetro Portátil (MPa)										Média dos 5 melhores resultados (MPa)	Resistência uniaxial à compressão simples (MPa)
Nº	Localização	Granito	Descont.	Atitude	Alteração	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
53	P ₃ (Dir.)	Y _{2m}	Falha	N170E;86E	W ₂	60	54	58	59	60	58	53	50	56	54	59,0	218,8
54	P ₃ (Dir.)	Y _{2m}	Falha	N174E;66E	W ₂	48	48	50	49	50	54	51	50	48	44	51,0	146,0
55	P ₃ (Dir.)	Y _{2m}	Falha	N172E;78E	W ₃	60	58	60	56	58	56	60	56	50	55	59,2	228,8
56	P ₃ (Dir.)	Y _{2m}	Falha	N176E;88E	W ₂	62	64	60	58	56	64	57	58	60	59	62,0	250
57	P ₃ (Dir.)	Y _{2m}	Falha	N72E;80E	W ₂	58	52	58	65	58	64	65	58	64	60	63,6	250
58	P ₃ (Dir.)	Y _{2m}	Diaclase	N68E;78E	W ₂	60	56	57	62	58	62	58	62	60	58	60,4	250
59	P ₃ (Dir.)	Y _{2m}	Diaclase	N166E;88E	W ₂	48	48	51	42	48	48	54	50	48	40	50,2	144,0
60	P ₃ (Centro)	Y _{2m}	Falha	N166E;82E	W ₃	38	44	56	50	44	50	42	40	40	40	48,8	138,0
61	P ₃ (Centro)	Y _{2m}	Falha	N172E;84E	W ₃	56	58	58	56	58	58	44	60	58	60	58,8	227,0
62	P ₃ (Centro)	Y _{2m}	Falha	N172E;86E	W ₂	54	52	53	50	50	50	52	51	49	50	51,8	154,8
63	P ₄ (Esq.)	Y _{2m}	Falha	N160E;76W	W ₃	62	57	56	56	56	60	54	57	58	48	58,6	226,0
64	P ₄ (Esq.)	Y _{2m}	Diaclase	N46E;60W	W ₃	54	52	58	53	58	38	62	54	42	46	59,0	218,8
65	P ₄ (Esq.)	Y _b	Diaclase	N0E;90E	W ₂	61	58	58	50	52	56	60	53	40	59	59,2	228,8
66	P ₄ (Esq.)	Y _b	Diaclase	N80E;74W	W ₂	60	52	52	44	58	50	54	58	52	56	57,2	200,0
67	P ₄ (Esq.)	Y _{2m}	Diaclase	N66E;80W	W ₂	56	54	62	58	62	60	58	62	54	58	60,0	240,6
68	P ₄ (Esq.)	Y _{2m}	Diaclase	N82E;70W	W ₂	56	62	56	56	56	66	63	64	56	65	64,0	250

Ensaio de *Los Angeles*

A adequabilidade dos agregados para utilização num certo tipo de construção civil é determinada pela avaliação das suas propriedades físicas e mecânicas. A maior parte das construções exige que o material seja resistente, sendo esta propriedade habitualmente determinada através da realização de ensaios quer de resistência à compressão uniaxial, pelo método do Esclerómetro Portátil, quer de resistência à fragmentação pelo ensaio *Los Angeles*. Em especial, o ensaio de *Los Angeles* é bastante útil para a determinação da qualidade da rocha, mas exige um tempo elevado de execução e grandes quantidades de amostra. Alguns autores (e.g., Kazi & Al-Molki, 1982; Ballivy & Dairy, 1984; Al Harthi & Abo-Saada, 1997; Al-Harthi, 2001) têm por isso desenvolvido tentativas de estabelecimento de relações empíricas entre este ensaio e outros mais simples e menos dispendiosos, como por exemplo o do Esclerómetro Portátil. A obtenção de modelos de relação entre variáveis deste tipo revela-se de grande interesse (e.g., Al-Harthi, 2001; Conde et al., 2004) por permitir fazer inferência sobre amostras futuras, podendo refletir-se numa orçamentação e gestão da exploração de maior rigor.

Com o estudo ora apresentado pretendeu-se estimar uma possível relação entre os resultados obtidos no campo usando o Esclerómetro Portátil e os valores obtidos através dos ensaios de resistência à fragmentação *Los Angeles*, realizados no laboratório da empresa FRANCISCO PEREIRA MARINHO & IRMÃOS, S.A., no âmbito da certificação dos produtos, “Marcação CE”.

Os dados em que este estudo se baseia reportam-se à atividade da pedreira de Monteiras na área onde se localiza a fácies granítica correspondente à zona geotécnica ZG3, ou seja, constituída por um granito porfiróide de grão médio, essencialmente biotítico.

Assim todos os dados obtidos através dos ensaios de resistência à fragmentação *Los Angeles*, dizem respeito ao granito que é referenciado, como sendo, “Porfiróide essencialmente biotítico”. Os valores considerados para a determinação da resistência à compressão simples (ensaio esclerométrico) foram os valores médios das estações geomecânicas daquela zona geotécnica. O ensaio com *martelo de Schmidt*, é um ensaio não destrutivo de fácil realização que também permite avaliar a resistência do material rochoso. Neste ensaio, realizado de acordo com as recomendações de ISRM (1978, 1981), foram aplicados estes procedimentos em várias estações (12) ao longo dos perfis cartografados.

Todos os ensaios de resistência ao desgaste *Los Angeles* foram realizados segundo a norma NP EN1907-2 (2002), conforme descrito anteriormente. Foram considerados cerca de 36 ensaios de resistência à fragmentação *Los Angeles*, correspondentes a três réplicas por cada estação, sendo calculada para cada estação a média das três réplicas respetivas. Executadas as operações

anteriores foram encontrados 12 pares ordenados de valores de ensaio (Quadro 13). A caracterização estatística sumária dos ensaios realizados no maciço granítico da pedreira de Monteiras é apresentada no Quadro 14. É interessante verificar que a projeção destes resultados, de desgaste de *Los Angeles* e resistência à compressão uniaxial, no diagrama de Al-Harhi (2001) para rochas ígneas, metamórficas e sedimentares mostra que os valores obtidos no presente estudo não se afastam dos encontrados por este autor (Figura 20).

Os resultados amostrais obtidos para o maciço granítico desta pedreira foram então utilizados para estimar a relação entre estes dois métodos, utilizando o programa estatístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, 2005). Para o efeito procedeu-se então à representação dos valores apresentados no Quadro 13 num diagrama de dispersão (Figura 21), tomando o ensaio de *Los Angeles* como variável dependente ou variável resposta Y, e o ensaio esclerométrico como variável independente ou variável preditora X. A observação do diagrama sugere claramente a existência de uma relação inversamente proporcional entre estas duas variáveis.

Quadro 13. Resultados comparativos dos ensaios *Los Angeles* e esclerométrico.

Ensaio Esclerométrico <i>Martelo de Schmidt</i> (MPa)	Ensaio de Resistência à Fragmentação <i>Los Angeles</i> (%)
93,3	28,86
96,7	28,8
100	28,58
120	28,3
122,7	28,3
123,3	28,21
126,7	28,04
138	27,97
142	26,21
146	25,53
147	24,9
165	24,8

Quadro 14. Estatística descritiva dos ensaios de resistência obtidos para o maciço granítico da pedreira de Monteiras.

Parâmetros	Ensaio Esclerométrico <i>Martelo de Schmidt</i> (MPa)	Ensaio de Resistência à Fragmentação <i>Los Angeles</i> (%)
Mínimo	93,30	24,80
Máximo	165,00	28,86
Média	126,73	27,39
Desvio Padrão	22,19	1,41
Variância	492,20	1,98
Coefficiente de Variação	17,51	5,15
Assimetria	-0,073	-0,686
<i>Curtose</i>	-0,718	-1,064

Segundo o estudo de Al-Harhi (2001) — que inclui um grande número de ensaios simultaneamente realizados em rochas de origem magmática, bem como rochas metamórficas e sedimentares — o modelo logarítmico será aquele que melhor descreve a relação entre estes dois métodos. Optou-se, por isso, pela análise destes dados através de uma regressão simples utilizando a função logarítmica para obter a equação respetiva para um limite de confiança de 95% (Davis, 1986).

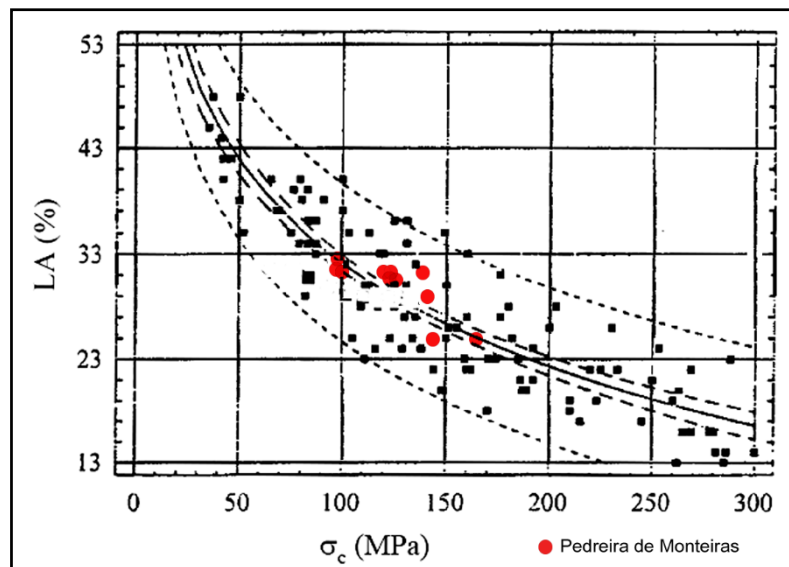


Figura 22. Relação entre a resistência à compressão uniaxial (MPa) e o ensaio *Los Angeles* (%), adaptado de Al-Harhi (2001).

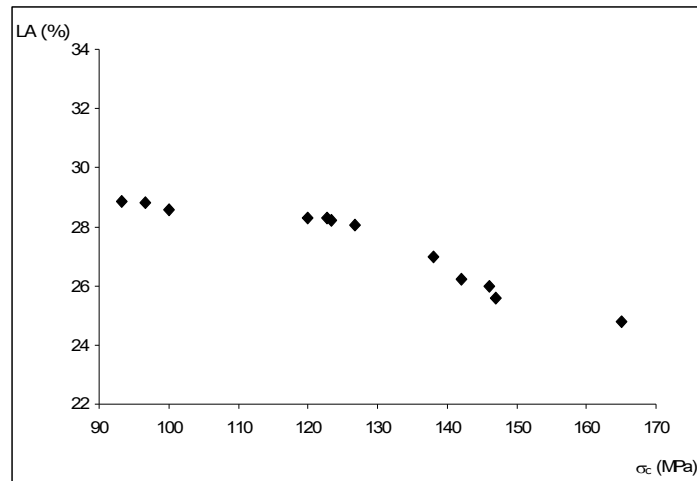


Figura 23. Diagrama de dispersão para os resultados obtidos através do ensaio de resistência à compressão uniaxial (σ_c , MPa) e do ensaio *Los Angeles* (LA, %).

Desta forma procedeu-se então à estimação dos parâmetros da função logarítmica (parâmetros β_0 e β_1) a partir dos dados amostrais (Davis, 1986). No Quadro 15 apresentam-se as estimativas obtidas para estes coeficientes que permitiram determinar a equação seguinte:

$$LA = 61,60 - 7,09 * \ln(\sigma_c) \quad (R^2 = 0,83, r = -0,91).$$

Quadro 15. Coeficientes de regressão para a relação entre a resistência à compressão uniaxial (MPa) e o ensaio *Los Angeles* (%) para os dados amostrais da pedra de Monteiras. *t*, estatística *t* de Student; g.l., graus de liberdade; *P*, probabilidade associada à estatística *t*; IC_{95%}, Intervalo de confiança a 95%.

Modelo	Coeficientes	Erro padrão	<i>t</i>	g.l.	<i>P</i>	IC _{95%}	
						Limite inferior	Limite superior
β_0	61,60	4,98	12,38	10	<0,001	50,50	72,70
β_1	-7,09	1,03	-6,88	10	<0,001	-9,38	-4,80

O coeficiente de determinação pode ser interpretado como a redução relativa na variação de *Y* (ensaio *Los Angeles*) associada à utilização da variável independente *X* (ensaio esclerométrico) (Davis, 1986). Por seu lado, o coeficiente de correlação fornece uma medida do grau de associação entre as duas variáveis. Tanto o coeficiente de determinação ($R^2 = 0,83$) como o coeficiente de correlação ($r = -0,91$; $P < 0,001$; teste *t* de Student) obtidos são moderadamente elevados (0.83) e

próximos dos descritos por Al Harthi (2001) para este modelo, respetivamente 0,78 e -0,89. O coeficiente de correlação confirma a relação inversamente proporcional entre estes dois tipos de ensaios previamente inferida a partir do diagrama de dispersão dos dados. Na Figura 22 apresenta-se o modelo logarítmico, e o intervalo de confiança a 95% para as previsões, obtido a partir dos dados da pedra de Monteiras. O parâmetro β_0 (61,60; Quadro 15) representa a ordenada na origem, *i.e.*, indica o valor da função para $X=0$; contudo como o modelo foi formulado para aplicação a valores de X entre 93 a 165, não tem qualquer significado particular como termo isolado. O coeficiente β_1 obtido (-7,09; Quadro 15) é significativamente diferente de zero, conforme mostra a análise quer da probabilidade associada à estatística t ($t_{(0,05;10)} = -6,88$; $P < 0,001$) quer do intervalo de confiança a 95% para β_1 que não contém o valor zero, indicando uma relação estatisticamente significativa entre estes dois ensaios de resistência.

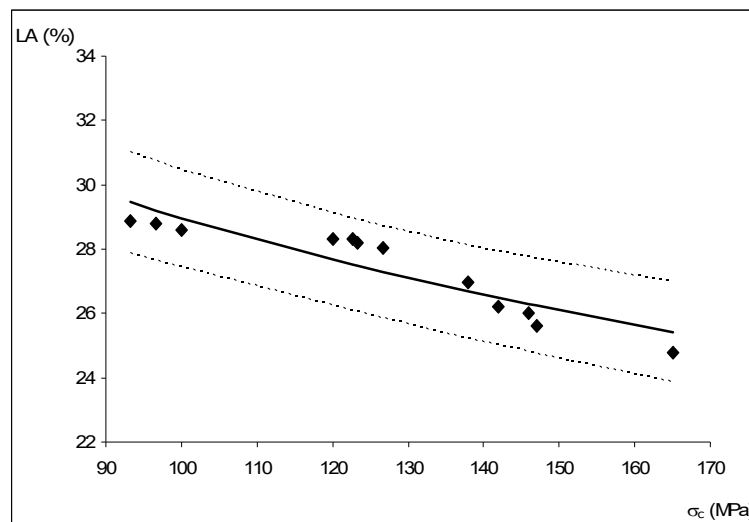


Figura 24. Relação entre a resistência à compressão uniaxial (MPa) e o ensaio *Los Angeles* (%), e intervalo de confiança a 95% para as previsões, obtida a partir dos ensaios realizados na pedra de Monteiras.

Assim, de acordo com a equação estimada, podemos por exemplo prever, para outras amostras obtidas nas mesmas condições da amostra atual, que o valor médio do ensaio *Los Angeles* correspondente a um valor no ensaio esclerométrico de 140 MPa é aproximadamente 26.58%. Devemos, contudo, ter sempre em atenção que o modelo assim determinado é válido para valores da variável independente compreendidos entre 93 e 165; e que fora destes limites previsões realizadas a partir desta função podem não ser válidas porque estes dados amostrais não fornecem para esse caso qualquer evidência sobre a natureza da relação estatística.

Os resultados apresentados nesta abordagem exploratória mostram-se bastante promissores relativamente à possibilidade de obtenção de um modelo válido de relação entre os valores de resistência das rochas e os valores de perda por desgaste *Los Angeles*. Futuramente, a estimação de um modelo fiável e com aplicação prática deverá passar pela realização de amostragens subsequentes com obtenção de um número superior de ensaios. Amostragens estas, a ser realizadas nesta mesma pedreira, em condições idênticas às atuais, bem como noutras pedreiras com maciços graníticos de características idênticas ao da pedreira de Monteiras, no sentido de avaliar também a repetibilidade e reprodutibilidade dos resultados obtidos.

O desenvolvimento de um modelo deste tipo constituirá por si só um método expedito que permitirá uma rápida e fácil compreensão das características mecânicas dos maciços rochosos através dos diferentes ensaios realizados, minimizando os custos de avaliação.

Condições hidrogeológicas

O território do município de Castro Daire ocupa uma posição importante na Bacia Hidrográfica dos rios Paiva e Paivô, os quais fazem a sua confluência no limite sul da Vila. Todos os cursos de água são tributários do rio Douro, que atravessa a região em vale profundo e apertado, donde se destaca localmente o rio Paivô.

Os terrenos graníticos da área concelhia apresentam, em grande, uma permeabilidade reduzida a muito reduzida (E.I.A., 2004).

As características geomorfológicas, climatológicas e geológicas da região de Monteiras, inserida no denominado 'Maciço Cristalino Antigo' (e.g., Carvalho, 1996; Carvalho et al., 2000; Carvalho et al., 2007), condicionam do ponto de vista hidrogeológico a existência dos recursos de águas subterrâneas. A existência, por um lado de um relevo com declives acentuados e, por outro lado de uma reduzida camada de solo superficial (em regra inferior a 1.5m), tornam praticamente inexistente a presença de um aquífero superficial.

No local da pedreira, a drenagem das águas resultantes da precipitação é condicionada pelos vários sistemas de fraturas e, influenciada pela ausência de uma zona de alteração mais espessa pelo que, no processo de drenagem o escoamento superficial poderá sobrepor-se à infiltração.

Dentro da área de exploração existem dois furos de captação de águas que se destinam ao abastecimento das oficinas e áreas administrativas, onde se encontra água sensivelmente a 40 m (segundo o encarregado da exploração Sr. Filipe Sousa), facto que é indicativo da profundidade a que se situa o nível freático.

4.6. Reservas da Pedreira de Monteiras: breves considerações

De acordo com a caracterização geológico-geotécnica do maciço da pedreira de Monteiras, as zonas assinaladas com A e D na figura 23 correspondem, respetivamente, a um granito porfiróide, de grão médio, essencialmente biotítico, pouco alterado (ZG3) e a um granito de grão médio a fino, de duas micas, pouco alterado (ZG2). A zona D encontra-se já em laboração, sendo a zona A uma área propícia para a ampliação da exploração da pedreira. Esta zona, em termos volumétricos, corresponde a cerca de 5 milhões de m³, pelo que a reserva estimada se cifra na ordem dos 12 milhões de toneladas. Desta forma, considerando uma extração média anual de 360.000 ton./Ano, poder-se-á estimar um período de cerca de 30 anos para exploração desta pedreira.

De acordo com esta avaliação, sugere-se que as instalações de transformação, atualmente instaladas na zona A, sejam mobilizadas para área C, uma vez que esta apresenta fraca qualidade geotécnica (ZG1 – granito medianamente alterado a muito alterado) e apresenta uma boa acessibilidade. Além disso, os limites de exploração da pedreira não poderão ser alargados para o topo Norte, uma vez que existe uma zona industrial. No entanto, estes limites poderão ser expandidos ainda para o topo Oeste da pedreira, dado que nesta área existe ainda uma pequena reserva baldia, sendo necessário um estudo geológico-geotécnico de pormenor desta área.

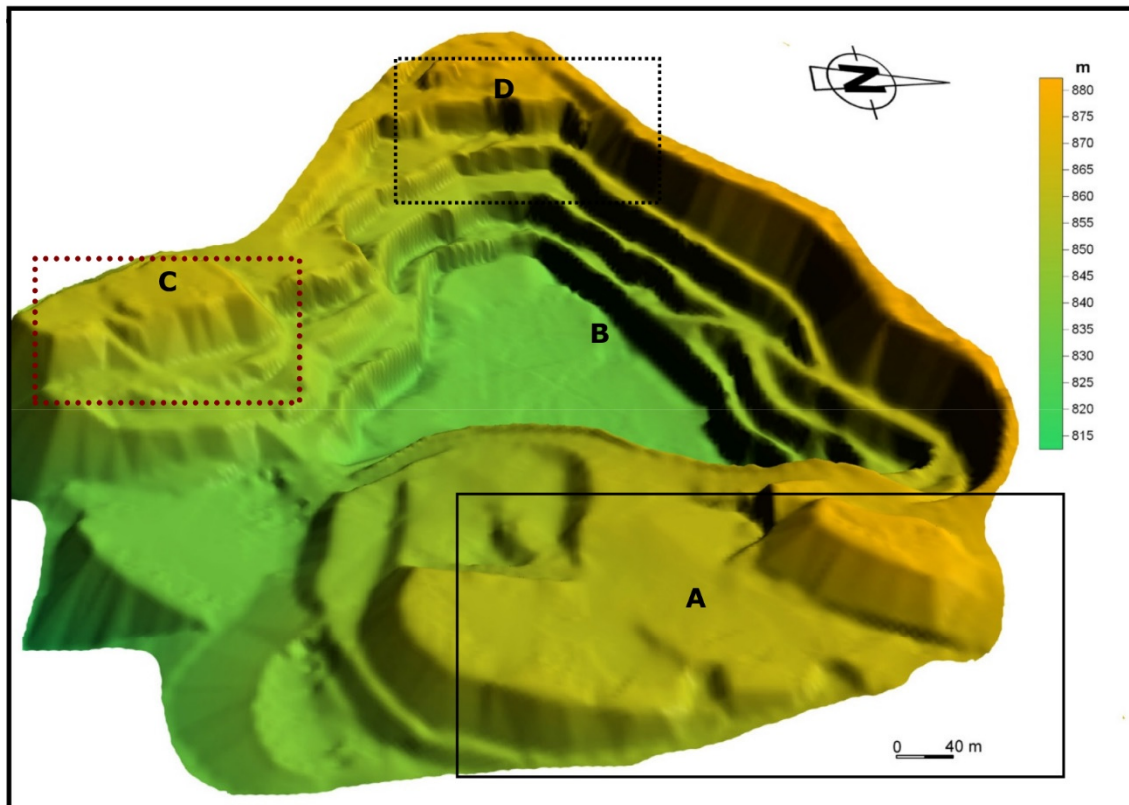


Figura 25. Modelo Digital de Terreno e aspeto geral da exploração da pedreira de Monteiras, vista de Leste para Oeste. Representação das áreas para a estimativa das reservas da Pedreira de Monteiras.

(página propositadamente em branco)

5. Conclusões

(página propositadamente em branco)

5. Conclusões

Com o presente trabalho pretendeu-se, sobretudo, dar ênfase à aplicação da técnica de amostragem linear em superfícies expostas de descontinuidades num maciço rochoso granítico. Assim, foi efetuado um levantamento sistemático de descontinuidades na pedreira de Monteiras para o estudo da compartimentação do maciço. A técnica de amostragem linear descrita, bem como o tratamento dos dados de terreno são de aplicação simples, sendo um método de execução expedita e que permite obter importantes informações sobre a estrutura do maciço.

Do estudo geológico, geotécnico e geomecânico ora desenvolvido sobre a pedreira de Monteiras resultam as seguintes conclusões:

- Ocorrência de unidades geológicas locais, uma de grão médio, que é a predominante, e uma de grão fino, com esparsos megacristais de feldspato (consultar mapa geológico da Pedreira de Monteiras, anexo 2);
- Reconhecimento de uma rede de fracturação intensa, com orientação média N340º-350ºE/subvertical, e a ocorrência de falhas geológicas, com orientação geral NNW-SSE e ENE-SSW (consultar mapas geológico e geotécnico da Pedreira de Monteiras, anexos 2, 3);
- Caracterização da cartografia geotécnica, em termos de zonamento geotécnico, com a consideração de três unidades (anexo 3): **ZG1**: granito de duas micas alterado a muito alterado, com uma resistência à compressão uniaxial média 50-60 MPa (S_3); **ZG2**: granito de grão médio a fino, de duas micas, pouco alterado (W_{1-2}) com grau de fracturação elevado a muito elevado (F_3 a F_{4-5}), com uma resistência à compressão uniaxial média 205 MPa (S_1); **ZG3**: granito porfiróide essencialmente biotítico, pouco alterado (W_{1-2}) com um grau de fracturação elevado a muito elevado (F_3 a F_{4-5}), com uma resistência à compressão uniaxial média 140 MPa (S_2);
- Material-rocha granítico que em termos de fracturação apresenta um espaçamento elevado a muito elevado [F_{4-5}]; sendo de registar com alguma relevância em alguns sectores da pedreira o espaçamento do tipo [F_3];
- Globalmente o maciço pode ser classificado como granito medianamente alterado [W_3] e, em alguns sectores, como pouco alterado [W_{1-2}]; em algumas zonas superficiais e na parte Sul da pedreira, patenteia um grau de alteração muito acentuado [W_{4-5}];
- O maciço, na parte leste da pedreira (zona de britagem e instalações diversas), apresenta boas características, em termos de qualidade geotécnica e geomecânica, equivalentes à área prospectada e referenciada como Zona Geotécnica 2 (anexo 3). Esta parte do maciço,

praticamente virgem em termos de exploração, poderá ser encarada como uma possível solução para futura expansão da pedreira. Consequentemente, a zona de britagem poderia ser deslocada para a parte SW do maciço (Zona Geotécnica 1, anexo 3), visto este apresenta menor qualidade geotécnica e a configuração do terreno.

Em face do exposto, tendo em consideração os objetivos deste trabalho, recomenda-se que estudos futuros incidam sobre:

- Prospeção geológica de superfície, recorrendo nomeadamente a estudos de cartografia geológico-estrutural quer a escalas convenientes, quer da área dos maciços circunvizinhos;
- Prospeção geotécnica exploratória das áreas adjacentes à pedreira, nomeadamente das partes oeste e sul, com vista à caracterização da cartografia geotécnica de superfície para uma correta avaliação do georrecurso.

6. Referências

(página propositadamente em branco)

6. Referências

- Aires-Barros L. (1991). Alteração e alterabilidade de rochas. Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa. 384 p.
- Al-Harathi A.A. & Abo-Saada Y.E. (1997). Wadi natural aggregates in western Saudi Arabia for use in concrete. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 55:125-135
- Al-Harathi A.A. (2001) A field index to determine the strength characteristics of crushed aggregate *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 60:193-200.
- Ballivy G. & Dairy M. (1984). The mechanical behaviour of aggregates related to the physicommechanical properties of rocks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 29:339-342
- Batista P. (2016). Estudos de desvios de perfuração com inclinómetro digital na pedreira das Monteiros (Castro Daire, NW de Portugal): uma breve nota. 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. 405 – 412.
- Bell F.G. (1992). *Engineering in rock masses*. Butterworth-Heinemann Ltd., London. 580 p.
- Brady B.H.G. & Brown E.T. (2004). *Rock mechanics for underground mining*. 3rd Edition, George Allen & Unwin, London. 527 p.
- Brown E.T. (1991). Da teoria à prática em mecânica das rochas. *Ingenium, Revista da Ordem dos Engenheiros*, 48 (Ano IV):9-29.
- Cabral J. & Ribeiro A. (1988). Carta Neotectónica de Portugal Continental, escala 1/1000000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Cabral J. (1995). Neotectónica em Portugal Continental. *Mem. Inst. Geol. Min., Lisboa*, 31:1-256.
- Cargill J.S. & Shakoor A. (1990). Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial compressive strength of rock *Int J Rock Mech Min Sci & Geomech Abstr*, 53:97-103.
- Carvalho J.M. (1996). Mineral water exploration and exploitation at the Portuguese Hercynian massif. *Environmental Geology*, 27:252-258.
- Carvalho J.M.; Plasencia N.; Chaminé H.I.; Rodrigues B.C.; Dias A.G. & Silva, M.A. (2000). Recursos hídricos subterrâneos em formações cristalinas do Norte de Portugal. In: Samper, J.; Leitão, T.; Fernández, L. & Ribeiro, L. (eds.). *Jornadas Hispano-Lusas sobre 'Las Aguas Subterráneas en el Noroeste de la Península Ibérica'*. Textos de las Jornadas, Mesa Redonda y Comunicaciones, A

-
- Coruña. AIH-GE & APRH. Publicaciones ITGE, Madrid. p. 163-171.
- Carvalho J.M., Espinha Marques J., Afonso M.J. & Chaminé H.I. (2007). Prospecção e pesquisa de recursos hidrominerais e de água de nascente no Maciço Antigo Português. *Boletim de Minas*, 42(2):161-196.
- CFCFF - Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow (1996). *Rock fractures and fluid flow: contemporary understanding and applications*. National Research Council, National Academy Press, 568 p.
- Chaminé H.I. & Gaspar A.F. (1995). Estudo da compartimentação de maciços rochosos pela técnica de amostragem linear. Aplicação a uma travessa da Mina de Carvão de Germunde Estudos, *Notas & Trabalhos Inst. Geol. Min., Porto*, 37:97-111.
- 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: Engenheiro, Docente, Empreendedor*. Edição do Departamento de Engenharia Geotécnica / Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, Instituto Superior de Engenharia do Porto. p. 296-344.
- 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.
- Chaminé H.I.; Dias A.G. & Dinis da Gama C. (2001). Estudo geológico e geomecânico do maciço granítico de Lamoso (Paços de Ferreira, NW de Portugal). *Geociências, Rev. Univ. Aveiro*, 15:79-92.
- Conde M.C., Dinis da Gama C. & Lopes M. G. (2004). Correlação entre o comportamento mecânico de agregados e das rochas originais. In: *Actas do 9º Congresso Nacional de Geotecnia*, 1:141-150.
- Davis G. & Reynolds S.T. (1996). *Structural geology of rocks and regions*. 2nd ed., John Wiley & Sons. 776 p.
- Davis J. (1986). *Statistics and data analysis in geology*. 2nd edition. John Wiley & Sons. 645 p.

-
- Dearman W.R. (1991). Engineering geological mapping. Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Dias G.; Noronha F. & Ferreira N. [eds.] (2000) Variscan plutonism in the Central-Iberian Zone, Northern Portugal Eurogranites'2000 Field Meeting Guide Book, UM/FCUP/IGM.
- Dinis da Gama C. (1995). Aspectos geotécnicos y de fracturación en la explotación de canteras. In: López Jimeno, C. (Ed.). Cap. 10 del Manual de Rocas Ornamentales. Entorno Gráfico. S.L., Madrid, pp. 231-246.
- Dinis da Gama C., Arrais C. & Santos C. (1992). Dimensionamento racional de suportes em minas de carvão. Geotecnia, Revista da Associação Portuguesa de Geotecnia, Lisboa, 66: 45-62.
- E.I.A. – Estudo de Impacto Ambiental (2004). Estudo de Impacto Ambiental da Pedreira nº 5750 – Monteiras Relatório da AIPGN, Porto. 291 p. 5 anexos. (relatório inédito).
- Espinha Marques J., Chaminé H.I., Fonseca P.E., Gomes A., Teixeira J., Carvalho J.M., Marques J.M., Aires-Barros L. & Borges F.S. (2004). Aplicação da técnica de amostragem linear para estudo da compartimentação do maciço rochoso do sistema termomineral de Caldas do Moledo (Peso da Régua): implicações para a rede de fracturação regional. Geociências Rev. Univ. Aveiro, 16:53-60.
- F.P.M. – Francisco Pereira Marinho & Irmãos, SA (2004a). Caracterização geológica e geotécnica preliminar do Maciço Granítico da Pedreira Nº 5750 – Monteiras (Castro Daire). 15 p. (relatório inédito).
- F.P.M. – Francisco Pereira Marinho & Irmãos, SA (2004b). Caracterização geológica, geotécnica e geomecânica do maciço granítico da Pedreira Nº 5750 – Monteiras (Coira D'Além, Castro Daire). 41 p. (relatório inédito).
- Ferrer M., González de Vallejo L. [eds.] (2007). Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos. 2 Edición. Publicaciones ITGE, Madrid.
- Galiza A.C., Ramos L., Fonseca L., Teixeira J. & Chaminé H.I. (2011). O papel da geotecnia mineira na otimização do desmonte de maciços rochosos fraturados. Boletim de Minas, DGEG, Lisboa, 46(2):103-120.
- Gonzalez de Vallejo L.I. & Ferrer M. (2011). Geological engineering. CRC Press, Taylor-Francis group, 725 p.
- Gonzalez de Vallejo L.I., Ferrer M., Ortuño L. & Oteo C. [coords.] (2002). Ingeniería geológica Prentice Hall, Madrid, 715 p.

-
- GSE [Geological Society Engineering Group Working Party Report] (1995). The description and classification of weathered rocks for engineering purposes. *Quarterly Journal of Engineering Geology, Geological Society*, 28(3):207-242.
- Hart D.J. & Wang H.F. (1995). Laboratory measurements of a complete set of poroelastic moduli for Berea Sandstone and Indiana Limestone. *J. Geophys. Res.*, 100(9):17741-1751.
- Hoek E. (2007). *Practical rock engineering*. RocScience: Hoek's Corner, 342 p.
- Hucka V. (1965). A rapid method of determining the strength of rocks in situ. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 2:127-134.
- Hudson J.A. & Priest S.D. (1983). Discontinuity frequency in rock masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 20:73-89.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics (1978). Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 15(6):319-368.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics (1980). Rock characterization, testing and monitoring: ISRM suggested methods. In: Brown E.T. (ed.), suggested methods prepared by the Commission on Testing Methods, ISRM. Pergamon Press, 211 p.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics (1981). Basic geotechnical description of rock masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 18:85-110.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics (1987). Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 15:89-97.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics (2007). The complete ISRM suggested methods for characterization, testing and monitoring: 1974-2006. In: Ulusay R. & Hudson J.A., eds., suggested methods prepared by the commission on testing methods, ISRM. Ankara, Turkey. 628 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, Cham, Heidelberg. 293 p.
- Kahraman S. (2001). Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 38:981–94.
- Kahraman S., Fener M. & Gunaydin O. (2002). Predicting the Schmidt hammer values of in-situ intact rock from core sample values. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 39:395-399.

-
- Katza O.; Rechesa, Z. & Roegiersc J.-C. (2000). Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt Hammer. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 37:723-728.
- Kazi A. & Al-Molki M.E. (1982). Empirical relationship between Los Angeles abrasion and aggregate impact value tests. In: *Proceedings 4th Congress International Association Engineering Geologist*, 6:293-299
- Kolaiti E. & Papadopoulos Z. (1993). Evaluation of Schmidt rebound hammer testing: a critical approach. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 48:69-76.
- Lamas L.N. (1989). Estudo da compartimentação de maciços rochosos por uma técnica de amostragem linear e dos blocos formados pelas descontinuidades: aplicação a uma galeria do Alto Lindoso. In: *Actas do 3^o Congresso Nacional Geotecnia, Sociedade Portuguesa de Geotecnia*, 3:C33-C44.
- Mahé S. Gasc-Barbier M. & Soliva R. (2015). Joint set intensity estimation: comparison between investigation modes. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 74(1):171-180.
- Martins M.E.R. (1997). *Geologia, petrologia e geoquímica dos granitóides hercínicos da região de Lamego (Norte de Portugal) Universidade de Aveiro*. 287 p. (Tese de doutoramento).
- Martins R., Moreira P., Pereira C.S., Neto E. Pereira A.M., Teixeira J., Vieira A. & Chaminé H.I. (2006). A técnica de amostragem linear aplicada a estudos de compartimentação de maciços rochosos no norte de Portugal. In: *Actas do 10^o Congresso Nacional de Geotecnia. Sociedade Portuguesa de Geotecnia / Univ. Nova de Lisboa*, 1:255-264.
- Matos Fernandes M. (2000). Eurocódigo 7: questões essenciais e ponto da situação. In: *Actas do VII Congresso Nacional de Geotecnia, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*. http://civil.fe.up.pt/pub/apoio/ano4/ms2/ano4_ms2_files/paper_CongGeot_2000.htm
- Mello Mendes F. (1967-68). *Mecânica das rochas*. Instituto Superior Técnico. Lisboa. 541 p.
- Moreira P. (2005). Estudo da compartimentação do maciço granítico da pedreira de Monteiras (Castro Daire) e área envolvente: uma caracterização geológica, geotécnica e geomecânica. Relatório de Projecto/Estágio de Final de Licenciatura, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 113 p. (relatório inédito).
- NP EN 1702-2 (2002). Resistência à fragmentação – Coeficiente de Los Angeles, Marcação CE Directiva 89/106/CE
- Palmström A. & Stille H. (2010). *Rock engineering*. Thomas Telford Ltd., 408 p.
- Palmström A. (1995). RMI – a rock mass characterization system for rock engineering purposes. University of Oslo, 400 p. (PhD Thesis).

-
- Peacock D.C.P., Harris S.D. & Mauldon M. (2003). Use of curved scanlines and boreholes to predict fracture frequencies *J. Struct. Geol.*, 25:109-119.
- Pereira J.C.P. (1985). Caracterização geotécnica de maciços rochosos. Universidade Nova de Lisboa. 404 p. (dissertação de mestrado).
- Priest S.D. & Hudson J.A. (1981). Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, 18:183-197.
- Priest S.D. (1993). Discontinuity analysis for rock engineering. Kluwer Academic Publishers. 473 p.
- Ribeiro A., Munhá J., Dias R., Mateus A., Pereira E., Ribeiro L., Fonseca P.E., Araújo A., Oliveira J.T., Romão J., Chaminé H.I., Coke C. & Pedro J. (2007). Geodynamic evolution of the SW Europe Variscides. *Tectonics*, 26:TC6009.
- Ribeiro A., Quesada C. & Dallmeyer R.D. (1990). Geodynamic evolution of the Iberian Massif. In: Dallmeyer, R. D. & Martínez-García, E. (Eds), *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg. p. 397-410.
- Rocha M. (1981). *Mecânica das Rochas* LNEC. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 445 p.
- Rocha M. (2013). *Mecânica das Rochas*. Edição no âmbito das comemorações do centenário do nascimento do Engenheiro Manuel Rocha - 1913-2013. LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 436 p.
- RSAAEP—Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (aprovado pelo decreto-lei nº235/83, de 31 de Maio) (2000). In: *Colecção Regulamentos*, Porto Editora. Anexo III- Elementos para quantificação da acção dos sismos, 4:87-96.
- Schmidt E. (1951). A non-destructive concrete tester. *Concrete*, 59(8):34-5.
- Sodré Borges (2002). *Geologia Estrutural*. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. (policopiado).
- Sousa Oliveira C., Sousa M.L. & Costa A.C. (1999). Contribuição para a revisão da acção sísmica em Portugal Continental no contexto do Eurocódigo 8. In: 4º encontro Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica/2^{ème} Rencontre en Génie Parasismique des Pays Méditerranées, Simica'99, Faro, Algarve, p. 153-164.
- Teixeira C., Medeiros A.C., Fernandes A.P. (1969). Notícia explicativa da Carta Geológica de Portugal, à escala 1/50000, folha 14-A (Lamego). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Anexos

(página propositadamente em branco)

Anexo 1

Levantamento topográfico

Anexo 2

Mapa Geológico da Pedreira de Monteiras

Anexo 3

Mapa Geotécnico da Pedreira de Monteiras

Anexo 4

Mapa de localização dos perfis

Anexo 5

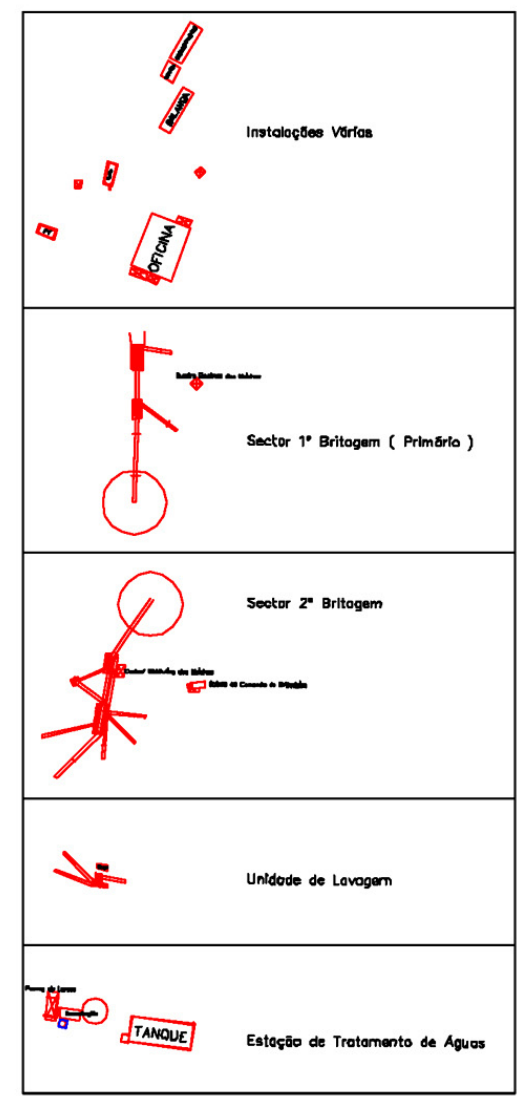
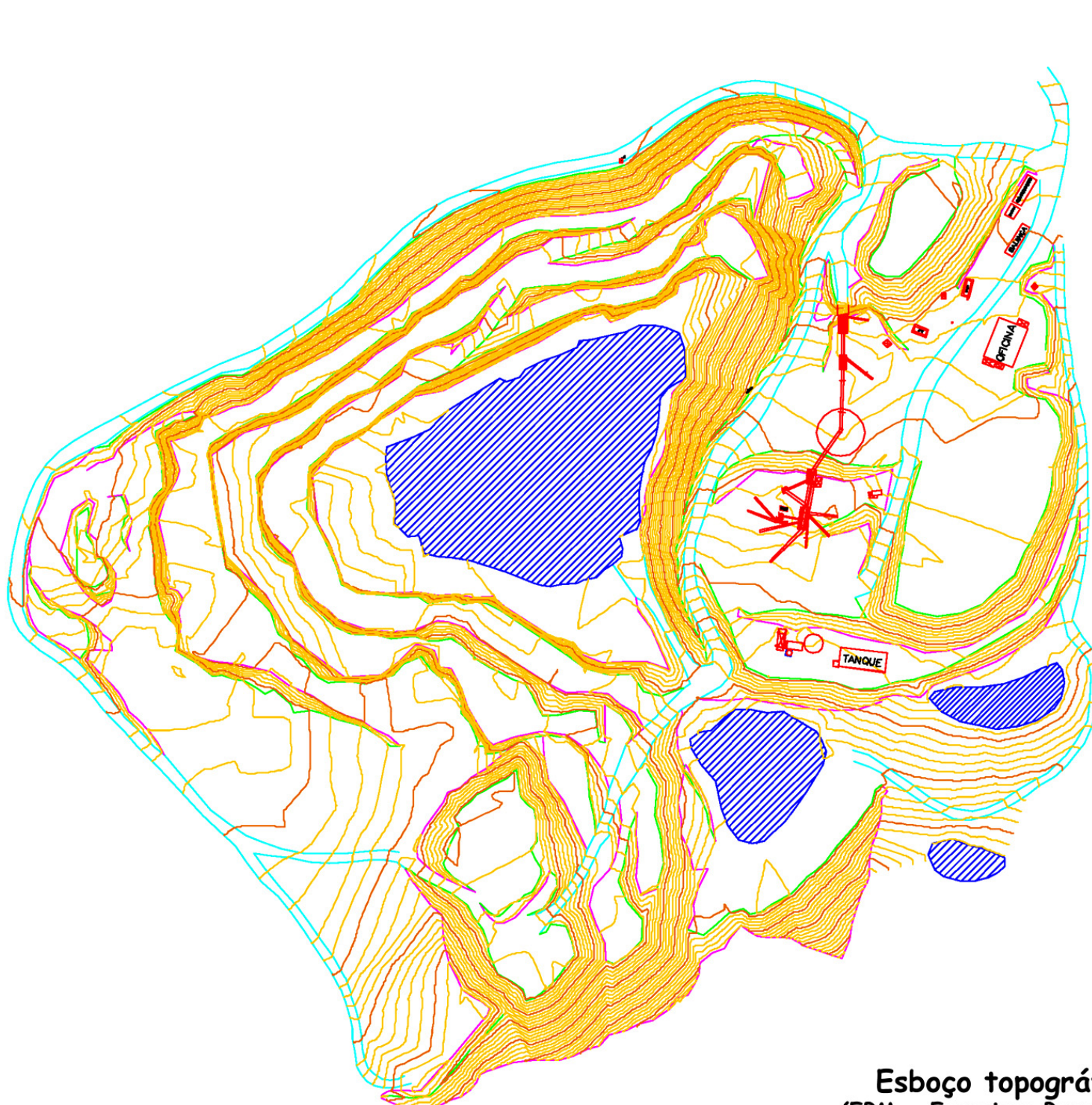
Diagramas de contorno estrutural

Anexo 6

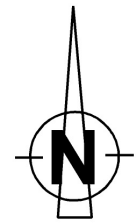
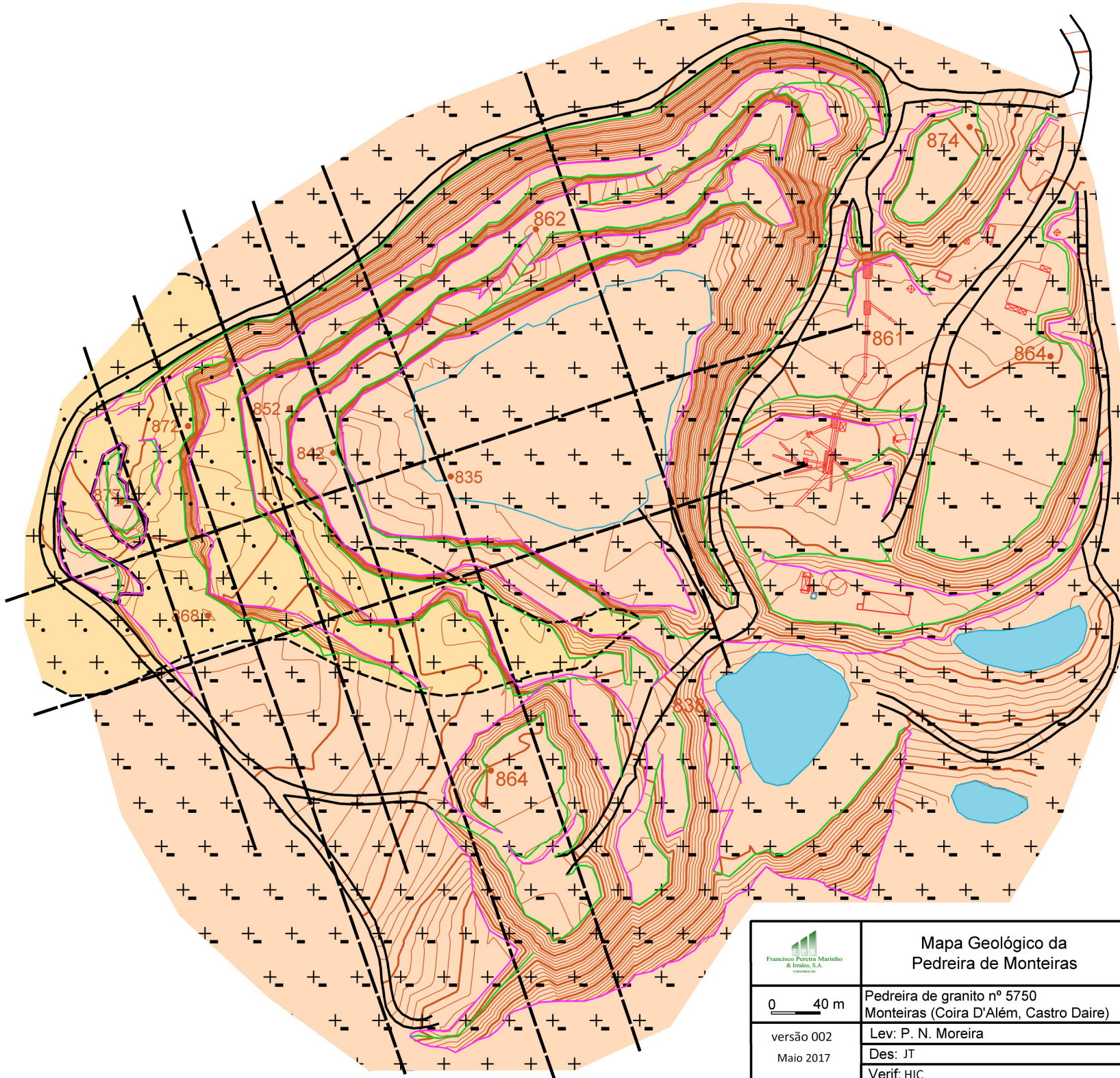
Diagramas roseta

Anexo 7

Mapa de localização das estações geomecânicas



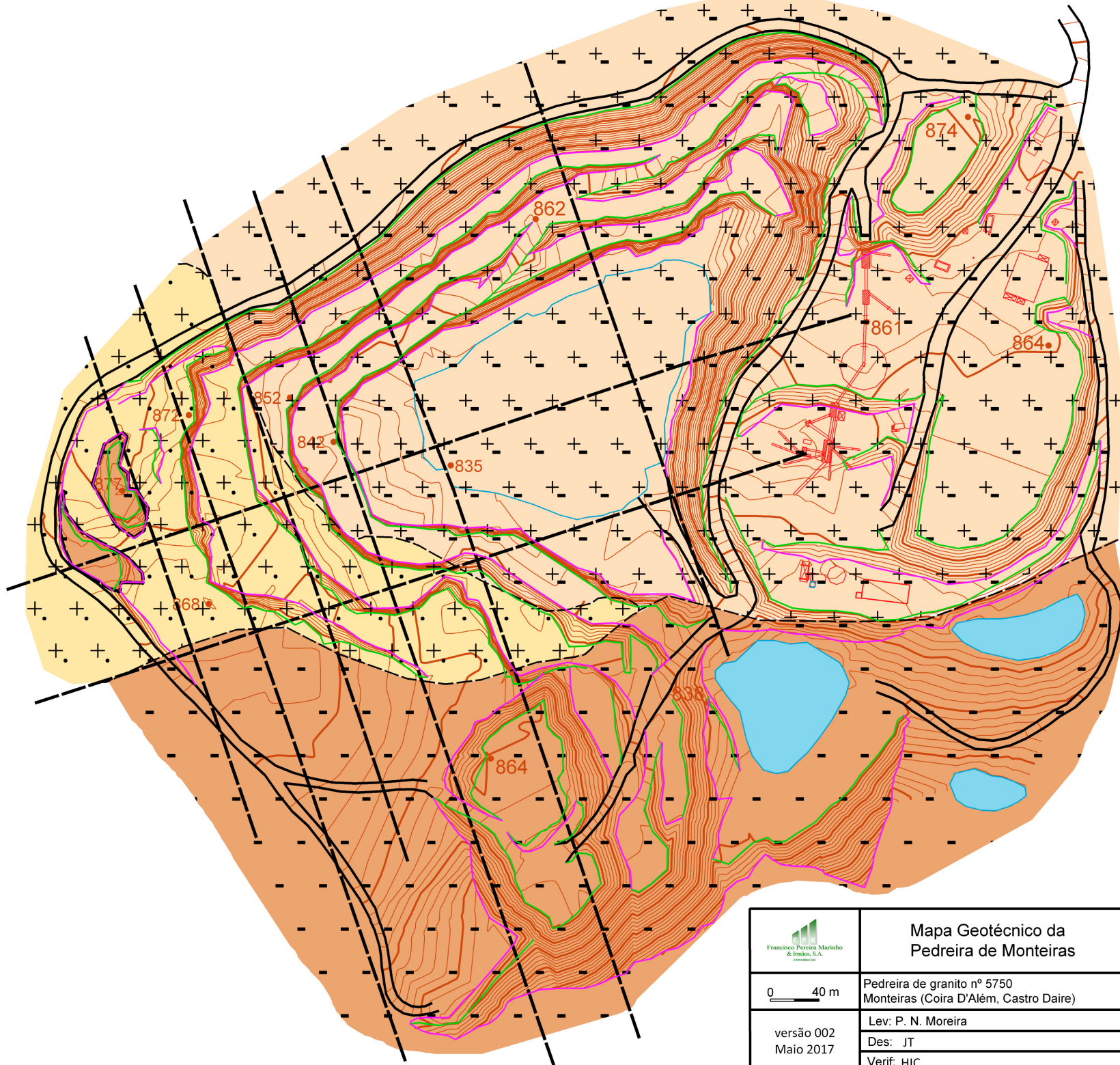
Esboço topográfico da Pedreira das Monteiras
 (FPM - Francisco Pereira Marinho & Irmãos, S.A. - Construção)











Rochas Graníticas	
	Granito de grão médio a fino, de duas micas
	Granito porfíroide de grão médio, essencialmente biotítico
	Falhas e lineamentos tectónicos
	842 • Pontos cotados
	Lagoas e tanques
	Instalações diversas

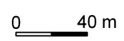
	Mapa Geológico da Pedreira de Monteiras
	Pedreira de granito nº 5750 Monteiras (Coira D'Além, Castro Daire)
versão 002	Lev: P. N. Moreira
Maio 2017	Des: JT
	Verif: HIC

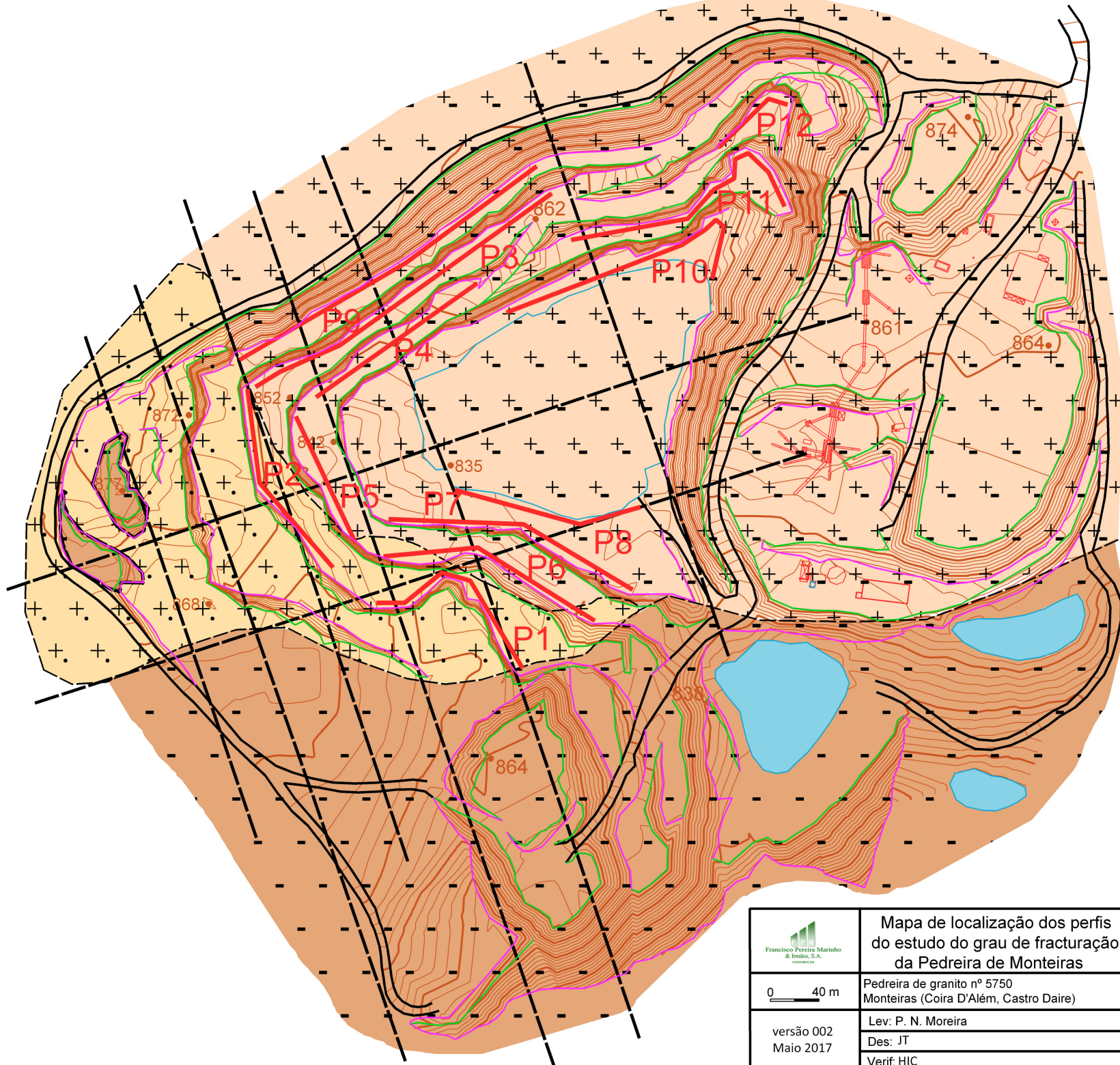
0 40 m






Unidades Geotécnicas	
	ZG1: Granito de duas micas medianamente alterado a muito alterado (W3 a W4-5)
	ZG2: Granito de grão médio a fino, de duas micas; pouco alterado (W1-2) com grau de fracturação elevado a muito elevado (F3 a F4-5); resistência à compressão uniaxial média elevada a muito elevada (S1; 205MPa)
	ZG3: Granito porfiróide de grão médio, essencialmente biotítico; pouco alterado (W1-2) com grau de fracturação elevado a muito elevado (F3 a F4-5); resistência à compressão uniaxial média elevada (S2, ≈140 MPa)
	Falhas e lineamentos tectónicos
	842 • Pontos cotados
	Lagoas e tanques
	Instalações diversas


 Francisco Pereira Marinho & Irmão, S.A. <small>CONSTRUTORA</small>	Mapa Geotécnico da Pedreira de Monteiras
	Pedreira de granito nº 5750 Monteiras (Coira D'Além, Castro Daire)
versão 002 Maio 2017	Lev: P. N. Moreira Des: JT Verif: HIC








Unidades Geotécnicas


-  ZG1: Granito de duas micas medianamente alterado a muito alterado (W3 a W4-5)
-  ZG2: Granito de grão médio a fino, de duas micas; pouco alterado (W1-2) com grau de fracturação elevado a muito elevado (F3 a F4-5); resistência à compressão uniaxial média elevada a muito elevada (S1, ~205MPa)
-  ZG3: Granito porfíroide de grão médio, essencialmente biotítico; pouco alterado (W1-2) com grau de fracturação elevado a muito elevado (F3 a F4-5); resistência à compressão uniaxial média elevada (S2, ~140 MPa)


 P1 Perfis do estudo e levantamento do grau de fracturação

 Falhas e lineamentos tectónicos

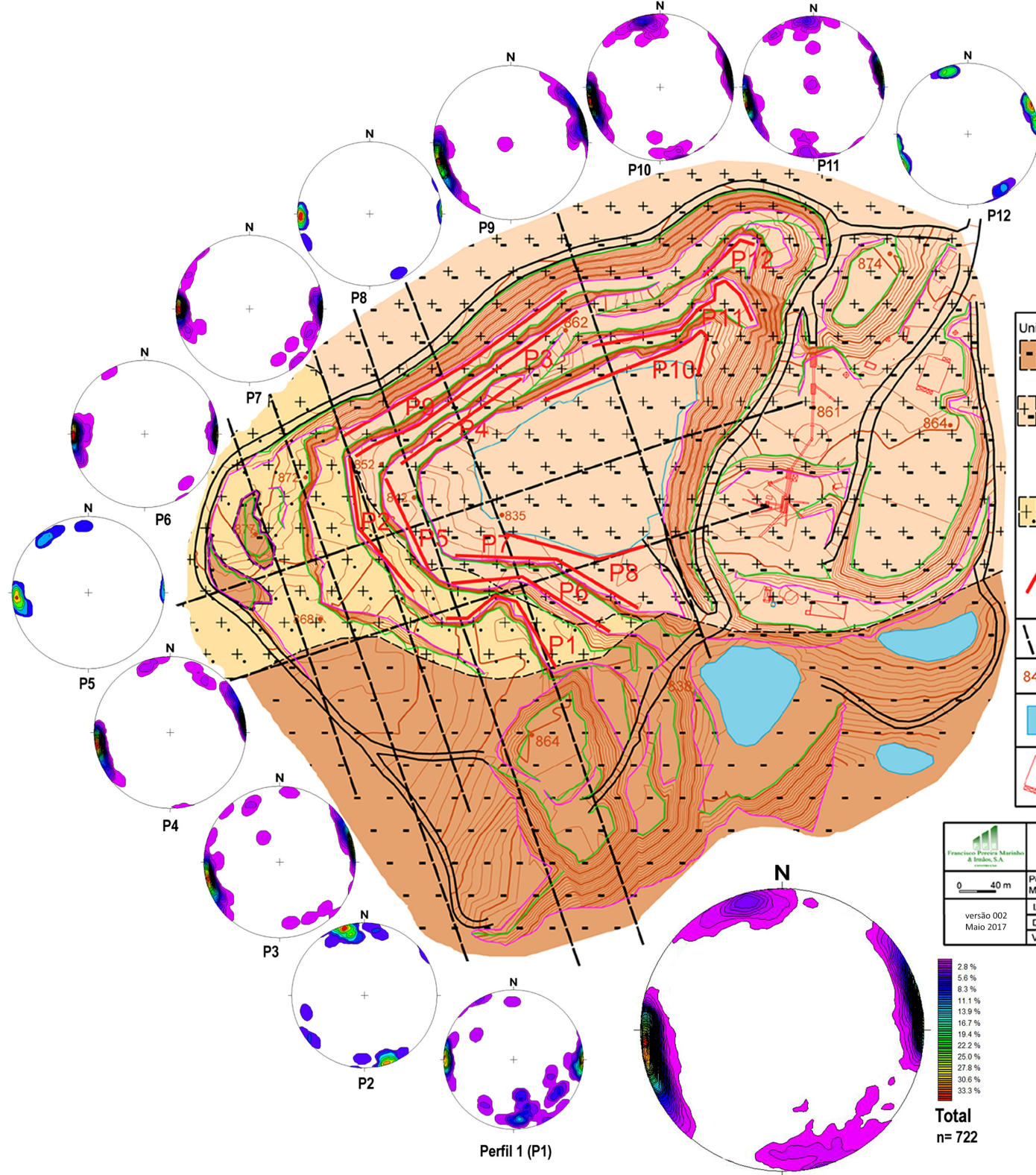
 842 • Pontos cotados

 Lagoas e tanques

 Instalações diversas

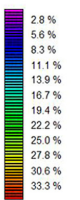
 Francisco Pereira Marinho & Irmãos, S.A. GEOTÉCNICA	Mapa de localização dos perfis do estudo do grau de fracturação da Pedreira de Monteiras
	Pedreira de granito nº 5750 Monteiras (Coira D'Além, Castro Daire)
versão 002 Maio 2017	Lev: P. N. Moreira Des: JT Verif: HIC

0 40 m



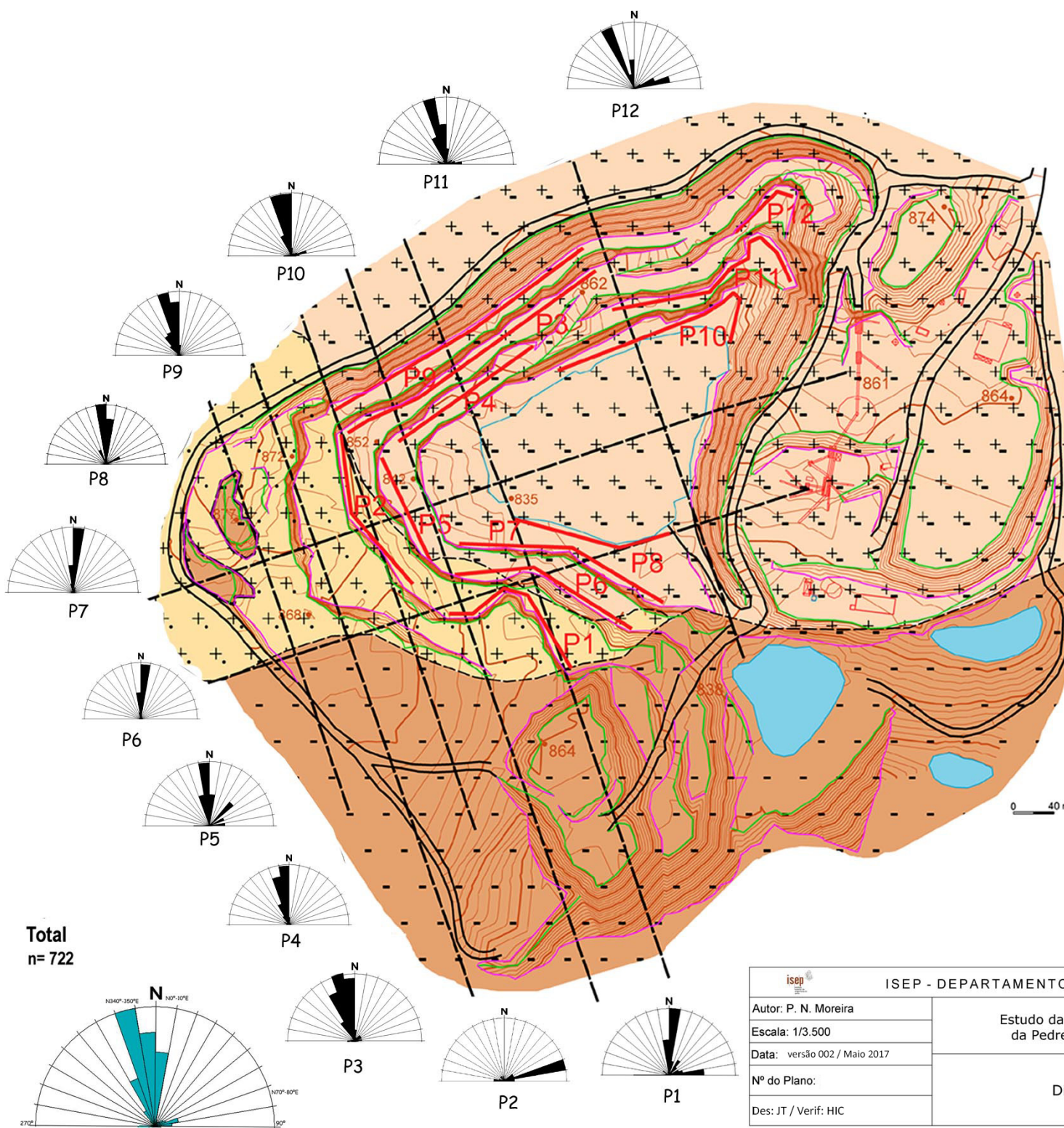
Unidades Geotécnicas	
	ZG1: Granito de duas micas medianamente alterado a muito alterado (W3 a W4-5)
	ZG2: Granito de grão médio a fino, de duas micas; pouco alterado (W1-2) com grau de fracturação elevado a muito elevado (F3 a F4-5); resistência à compressão uniaxial média elevada a muito elevada (S1 = 205MPa)
	ZG3: Granito porfíroide de grão médio, essencialmente biotítico; pouco alterado (W1-2) com grau de fracturação elevado a muito elevado (F3 a F4-5); resistência à compressão uniaxial média elevada (S2 = 140 MPa)
	P1 Perfis do estudo e levantamento do grau de fracturação
	Faixas e lineamentos tectónicos
	842 Pontos cotados
	Lagoas e tanques
	Instalações diversas

	Diagramas de contorno estrutural (Estereogramas)
	Pedreira de granito nº 5750 Monteiras (Coira D'Alem, Castro Daire)
	Lev: P. N. Moreira
	Des: JT Verif: HIC



Total
n= 722

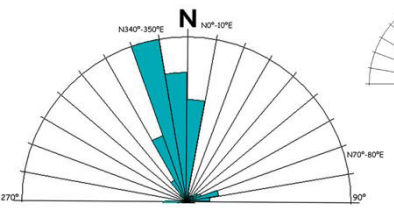
Perfil 1 (P1)



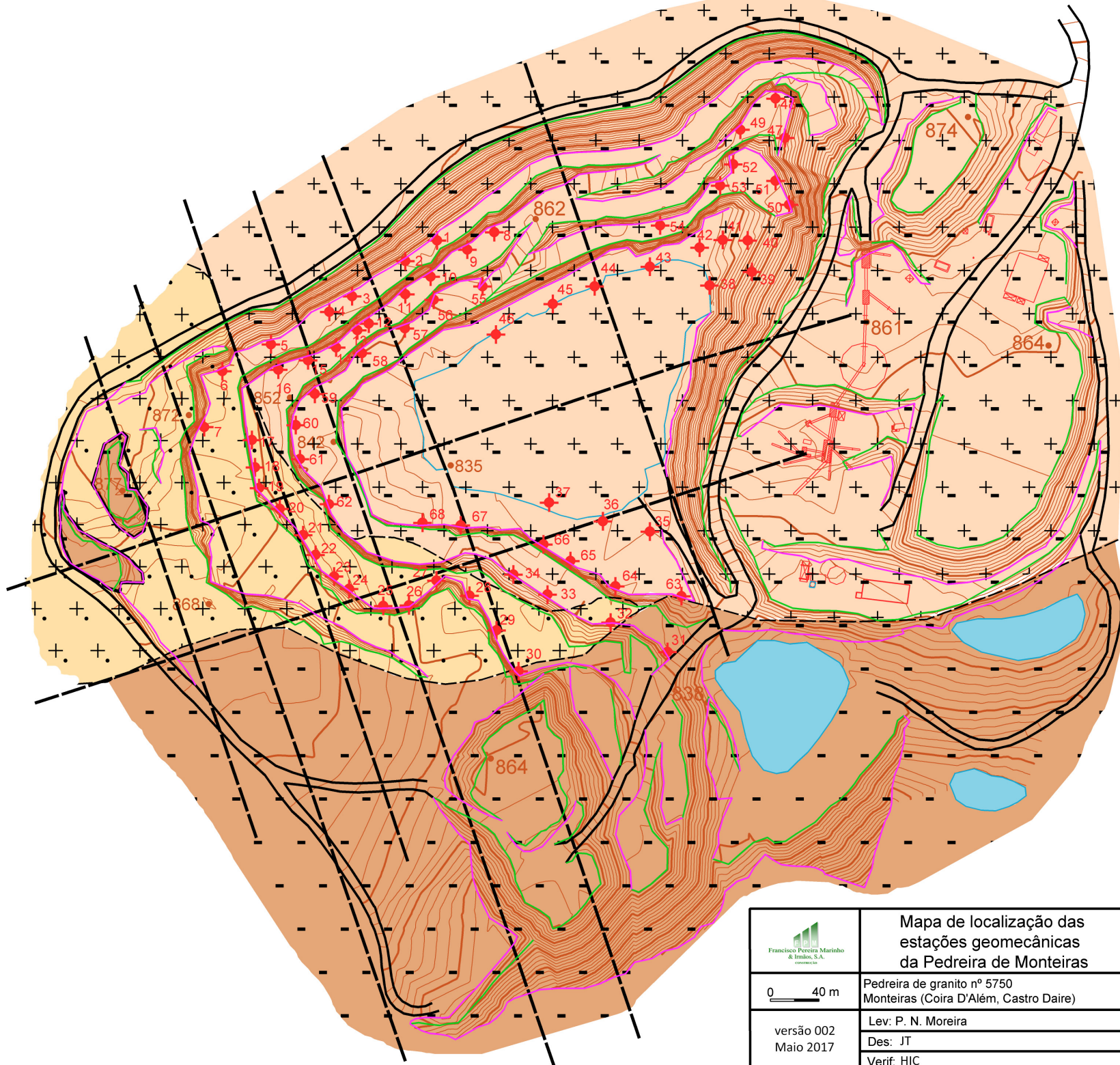
Unidades Geotécnicas









- ZG1: Granito de duas micas medianamente alterado a muito alterado (W3 a W4-5)
- ZG2: Granito de grão médio a fino, de duas micas; pouco alterado (W1-2) com grau de fracturação elevado a muito elevado (F3 a F4-5); resistência à compressão uniaxial média elevada a muito elevada (S1, ~205MPa)
- ZG3: Granito porfiróide de grão médio, essencialmente biotítico; pouco alterado (W1-2) com grau de fracturação elevado a muito elevado (F3 a F4-5); resistência à compressão uniaxial média elevada (S2, ~140 MPa)
- 1 Estações geomecânicas de ensaios esclerométricos (martelo de Schmidt)
- Limite geológico provável
- Falhas e lineamentos tectónicos
- 842 • Ponto cotado
- Lagoas e tanques
- Instalações diversas


Total
n= 722



ISEP - DEPARTAMENTO DE ENG^a GEOTÉCNICA	
Autor: P. N. Moreira Escala: 1/3.500 Data: versão 002 / Maio 2017 Nº do Plano: Des: JT / Verif: HIC	Estudo da compartimentação do maciço da Pedreira de Monteiras(N.º 5750) Diagramas de rosetas



Unidades Geotécnicas	
	ZG1: Granito de duas micas medianamente alterado a muito alterado (W3 a W4-5)
	ZG2: Granito de grão médio a fino, de duas micas; pouco alterado (W1-2) com grau de fracturação elevado a muito elevado (F3 a F4-5); resistência à compressão uniaxial média elevada a muito elevada (S1, ≈ 205MPa)
	ZG3: Granito porfíroide de grão médio, essencialmente biotítico; pouco alterado (W1-2) com grau de fracturação elevado a muito elevado (F3 a F4-5); resistência à compressão uniaxial média elevada (S2, ≈ 140 MPa)
	1 Estações geomecânicas de ensaios esclerométricos (martelo de Schmidt)
	Falhas e lineamentos tectónicos
	842 Pontos cotados
	Lagoas e tanques
	Instalações diversas

	Mapa de localização das estações geomecânicas da Pedreira de Monteiras
	Pedreira de granito nº 5750 Monteiras (Coira D'Além, Castro Daire)
0 40 m	Lev: P. N. Moreira
versão 002 Maio 2017	Des: JT
	Verif: HIC