



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Controlo e optimização da perfuração em desmonte de maciços rochosos fracturados: avaliação preliminar

José Manuel Monteiro Pinto



LGMC
LABORATÓRIO DE GEOTECNIA E MECÂNICA DOS SOLOS

POLITÉCNICO DO PORTO

2013



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

**Controlo e optimização da perfuração em desmonte de
maciços rochosos fracturados: avaliação preliminar**

José Manuel Monteiro Pinto

Nº 1950370

*Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente**, realizada sob a orientação do Doutor António Carlos Galiza, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.*

Júri

Presidente

Doutor Helder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé

Professor Coordenador com Agregação, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor António Carlos Reis Galiza Carneiro

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor João Paulo Meixedo dos Santos Silva

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Mestre Luís Carlos Correia Ramos

Assistente 2º Triénio convidado, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Mestre Luís Filipe Santos Fonseca

Director do Centro de Produção, MonteAdriano Agregados SA (grupo Elevo)

*A dissertação de **mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente (MEGG)** foi defendida em prova pública, pelo Licenciado José Manuel Monteiro Pinto, no Auditório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Geotécnica (ISEP) em 06 de Novembro de 2013 mediante o júri nomeado, em que foi atribuída, por unanimidade, a classificação final de **17 (dezassete) valores**, cuja fundamentação se encontra em acta.*

O Director do MEGG/ISEP

*Dedico esta tese à minha família, pela compreensão
que sempre manifestou ao longo destes anos de estudo,
atendendo à fase em que os reiniciei.*

Agradecimentos

Quero expressar os meus agradecimentos e reconhecimento por todos aqueles que contribuíram para que fosse possível a execução deste trabalho e em particular:

Ao Doutor António Carlos Galiza (DEG-ISEP), Professor Adjunto, orientador do presente trabalho, pelo ensinamento, pelas sugestões, pela transmissão do interesse e importância sobre o assunto deste trabalho.

Ao Eng.º Luís Carlos C. Ramos (DEG-ISEP), Assistente Convidado, pelo apoio e acompanhamento que dedicou a este trabalho.

À Empresa da SecilBritas S.A., que permitiu a realização deste trabalho nas suas instalações e que disponibilizou recursos materiais e humanos sempre que solicitada, foram de facto de um contributo excepcional.

Aos Eng.ºs João Ribeiro e Sérgio Moreira da SecilBritas de Joane em Famalicão, pelo acolhimento e boa vontade sempre demonstradas ao longo das nossas estadias na pedreira.

Aos colaboradores da SecilBritas, pela colaboração nos trabalhos realizados, solícitos sempre que necessário.

Ao Eng.º Pedro Batista da ORICA, pela colaboração, pelas sugestões, pela disponibilidade e pelo ensinamento relativo aos ensaios Boretrak e Laser.

Ao Eng.º Rogério Pinheiro do Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção (LGMC) do ISEP, pelo apoio na realização dos ensaios realizados.

Ao Prof. Doutor José Teixeira do Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (LABCARGA), pelo apoio no tratamento cartográfico e de georreferenciação de terreno dos estudos realizados.

À minha colega de curso Eng.ª Catarina Dias, pela partilha demonstrada nestes últimos meses em que trabalhamos em conjunto.

Palavras-chave

Maçiços Rochosos, Geomecânica, Perfuração, Desvios, Optimização.

Resumo

O presente trabalho tem por objectivo contribuir para aprofundar o conhecimento da temática que envolve a qualidade de execução da perfuração em maciços rochosos fracturados. A necessidade de conhecimento prévio sobre os resultados que podem ocorrer no desmonte de maciços rochosos após a realização da perfuração, leva a uma procura de indicadores que possibilitem obter mais conhecimento nessa matéria. No encadeamento do processo de análise de projecto, está o conhecimento adquirido, a caracterização do maciço rochoso, a implementação de correcções na componente da perfuração ajustadas ao maciço estudado e uma potencial previsão de granulometria final por emergência de um índice de qualidade, “Índice de Dispersão Volumétrica” que correlacione os elementos constituintes da geometria do diagrama de fogo e da envolvente intrínseca da matriz rochosa e aponte uma expectável granulometria final. Para atingir um nível de qualidade na operação global do processo de desmonte, a perfuração que está no topo da pirâmide assume papel de guia para as seguintes etapas, pelo que a qualidade dos equipamentos e acessórios e a sua correcta operação são fundamentais para obter o rigor da perfuração projectada, com vista a atingir uma determinada granulometria.

Keywords

Rock masses, Geomechanics, Drilling, Deviations, Optimization.

Abstract

The present work aims to contribute to greater understanding of the topic that involves the quality of drilling execution in fractured rock masses. The need for prior knowledge of the results that may occur in rock masses blast after drilling, leads to a demand for indicators in order to obtain more knowledge on this subject. In chaining process analysis project is the knowledge acquired, the characterization of the rock mass, the implementation of the corrections in drilling studied and adjusted to the massive potential for predicting final particle size emergence of a Quality Score, "Index Volumetric scattering" that correlates the constituent elements of geometry diagram fire and surrounding rock matrix and the intrinsic point particle size expected at the end. To achieve a level of quality in the overall operation of the process of dismantling, drilling is at the top of the pyramid and assumes a leadership role for the following steps, so that the quality of equipment and accessories and their proper operation are essential to achieve the accuracy of drilling planned in order to achieve a certain particle size.

Índice

CAPÍTULO I	11
1. INTRODUÇÃO GERAL	13
1.1. ÂMBITO	13
1.2. ENQUADRAMENTO	13
1.3. OBJECTIVOS	15
1.4. MATERIAIS E MÉTODOS	16
CAPÍTULO II	23
2. DESCRIÇÃO E DESMONTE DE MACIÇOS ROCHOSOS	25
2.1. METODOLOGIA E SISTEMÁTICA	25
2.1.1. INTRODUÇÃO	25
2.2. CARACTERIZAÇÃO DA MATRIZ ROCHOSA	28
2.2.1. MARTELO DE SCHMIDT	29
2.2.2. ENSAIO DE CARGA PONTUAL (Point Load test).....	33
2.3. DESCRIÇÃO DAS DESCONTINUIDADES	34
2.3.1. COMPORTAMENTO DO MACIÇO ROCHOSO NA PRESENÇA DE DESCONTINUIDADES. 34	
2.3.2. TIPOS DE DESCONTINUIDADES	35
2.3.3. PROPRIEDADES GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS DAS DESCONTINUIDADES	37
2.3.4. TÉCNICA DE AMOSTRAGEM LINEAR	47
2.4. PARÂMETROS DO MACIÇO ROCHOSO	51
2.5. DESMONTE DE MACIÇOS ROCHOSOS	56
2.5.1. GENERALIDADES.....	56
2.6. DESVIOS NA PERFURAÇÃO	61
2.6.1. CARACTERIZAÇÃO DO TIPO DE DESVIOS QUE OCORREM NA PERFURAÇÃO	63
2.6.2. PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM A AMPLITUDE DOS DESVIOS DA PERFURAÇÃO	67
2.7. FERRAMENTAS DE EXECUÇÃO	68
2.7.1. EQUIPAMENTOS DE PERFURAÇÃO.....	68
2.7.2. ACESSÓRIOS DE PERFURAÇÃO	71
2.8. GEOMETRIA DO DIAGRAMA DE FOGO	72
2.8.1. DIÂMETRO DO FURO.....	72
2.8.2. COMPRIMENTO DO FURO.....	73
2.8.3. INCLINAÇÃO DO FURO	73
2.9. OUTROS PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO - OPTIMIZAÇÃO DO DIAGRAMA DE FOGO	74
2.9.1. ENSAIO DE FRIABILIDADE “BRITTLINESS TEST”	74
2.9.2. DRILLING RATE ÍNDEX (DRI).....	75
2.9.3. OPERADOR DE EQUIPAMENTOS	76
2.9.4. LIMPEZA DA BANCADA.....	76
2.9.5. MEDIÇÃO DOS DESVIOS	76
2.9.6. SCANNER DE VARRIMENTO LASER DA FRENTE DA BANCADA.....	78
CAPÍTULO III	81
3. PERFURAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS	83
3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	83
3.2. ENQUADRAMENTO DA PEDREIRA	87
3.2.1. COMPLEXO DE PRODUÇÃO DAS PEDREIRAS DA SECILBRITAS EM FAMALICÃO	91

3.3. PARÂMETROS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS - GENERALIDADES	92
3.3.1. CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL ROCHOSO	93
3.3.2. RESUMO DA CARATERIZAÇÃO DOS PAINÉIS EM ANÁLISE	94
3.3.3. CARATERIZAÇÃO GEOMECÂNICA DOS PAINÉIS – ENSAIOS DE RESISTÊNCIA.....	98
3.3.4. ENSAIOS DE PERFURABILIDADE.....	102
3.4. DESVIOS DOS FUROS RESULTANTES DA PERFURAÇÃO	103
3.4.1. DESVIOS OCORRIDOS PELO EMBOQUILHAMENTO.....	105
3.4.2. DESVIOS OCORRIDOS PELA FLEXÃO	106
3.5. RESULTADOS OBTIDOS NO EMBOQUILHAMENTO	107
3.5.1. BREVE ANÁLISE CONJUNTA PELOS DOIS TIPOS DE ERROS.....	108
3.5.2. EMBOQUILHAMENTO.....	111
3.5.3. LIMPEZA DA BANCADA.....	111
3.5.4. REGULARIDADE DA BANCADA.....	114
3.6. ANÁLISE AO RESULTADO DA PERFURAÇÃO.....	115
3.6.1. BREVE ANÁLISE AO DESMONTE	117
3.6.2. FUNDAMENTAÇÃO DA ANÁLISE AOS DESVIOS – INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS.....	119
3.6.3. ANÁLISE À PRECISÃO E DISPERSÃO	122
3.7. PROPOSTA DE CORREÇÃO AOS DESVIOS	125
3.7.1. IMPLEMENTAÇÃO DA PROPOSTA DE CORREÇÃO DOS DESVIOS NA PERFURAÇÃO... ..	127
3.7.2. EQUIPAMENTOS E ACESSÓRIOS	128
3.8. DESCRIÇÃO DOS TRABALHOS	131
3.9. AVALIAÇÃO DE RESULTADOS	136
CAPÍTULO IV.....	149
4. CONCLUSÕES	151
4.1. CONCLUSÕES.....	151
4.2. PERSPECTIVAS FUTURAS	154
CAPÍTULO V.....	155
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	157

Anexos (ver CD-ROM)

Anexo I - Fichas de levantamento geológico e geomecânico dos Painéis 2 e 3.

Anexo II - Fichas de levantamento geomecânico dos Painéis 2 e 3.

Anexo III - Fichas de leitura dos ensaios Boretrak aos furos dos Painéis 2 e 3.

Índice de Figuras

<i>Figura 1 - Esquema do dispositivo para levantamento de descontinuidades pela técnica de amostragem linear em superfícies expostas do maciço rochoso (adaptado de Singhal & Gupta 2010). D – distância à origem da fita graduada (“scanline”); L – semi-comprimento exposto.</i>	17
<i>Figura 2 - Exemplo de aplicação da base de dados dinâmica, ScanGeoData BGD.</i>	18
<i>Figura 3 - Exemplo de aplicação da base de dados SchmidtData UCS desenvolvida para maciços rochosos fracturados (Fonseca et al., 2010).</i>	20
<i>Figura 4 - Equipamento de medição dos desvios de perfuração [Boretrak], a) Equipamento de Varas, b) Equipamento de Cabo (adaptado de MDL, 2010).</i>	20
<i>Figura 5 - Ficha-tipo de recolha dos ensaios com o Martelo de Schmidt (Fonseca et al., 2010).</i>	31
<i>Figura 6 - Ábaco de Miller (adaptado de González de Vallejo & Ferrer, 2011).</i>	32
<i>Figura 7 - Equipamento utilizado para a realização do ensaio de carga pontual (PLT)</i>	33
<i>Figura 8 - Formas e relação das dimensões dos provetes a satisfazer nos ensaios de carga pontual (PLT) (adaptado de ISRM, 1985)</i>	34
<i>Figura 9 - Face exposta de afloramento rochoso granito da pedreira de Fornelo da Empresa MonteAdriano Agregados (ElevoGroup). (Imagem obtida em Agosto de 2012 pelo autor da tese).</i>	35
<i>Figura 10 - Tipos de Descontinuidades (adaptado de ISRM, 1981; G. Vallejo et al., 2011)</i>	36
<i>Figura 11 - Breve descrição dos Tipos de Descontinuidades (adaptado de ISRM 1978, Rocha 1981; G. Vallejo e Mercedes Ferrer, 2011)</i>	37
<i>Figura 12 - Representação esquemática das propriedades geológico-geotécnicas das descontinuidades (adaptado de Hudson & Harrison, 2000).</i>	38
<i>Figura 13 - Quadro esquemático, representativo das principais características geológico-geotécnicas das descontinuidades (adaptado de Gonzalez de Vallejo et al., 2002) (ISRM, 1978, 1981)</i>	39
<i>Figura 14 - Espaçamento medido entre descontinuidades na face exposta do maciço rochoso (adaptado de ISRM, 1981; Gonzalez de Vallejo et al., 2002)</i>	41
<i>Figura 15 - Esquematização das definições das aberturas das descontinuidades (adaptado ISRM,1978).</i>	42
<i>Figura 16 - Esquema do dispositivo para levantamento de descontinuidades pela técnica de amostragem linear em superfícies expostas do maciço rochoso (adaptado de Singhal & Gupta 2010). D - distância à origem da fita graduada (“scanline”); L - semi-comprimento exposto.</i>	48
<i>Figura 17 - Ficha-tipo de levantamento geológico-geomecânico de campo com aplicação da técnica de amostragem linear (Fonseca et al., 2010).</i>	50
<i>Figura 18 - Diagramas geológico-estruturais sinópticos produzidos com auxílio de programas geoinformáticos. a) Diagrama de roseta mostra as direcções das descontinuidades medidas. b) Diagrama de contorno estrutural mostrando a distribuição dos pólos das descontinuidades medidas.</i>	52
<i>Figura 19 - Representação do número de famílias mediante bloco-diagramas (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).</i>	53
<i>Figura 20 - Exemplos de formas geométricas relacionadas com o padrão da fracturação (Palmström, 1995). a) blocos poliédricos, b) blocos equidimensionais, c) blocos prismáticos, d) blocos tabulares, e) blocos romboédricos, f) blocos colunares.</i>	53
<i>Figura 21 - Pirâmide representativa das atividades básicas de desmonte.</i>	56

<i>Figura 22 - Distribuição da percentagem de custos produção em agregados (adaptado de Sandvik; Ramos, 2010).....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 23- Distribuição granulométrica possível da resultante de uma pega (dimensões).</i>	<i>58</i>
<i>Figura 24 - Bloco resultante de pega, SecilBritas, Julho de 2013.</i>	<i>58</i>
<i>Figura 25- Face exposta de bancada, furos e respetivos desvios. (Pedreira da Secil, Famalicão, Julho de 2013)</i>	<i>60</i>
<i>Figura 26 - Factores que influenciam os desvios, 1)Operadores, 2)Equipamento de perfuração, 3)Maciço.</i>	<i>61</i>
<i>Figura 27 – Diagrama de fogo, representação de desvios na perfuração, (superfície da bancada furos a vermelho e fundo do furo a azul).</i>	<i>62</i>
<i>Figura 28- Tipo de desvios na perfuração; a) erro de inclinação, b) erro de posicionamento, c) erro de profundidade.</i>	<i>63</i>
<i>Figura 29- Tipo de desvios: d) desvio de flexão, e) erro direção, desvio pontual.</i>	<i>64</i>
<i>Figura 30 - Adequação do processo de perfuração.</i>	<i>67</i>
<i>Figura 31- Mapa de ferramentas de execução usadas na Pedreira da SecilBritas em Famalicão. ...</i>	<i>68</i>
<i>Figura 32- Display de equipamento de controlo da coluna de perfuração (“Tamrock Ranger 600”)</i>	<i>70</i>
<i>Figura 33- Figura representativa de transmissão de energia e diferentes profundidades de furo. .</i>	<i>73</i>
<i>Figura 34 - Possíveis Comportamentos da perfuração no maciço rochoso.</i>	<i>74</i>
<i>Figura 35 - Ensaio de Brittleness, 1) Crivagem do material fragmentado, 2) impacto do pilão, 3) 2.ª Crivagem após impactos (adaptado de Odd Johannessen, 1998).</i>	<i>75</i>
<i>Figura 36 – Ábaco para determinação do “Drilling Rate Index” (DRI), com entradas pelo S_{20} e S_j (Sievers)</i>	<i>76</i>
<i>Figura 37- Equipamento Boretrak, completo, sensor, varas, receptor sinal.</i>	<i>77</i>
<i>Figura 38- Figura representativa da aplicação do Boretrak; a), b), d) e perspetivas de erros nos furos c).</i>	<i>78</i>
<i>Figura 39 - Figura representativa da aplicação do Boretrak a), e do varrimento laser, b).(adaptado de MDL Ltd)</i>	<i>79</i>
<i>Figura 40 - Benefícios de uma perfuração alinhada (adaptado de Galiza et al., 2011a,b,c).</i>	<i>84</i>
<i>Figura 41 – Fluxograma básico de iteração na análise dos desvios de perfuração.</i>	<i>86</i>
<i>Figura 42 – Geologia Regional/Local na zona do complexo da SecilBritas (adaptado da Carta Geológica de Portugal 1:50 000, folha 9-B).</i>	<i>88</i>
<i>Figura 43 – Localização do complexo da SecilBritas em Joane, Famalicão, implantação regional e local.</i>	<i>89</i>
<i>Figura 44 – Imagem superior refere-se à vista orto, enquadramento da pedreira e imagem inferior aos Painéis estudados. (adaptação no levantamento Aerofotogramétrico da cartografia de Base, de Janeiro de 2011) (SecilBritas, Joane).</i>	<i>90</i>
<i>Figura 45 – Localização com delimitações da área do complexo da SecilBritas S. A.</i>	<i>91</i>
<i>Figura 46 – Aplicação da técnica da amostragem linear (scanline) e laboração.</i>	<i>93</i>
<i>Figura 47 – Esquematização sobre a determinação geral do Bloco unitário predominante.</i>	<i>97</i>
<i>Figura 48 – Amostras ensaiadas (W_{1-2}), no PLT, referentes à Bancada 1, Painel 3.</i>	<i>100</i>
<i>Figura 49 – Amostras ensaiadas (W_3), no PLT, referentes à Bancada 1, Painel 3.</i>	<i>101</i>
<i>Figura 50 – Ensaios de laboratório a) “Brittleness test”.; b) Valor J de Sievers (S_j).</i>	<i>102</i>
<i>Figura 51 – Representação esquemática das pegas de fogo realizadas em bancada.</i>	<i>104</i>

<i>Figura 52 – Exemplos de emboquilhamentos na PF2: A) carro de perfuração; B) furo1; C) furo 4; D) furo 3; E) furo 2.</i>	<i>105</i>
<i>Figura 53 – Exemplo de desvios frontal e lateral considerados por erro de emboquilhamento. Verificado no furo 1, da PF1, BE1, da pedreira da Secil em Famalicão, registado pelo Boretrak no dia 18/03/2013.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 54 – Exemplo de desvios frontal e lateral considerados por erro de flexão. Verificado no furo 1, da PF1, BE1, da pedreira da Secil em Famalicão, registado pelo Boretrak no dia 18/03/2013.</i>	<i>107</i>
<i>Figura 55 – Exemplo de desvios frontal e lateral considerados por erro de emboquilhamento e flexão. Furo 1, da PF1, BE1, da pedreira da Secil em Famalicão, registado pelo Boretrak no dia 18/03/2013.</i>	<i>108</i>
<i>Figura 56 – Exemplo de desvios frontal e lateral considerados por erro de emboquilhamento e flexão. Furo 1, da PF1, BE1, da pedreira da Secil em Famalicão, registado pelo Boretrak no dia 18/03/2013.</i>	<i>109</i>
<i>Figura 57 – Projecção em planta de desvio no Furo 1, da PF1, BE1, da pedreira da Secil em Famalicão, registado pelo Boretrak no dia 18/03/2013.</i>	<i>110</i>
<i>Figura 58 – Resumo do emboquilhamento-Limpeza da Bancada verificada nas PF1 e PF2.</i>	<i>112</i>
<i>Figura 59 – Emboquilhamento-Limpeza da Bancada, resultados dos desvios em graus, das PF1, PF2.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 60 – Resumo da Regularidade da Bancada 1, das PF1 e PF2.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 61 – Regularidade da Bancada, resultados dos desvios em graus, das PF1,PF2.</i>	<i>115</i>
<i>Figura 62 – Plano com projecção Lateral (X) dos furos na Bancada 1, Pega de Fogo 1.</i>	<i>116</i>
<i>Figura 63 – Plano com projecção frontal (X) dos furos teórico, real, c/erro de emboquilhamento na Bancada 1, Pega de Fogo 1.</i>	<i>117</i>
<i>Figura 64 – Resultado da PF1, e respectivos dados de emboquilhamento e desvios.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 65 – Representação esquemática da PF1 e temporização dos detonadores electrónicos.</i>	<i>119</i>
<i>Figura 66 – Ensaio teórico I, área de influência com desvio médio (X) de direcção e resultados de cobertura de áreas.</i>	<i>120</i>
<i>Figura 67 – Ensaio teórico II, área de influência com desvio médio (X) de direcção e resultados de cobertura de áreas.</i>	<i>121</i>
<i>Figura 68 – Representação em planta das referências para os parâmetros 1) Precisão; 2) Dispersão.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 69 – Quadro resumo dos aspectos principais de desvios medidos na BE1, PF1: a)-vista em planta da bancada e evolução dos desvios; b)-vista no plano frontal (Y); c) vista Lateral (X); d)-vista em planta.</i>	<i>124</i>
<i>Figura 70 – Projecções Lateral (X) e Frontal (Y) de todos os furos da PF1, BE1.</i>	<i>124</i>
<i>Figura 71 – Imagem com projecção da proposta de correcção dos ângulos (X,Y) no emboquilhamento.dos furos.</i>	<i>125</i>
<i>Figura 72 – Projecção (X,Y) com média de erros dos ângulos de emboquilhamento.</i>	<i>126</i>
<i>Figura 73 - Projecção da proposta de correcção dos ângulos médios (X,Y) no emboquilhamento, vista por trás da bancada.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 74 – Fases dos trabalhos de preparação da bancada para pega de fogo 2: a) geometria diagrama de fogo; b) varrimento com tecnologia laser da frente livre; c) regularização da superfície; d) Início da perfuração.....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 75 – Acessórios de perfuração – Bit usado nos trabalhos.....</i>	<i>128</i>

<i>Figura 76 – Equipamentos de monitorização de desvios: a) Boretrak; b) aplicação do Boretrak; c) Câmara Laser; d) aplicação da câmara Laser, leitura de gradientes.</i>	129
<i>Figura 77 – Representação das leituras do Boretrak nos furos da Pega de fogo 1.</i>	130
<i>Figura 78 – Leituras Boretrak, associadas às leituras laser da bancada BE1; PF1.</i>	130
<i>Figura 79 – Envolvente do furo 1, a) emboquilhamento; b) leitura Boretrak; c) furo 1 da PF1, BE1.</i>	131
<i>Figura 80 – Representação das leituras do Boretrak no furo1 da PF2.</i>	133
<i>Figura 81 – Representação das leituras do Boretrak nos furos da Pega de fogo 2.</i>	133
<i>Figura 82 – Leituras Boretrak, associadas às leituras laser da bancada BE1; PF2.</i>	134
<i>Figura 83 – Projecção Lateral (X) dos furos com vista frontal, das leituras Boretrak da bancada BE1; PF2.</i>	134
<i>Figura 84 – Quadro resumo dos aspectos principais de desvios medidos na BE1, PF2: a)-vista em planta da bancada e evolução dos desvios; b)-vista no plano frontal (Y); c) vista Lateral (X); d)-vista em planta.</i>	135
<i>Figura 85 – Pilha de fragmentos resultantes da PF2. Pormenor fragmento com furo de 76 mm.</i>	136
<i>Figura 86 – Comparativo dos ângulos emboquilhamento PF1 e PF2.</i>	136
<i>Figura 87 – Comparativo parâmetro Precisão das PF1 e PF2.</i>	137
<i>Figura 88 – Comparativo parâmetro Dispersão das PF1 e PF2.</i>	138
<i>Figura 89 – Comparativo nos desvios laterais das PF1 (X1) e PF2 (X2).</i>	139
<i>Figura 90 – Geometria e resultados de diagramas teóricos.</i>	143
<i>Figura 91 – Resultado de simulação volumétrica de quatro diagramas de fogo.</i>	144
<i>Figura 92 – Enquadramento geral da geometria do painel 2, com as famílias de descontinuidades.</i>	145
<i>Figura 93 – Pormenor de projecção da possível trajectória do bit face às famílias no painel.</i>	146
<i>Figura 94 – Enquadramento geral da geometria do painel 3, com as famílias de descontinuidades.</i>	147
<i>Figura 95 – Pormenor de projecção de possível trajectória do bit face às famílias no painel.</i>	147

Índice de Quadros

<i>Quadro 1 - Características e propriedades a observar em campo para a caracterização de maciços rochosos.</i>	27
<i>Quadro 2 - Quadro ilustrativo com a heterogeneidade adstrita a diferentes matrizes rochosas (adaptado de Ramos, 2008.)</i>	28
<i>Quadro 3 - Classificação do maciço, com o resultado da resistência à compressão simples (ISRM, 1981).</i>	33
<i>Quadro 4 - Classificação em graus de alteração propostos pela ISRM (1981).</i>	40
<i>Quadro 5 - Nomenclatura do espaçamento relativo às descontinuidades (adaptado da ISRM, 1978, 1981).</i>	41
<i>Quadro 6 - Abertura das descontinuidades (adaptado da ISRM, 1981).</i>	42
<i>Quadro 7 - Classificação e perfis de rugosidade das continuidades (adaptado da ISRM, 1981, Gonzalez de Vallejo et al., 2011).</i>	44
<i>Quadro 8 - Classificação na caracterização da resistência das descontinuidades (adaptado da ISRM, 1978).</i>	45
<i>Quadro 9 - Descrição do grau de alteração meteórica (adaptado da ISRM, 1981).</i>	46
<i>Quadro 10 - Descrição da continuidade das descontinuidades (adaptado da ISRM, 1981).</i>	46
<i>Quadro 11 - Outras características das descontinuidades; a) Tipo de terminação (adaptado de Gonzalez de Vallejo et al., 2002); b) Tipos de curvatura das superfícies das descontinuidades (adaptado de Bieniawski, 1989); c) Tipo de presença de água (adaptado de Bieniawski, 1989).</i>	47
<i>Quadro 12 - Classificação dos maciços rochosos, função do número de Famílias de descontinuidades presentes (ISRM, 1981).</i>	52
<i>Quadro 13 - Classificação dos blocos a partir do índice volumétrico J_v (adaptado da ISRM (1978))</i>	54
<i>Quadro 14 - Classificação dos blocos de material rocha a partir da dimensão e da forma dos blocos (adaptado de ISRM, 1978)</i>	55
<i>Quadro 15 - Classificação dos blocos de material rocha a partir do valor do RQD</i>	55
<i>Quadro 16 – Erros de execução de perfuração (segundo Ramos, 2008)</i>	65
<i>Quadro 17 - Matriz de avaliação do tipo de desvio (segundo Ramos, 2008).</i>	66
<i>Quadro 18 - Matriz de avaliação dos Equipamentos de Perfuração.</i>	69
<i>Quadro 19 - Matriz de avaliação dos acessórios de perfuração (adaptado de Ramos, 2008).</i>	71
<i>Quadro 20 – Parâmetros do diagrama de fogo (Manual do Operador de Produtos Explosivos, AP3E e ANIET, 2011)</i>	72
<i>Quadro 21 – Aspectos práticos a ter em conta nas bancadas (adaptado de Ramos, 2008)</i>	76
<i>Quadro 22 - Descrição petrográfica simplificada do granito da SecilBritas S.A. (Informação cedida pela SecilBritas S.A., e produzida pelo LGMC-Laboratório de Geotécnia e Materiais de Construção do CICCOPN)</i>	94
<i>Quadro 23 – Painel 2 - Parâmetros geológico-geotécnicos, diagramas de contorno estrutural e de rosetas.</i>	95
<i>Quadro 24 – Painel 3 - Parâmetros geológico-geotécnicos, diagramas de contorno estrutural e de rosetas.</i>	96
<i>Quadro 25 – Resultados dos ensaios “Los Angeles”</i>	98
<i>Quadro 26 – Resultados dos ensaios Micro-Deval”</i>	99
<i>Quadro 27 – Resumo dos resultados da resistência à compressão (esclerómetro portátil) nos Painéis 2 e 3.</i>	99

<i>Quadro 28 – Resultados dos ensaios de carga pontual, no Painel 3 da Bancada 1, material rocha W_{1-2} e W_3</i>	<i>101</i>
<i>Quadro 29 – Resultado dos ensaios de friabilidade e de Sievers índice “J”.....</i>	<i>102</i>
<i>Quadro 30 – Índice de Perfurabilidade-DRI para o maciço em estudo em Joane, Famalicão.....</i>	<i>103</i>
<i>Quadro 31 – Resumo dos resultados dos Ensaios das figuras 67 e 68.</i>	<i>122</i>
<i>Quadro 32 - Rendimento da perfuração no furo1 da PF2.</i>	<i>132</i>
<i>Quadro 33 – Indicadores estatísticos relativos às análises dos dados das PF1(X1) e PF2(X2).</i>	<i>138</i>
<i>Quadro 34 – Indicadores estatísticos para o gráfico da fig 89.....</i>	<i>139</i>
<i>Quadro 35 – Evolução das Áreas de Influência em Profundidade BE1, PF1.....</i>	<i>141</i>
<i>Quadro 36 – Evolução das Áreas de Influência em Profundidade BE1, PF2.....</i>	<i>141</i>
<i>Quadro 37 – Evolução das Áreas de Influência, relação Áreas de Influência (%) para as PF1 e PF2.</i>	<i>142</i>
<i>Quadro 38 – Relação e Evolução das Áreas de Influência para as PF1 e PF2, cálculo do “ÍDV”</i>	<i>144</i>

Índice de Equações

[1] – <i>Determinação de J_v (“Volumetric Joint Count”),</i>	55
[2] – <i>Determinação de RQD para $J_v > 4,5$,</i>	56
[3] – <i>Determinação de RQD para $J_v < 4,5$,</i>	56
[4] – <i>Determinação do RQD a partir da frequência das descontinuidades (λ),</i>	56
[5] – <i>Cálculo da subfuração (U),</i>	61
[6] – <i>Cálculo do erro de perfuração (F),</i>	62
[7] – <i>Calculo dos desvios da perfuração, somatório de ocorrências,</i>	117

CAPÍTULO I



Mina de diamantes a céu aberto em Sakha, Rússia

1. INTRODUÇÃO GERAL

- 1.1. ÂMBITO
- 1.2. ENQUADRAMENTO
- 1.3. OBJECTIVOS
- 1.4. MATERIAIS E MÉTODOS

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1. ÂMBITO

A presente tese enquadra-se na Unidade Curricular Dissertação/Projecto/Estágio (42 ECTS), do 2º ano, do Curso de Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente do Departamento de Engenharia Geotécnica (DEG) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) do Instituto Politécnico do Porto (IPP). A elaboração e defesa pública da presente tese, em formato “Dissertação”, são imperativos para a conclusão do 2º ciclo e a consequente obtenção do Grau de Mestre. Por razões de ordem logística e académica, a presente dissertação explora os dados adquiridos em conjunto e complementa a dissertação de mestrado de Catarina Dias (2013).

1.2. ENQUADRAMENTO

Este trabalho enquadra-se no âmbito da indústria extractiva e transformadora de rocha, em particular na área de produção de agregados para a construção civil. Nesta indústria, o georrecurso da matéria-prima para a produção de agregados, é normalmente um maciço rochoso competente e de boa qualidade, que implica a utilização da técnica de desmonte em bancada com recurso a explosivos para a sua exploração. O desmonte de maciços rochosos, consiste basicamente no destaque de um determinado volume de material rochoso, em função do objectivo pretendido. O desmonte de rocha com recurso a explosivos envolve uma série de operações, sendo a perfuração a primeira do ciclo, assumindo por isso um papel de extrema importância.

A qualidade da sua execução influencia de forma determinante o sucesso do desmonte que no seu âmbito envolve três grupos de parâmetros (e.g., Persson et al., 1993; Jimeno, 1995; Dinis da Gama, 1995; Holmberg, 2003; Brady & Brown, 2004; Hoek, 2007): i) geológico-estruturais, geotécnicos e geomecânicos do maciço rochoso; ii) ferramentas de execução; iii) geometria do diagrama de fogo.

A optimização de qualquer operação de desmonte com explosivos requer o conhecimento prévio do grau de fracturação natural com o intuito de se definir a compartimentação do maciço rochoso, ou seja, a sua caracterização geológico-estrutural e geotécnica (Rocha, 1981; ISRM, 1981; Dinis da Gama, 1995). O grau de fragmentação do material desmontado interfere na eficiência e no custo das operações subsequentes, sendo, também, directamente afectado pelo esquema de perfuração e pela quantidade de explosivos consumidos (e.g., Dinis da Gama, 1971; Franklin & Dusseault, 1991; Dinis da Gama, 1996; Moodley & Cunningham, 1996). A caracterização preliminar do maciço rochoso permitirá a assimilação de um conjunto de informações importantes para a orientação e dimensionamento da operação de desmonte.

As propriedades petrofísicas, geológico-estruturais e geomecânicas do maciço rochoso são de extrema importância na compreensão do desmonte com explosivos, uma vez que o uso de diagramas de fogo de características invariáveis, sem considerar as mudanças destas propriedades, terá como consequência uma fragmentação deficiente, excessos de finos, danos nas paredes das bancadas adjacentes e com maiores impactos ambientais e custos operacionais. Assim, os parâmetros do dimensionamento do diagrama de fogo serão determinados pela interacção das características do maciço, da perfuração, do explosivo utilizado e do sistema de iniciação.

Tendo como base a caracterização geológica geotécnica e geomecânica do maciço rochoso, pretende-se no desenvolvimento deste trabalho, controlar e otimizar a operação de perfuração. Para cumprir esse objectivo pretende-se erradicar os erros de perfuração associados à sua execução, minimizar os desvios de perfuração, tendo em vista uma distribuição uniforme da carga de explosivos pelo volume de maciço rochoso a desmontar para obter uma curva granulométrica ajustada às operações seguintes. É pretendido neste trabalho provar que, a diminuição da média dos desvios de perfuração de uma determinada pega, não garante por si só, uma melhor distribuição do explosivo e consequentemente uma melhor fragmentação do maciço rochoso.

Assim, pretende-se neste trabalho obter um indicador, “IDV - Índice de Dispersão Volumétrica” que permita correlacionar, de forma qualitativa, com uma melhor ou pior fragmentação expectável. O trabalho em questão pretende assim, fazer uma abordagem de carácter experimental, aplicada ao estudo dos desvios de perfuração no desmonte de maciço rochoso, evidenciando a importância da caracterização geológico-estrutural e geomecânica, com vista à sugestão de soluções a adoptar para a correcção dos referidos desvios. O maciço rochoso objecto de estudo foi a pedra granítica da Empresa Secil-Britas, S.A., na Freguesia de Joane no Concelho de Famalicão. Este trabalho foi desenvolvido, essencialmente, em três fases; a primeira ligada à recolha exaustiva de informação bibliográfica de especialidade do sector estudado. A segunda referente ao trabalho de campo, com a consequente recolha, processamento, análise e interpretação dos dados para uma caracterização geológica, geotécnica e geomecânica do maciço rochoso da pedra em estudo e área envolvente. A terceira fase em que se pretende otimizar e controlar a qualidade da perfuração, através da medição dos desvios de perfuração (realização de ensaios Boretrak) com o registo de parâmetros ligados ao diagrama de fogo, ao equipamento e acessórios de perfuração, e às condicionantes do terreno.

1.3. OBJECTIVOS

Este trabalho tem dois objectivos primordiais; i) corrigir/minimizar os desvios de perfuração tendo em consideração as características do maciço rochoso, em particular a componente estrutural definido pelo sistema e características das descontinuidades presente no mesmo; ii) definição de um indicador quantitativo “IDV - Índice de Dispersão Volumétrica”, baseado na uniformidade da distribuição do explosivo no maciço rochoso, com o qual se consiga obter uma correlação directa com a melhor ou pior fragmentação expectável. Estes objectivos basilares estão consubstanciados num quadro de objectivos intermédios ou auxiliares/complementares:

- ✓ O reconhecimento geomorfológico, geológico e hidrogeológico, inspecção visual e cartografia dos maciços que constituem a pedra da Secil-Britas, S.A., (Joane, V. N. Famalicão).
- ✓ A caracterização dos parâmetros geológicos e geotécnicos dos maciços das pedreiras seleccionadas, aplicando a técnica da amostragem linear em superfícies (descontinuidades) expostas do maciço para a avaliação do grau de compartimentação e caracterização geotécnica-geomecânica através da aplicação da Basic Geotechnical Description of Rock Masses (BGD), proposta pela International Society for Rock Mechanics (ISRM, 1981) e outras recomendações propostas pela ISRM (1978, 2007), pela Geological Society Engineering Group

Working Party Report (GSE, 1995), pelo Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow (CFCLF, 1996) e pela International Association of Engineering Geology (IAEG, 1981a,b,c). Para o efeito, foi utilizada a base de dados dinâmicas, denominada ScanGeoData|BGD (Basic Geotechnical Description of Rock Masses), que permite a compilação, o tratamento e a análise dos inúmeros dados geológico-geotécnicos recolhidos no terreno;

- ✓ A realização de ensaios geomecânicos “in situ” e laboratoriais (Esclerómetro portátil ou “Martelo de Schmidt”, Ensaio de Carga Pontual ou “Point Load Test” e Ensaio de Perfurabilidade ou “Sievers Test” e Friabilidade ou “Brittleness Test”) para estimar a resistência do material rochoso dos maciços em estudo e o parâmetro DRI “Drilling Rate Index”. Estes estudos foram complementados com uma análise global e particular dos dados obtidos no trabalho de campo;
- ✓ Medição dos desvios de perfuração para, como foi referido anteriormente, obter a sua mitigação através da correcção do posicionamento da coluna de perfuração do equipamento para compensação da tendência do desvio.
- ✓ Monitorização do impacto dessa correcção da direcção na qualidade da perfuração. O indicador quantitativo “IDV - Índice de Dispersão Volumétrica” deverá permitir medir a distribuição do explosivo no volume de maciço a desmontar, correlacionando com os resultados granulométricos do desmonte.

1.4. MATERIAIS E MÉTODOS

Na primeira fase do trabalho efectuou-se um reconhecimento de campo para definição dos constrangimentos cartográficos e geológico-estruturais dos maciços em estudo e na área envolvente especialmente, a caracterização das unidades geológicas regionais e/ou locais, a descrição e caracterização das litologias, a cartografia das macro e meso-estruturas, os traços geológico - estruturais gerais do maciço, a identificação das zonas alteradas e cartografia das suas espessuras, e a localização das nascentes.

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. Na segunda fase procedeu-se à recolha, tratamento, análise e interpretação dos dados geológicos, geotécnicos e geomecânicos do maciço.

Esta abordagem integrada permitiu a descrição geológico-geotécnica pormenorizada da zona do georrecurso seleccionada para as pegadas de fogo monitorizadas. Nesta descrição foram seguidas as recomendações da ISRM – International Society for Rock Mechanics (ISRM 1978, 1981, 2007), da GSE – Geological Society Engineering Group Working Party Report (GSE, 1995) e do CFCFF – Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow (CFCFF, 1996).

Para a definição dos parâmetros geológico-geotécnicos do maciço rochoso e caracterização das suas descontinuidades, foi aplicada a técnica de amostragem linear nas superfícies expostas nas bancadas seleccionadas para desmonte, do maciço rochoso (Figura 1) (ver pormenores da descrição da técnica, em Dinis da Gama, 1995; Chaminé & Gaspar, 1995; Brady & Brown, 2004 e Martins et al., 2006).

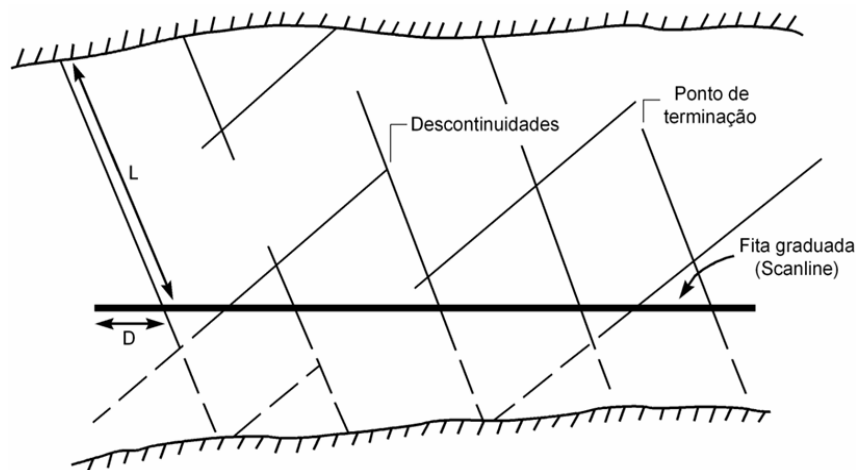


Figura 1 - Esquema do dispositivo para levantamento de descontinuidades pela técnica de amostragem linear em superfícies expostas do maciço rochoso (adaptado de Singhal & Gupta 2010). D – distância à origem da fita graduada (“scanline”); L – semi-comprimento exposto.

Para a recolha, processamento e tratamento estatístico básico dos dados recolhidos, foi utilizada a ficha de campo “Ficha de Levantamento Geotécnico” e a base de dados “ScanGeoData|BGD” (Figura2) respectivamente (Ramos, 2008, Fonseca, 2008; Fonseca et al., 2010; Galiza, 2013).

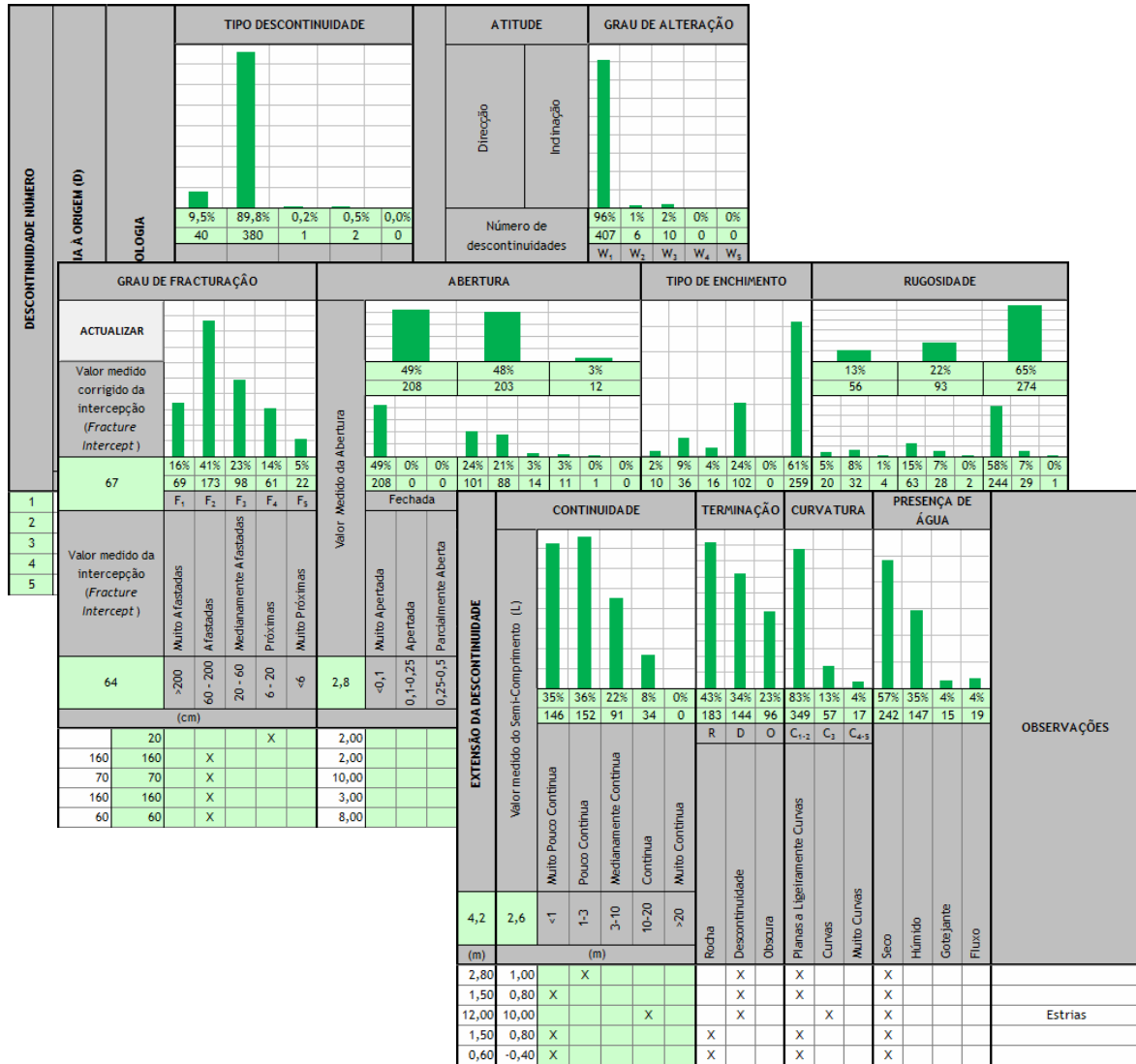


Figura 2 - Exemplo de aplicação da base de dados dinâmica, ScanGeoData|BGD.

Para a caracterização geomecânica dos maciços recorreu-se, entre outros, aos ensaios: de compressão uniaxial com o esclerómetro portátil ou “Martelo de Schmidt” e o de carga pontual ou “Point Load Test”, de resistência à fragmentação ou ensaio de “Los Angeles” (NP EN 1097-2: 2002) de resistência ao desgaste por atrito, ou ensaio de “Micro-Deval” (NP EN 1097-1: 2002), de Perfurabilidade, ou “Siewers Test” e de Friabilidade, ou “Brittleness Test”.

Para a recolha, processamento e tratamento estatístico básico dos dados recolhidos com o esclerómetro portátil, foi utilizada a ficha de campo “Ficha de Levantamento Geomecânico” (Figura 3) e a base de dados “SchmidtData|UCS” (Ramos, 2008; Fonseca, 2008; Fonseca et al., 2010; Galiza, 2013).

Figura 3 - Exemplo de aplicação da base de dados SchmidtData|UCS desenvolvida para maciços rochosos fracturados (Fonseca et al., 2010).

A terceira fase inclui a realização de ensaios medição dos desvios de perfuração (Figura 4), o registo dos parâmetros ligados ao diagrama de fogo, equipamento e acessórios de perfuração, assim como outras condicionantes de bancada que sejam relevantes na análise dos desvios de perfuração.



Figura 4 - Equipamento de medição dos desvios de perfuração [Boretrak], a) Equipamento de Varas, b) Equipamento de Cabo (adaptado de MDL, 2010).

Após o processamento e a análise dos resultados obtidos na perfuração foram definidas as correcções a aplicar na perfuração da próxima pega. Esta fase consubstancia a implementação dessa correcção, assim como a monitorização dos resultados através da medição dos desvios de perfuração.

O estudo teve início em Março de 2013 com a compilação de toda a bibliografia e documentação diversa sobre a pedra em estudo. Os trabalhos de campo e de laboratório da presente investigação decorreram, fundamentalmente, durante os meses de Maio, Junho e Julho de 2013. Estes englobaram o trabalho de reconhecimento e inspecção visual dos maciços, da cartografia geológica e aplicada, dos levantamentos geológico-geotécnicos para o estudo do estado da compartimentação do maciço e da qualidade geomecânica, ensaios geomecânicos “in situ” para avaliação da resistência do maciço, bem como da recolha, preparação e execução de amostras do material rochoso para ensaios geomecânicos em laboratório.

Os levantamentos de campo foram realizados com a ajuda da colega Eng.^a Geotécnica Catarina Dias e, sob coordenação técnico-científica do Eng.^o António Carlos Galiza (DEG-ISEP). Foi determinante o apoio dado em todas as fases desta investigação pelo Eng.^o Luís Carlos Correia Ramos (DEG-ISEP). A preparação, execução e análise dos ensaios geomecânicos de carga pontual foram coordenados pelo Eng.^o Geotécnico Rogério Fernando Silva Pinheiro (LGMC|ISEP). O Ensaio de Perfurabilidade (“Sievers Test”) foi realizado no Laboratório de Mecânica das Rochas do Centro de Geotecnia do Instituto Superior Técnico, em Lisboa, sob coordenação do Prof. Doutor C. Dinis da Gama. O Ensaio de Friabilidade (“Brittleness Test”) foi reproduzido no Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção do Instituto Superior de Engenharia do Porto (LGMC|ISEP), sob coordenação do Eng.^o António Carlos Galiza.

No tratamento da cartografia e dos levantamentos geológico-geomecânicos recorreu-se às instalações do Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (LABCARGA) do DEG-ISEP, contando-se com o apoio do Prof. Doutor José Teixeira, e os ensaios geomecânicos foram executados no Laboratório de Mecânica das Rochas do Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção (LGMC) do ISEP.

CAPÍTULO II



Pedreira de agregados em Vila do Conde, Portugal

2. DESCRIÇÃO E DESMONTE DE MACIÇOS ROCHOSOS

2.1. METODOLOGIA E SISTEMÁTICA

2.2. CARACTERIZAÇÃO DA MATRIZ ROCHOSA

2.3. DESCRIÇÃO DAS DESCONTINUIDADES

2.4. PARÂMETROS DO MACIÇO ROCHOSO

2.5. DESMONTE DE MACIÇOS ROCHOSOS

2.6. DESVIOS DA PERFURAÇÃO

2.7. FERRAMENTAS DE EXECUÇÃO

2.8. GEOMETRIA DO DIAGRAMA DE FOGO

2.9. OUTROS PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO-OPTIMIZAÇÃO DO DIAGRAMA DE FOGO

2. DESCRIÇÃO E DESMONTE DE MACIÇOS ROCHOSOS

2.1. METODOLOGIA E SISTEMÁTICA

2.1.1. INTRODUÇÃO

Um maciço rochoso pode ser considerado como um meio sólido separado por planos de fraqueza estrutural, ou seja, as superfícies de descontinuidade (Rocha, 1981). Por isso, o estudo de um maciço rochoso terá sempre que passar pela análise dos seus dois constituintes: o material-rocha e as descontinuidades. 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 afectam, bem como as condições geológicas, tectónicas e hidrogeológicas (Pereira, 1985). No estudo do comportamento mecânico das escavações, é imprescindível o conhecimento detalhado das propriedades geomecânicas das rochas, bem como das propriedades do maciço rochoso em questão (Brown, 1981; Brady & Brown, 2004; Hoek, 2007). Os maciços rochosos, para além de serem normalmente heterogéneos, apresentam uma marcada 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 (Rocha, 1981; Brown, 1991). A descrição e caracterização dos maciços rochosos, é fundamental em todos os estudos de engenharia a eles ligados. Este trabalho é realizado nas primeiras etapas da investigação *in situ*. O trabalho de campo permite obter informação importante para a avaliação geotécnica do maciço rochoso.

A base de qualquer análise prática da mecânica das rochas 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 for inadequada ou inexacta

(Brady & Brown, 2004; Hoek, 2007). Pela heterogeneidade e anisotropia intrínseca aos maciços rochosos, esta tarefa é sempre bastante complicada. As descrições dos maciços rochosos com fins geotécnicos necessitam de critérios rigorosos e sempre que possível quantificáveis justificando-se o estabelecer de uma sistemática que uniformize critérios e facilite a comunicação entre todos os profissionais que tenham de realizar trabalhos semelhantes. Estas descrições podem implicar um certo grau de subjectividade que se deve evitar, na medida do possível, realizando observações sistemáticas e utilizando uma terminologia padronizada (ISRM, 1987, 1981, 2007), tendo em conta os seguintes aspectos:

- ✓ **Sistematização:** *Todos os factores devem ser examinados sistematicamente e numa sequência.*
- ✓ **Perceptibilidade:** *Não se deve omitir nenhuma informação básica sobre o afloramento.*
- ✓ **Precisão:** *As descrições devem caracterizar de uma forma precisa o maciço e permitir a dedução da informação mais relevante.*
- ✓ **Representatividade:** *Número de dados deve ser, se possível, estatisticamente representativo.*

A caracterização de uma determinada zona geotécnica deve realizar-se de uma forma objectiva e individualizada, e incluir o estudo da matriz rochosa, das descontinuidades e do conjunto do maciço, descrevendo tanto as suas propriedades intrínsecas como os factores externos que condicionam o seu comportamento. A sistemática para a descrição de maciços rochosos pode ser resumida às seguintes etapas (ISRM, 1987, 1981):

- ✓ *Descrição das características gerais do afloramento;*
- ✓ *Descrição geotécnica pormenorizada: matriz rochosa e descontinuidades;*
- ✓ *Descrição dos parâmetros geológicos e geométricos do maciço rochoso;*
- ✓ *Caracterização global e classificação geomecânica do maciço rochoso.*

As descrições dos maciços rochosos devem ser objectivas e claras, recorrendo-se, normalmente, a uma terminologia recomendada para efeitos de geologia aplicada à engenharia (e.g., ISRM, 1978, 1981; GSE, 1995; CFCFF, 1996). A “Basic Geotechnical Description of Rock Masses” [BGD] (ISRM, 1981) surgiu com a necessidade de colmatar os seguintes aspectos:

- ✓ *Criar uma normalização, ao nível da terminologia e das recomendações, que permitissem ao geotécnico (seja, com um perfil de Geólogo de Engenharia, de Engenheiro Geotécnico, de Engenheiro Geólogo, de Engenheiro Civil (ramo Geotecnia e Estruturas), de Engenheiro 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 isoladas e personalizadas.*

A International Society for Rock Mechanics [Sociedade Internacional de Mecânicas das Rochas] (ISRM, 1978, 1981, 2007) 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. No Quadro 1 estão representadas as características e propriedades a observar em campo para a caracterização de maciços rochosos.

Quadro 1 - Características e propriedades a observar em campo para a caracterização de maciços rochosos.

ÂMBITO DO ESTUDO	CARACTERÍSTICAS PROPRIEDADES	MÉTODOS	CLASSIFICAÇÃO GEOLOGICA E GEOTÉCNICA
MATRIZ ROCHOSA	Identificação	Observações a olho nu e com lupa	Classificação geologica e geotécnica
	Meteorização	Observações a olho nu	Índices standard
	Resistência	Índices e ensaios de campo	Classificações empíricas de resistência
+			
DESCONTINUIDADES	Orientação	Medida directa com bússola de geologo	Índices e classificações standard
	Espaçamento	Medidas de campo	
	Continuidade		
	Rugosidade	Observações e medidas de campo	Comparação com perfis standard
	Resistência das paredes	Martelo de Schmidt Índices de campo	Classificações empíricas de resistência
	Abertura	Observações e medidas de campo	Índices standard.
	Rugosidade		
Percolação			
=			
MACIÇO ROCHOSO	Número de famílias de discontinuidades	Medidas de campo	Índices e classificações standard
	Tamanho do bloco		
	Intencidade da fracturação		
	Grau de alteração	Observações de campo	Classificações standard

2.2. CARACTERIZAÇÃO DA MATRIZ ROCHOSA

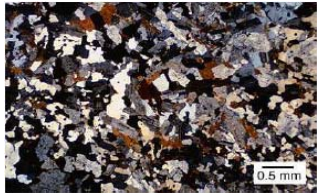
Na caracterização da matriz rochosa, os aspectos mais relevantes a descrever, no trabalho de campo e através dos ensaios de laboratório complementares, são:

- ✓ *Identificação da matriz rochosa*
- ✓ *Grau de alteração*
- ✓ *Resistência à compressão simples*

A identificação mineralógica pressupõe a observação da composição mineralógica, forma e tamanho do grão, cor, transparência e dureza.

A diferente composição química dos cristais e das partículas amorfas que formam a matriz do material rocha, é estudada à micro-escala, na variabilidade dessas propriedades. É possível levar este estudo a uma quantificação dos tipos e quantidades dos diferentes componentes de cada tipo de material rocha, exemplo Quadro 2, leitura a escala micro de diferentes tipos material rocha.

Quadro 2 - Quadro ilustrativo com a heterogeneidade adstrita a diferentes matrizes rochosas (adaptado de Ramos, 2008.)

ROCHA	IGNEA	SEDIMENTAR	METAMÓRFICA
	Granito	Conglomerado	Micaxisto
IMAGEM			
DESCRIÇÃO	Aglomerado compacto de grãos com volume de vazios reduzido.	Grãos arredondados e maior volume de vazios.	Grãos orientados numa direcção preferencial.

A petrofábrica do material rocha derivada da sua história geológica e da sua génese, com as orientações dos seus cristais e grãos, apresenta planos de anisotropias e planos de xistosidade, planos de foliação, planos de bandas por camadas de diferente material, que se diferenciam apenas na coloração, os poros, as micro e macro fissuras, que no seu conjunto apresentam planos descontínuos e não lineares, com desigual distribuição dos minerais no material rocha, conferindo meios heterogéneos.

A objectividade do estudo relativo a um maciço rochoso, como é o presente caso de estudo, leva a um necessário conhecimento da matriz rochosa, mas não forçosamente numa micro escala. Segundo González de Vallejo e Ferrer (2002), é importante conhecer a resistência do maciço rochoso assim como a sua fracturação, que origina a existência de planos descontínuos e que pela sua natural compartimentação, se formam blocos desse material, que podem ser considerados homogéneos e isotrópicos.

2.2.1. MARTELO DE SCHMIDT

Durante os trabalhos de campo, realizados no âmbito desta dissertação, foram efectuados ensaios geomecânicos “in situ”, nomeadamente com o objectivo de determinar o grau de resistência do maciço rochoso e, assim, avaliar indirectamente o seu grau de alteração. Como tal, foi utilizado o esclerómetro portátil para rochas, tipo L (vulgarmente conhecido em engenharia por *Martelo de Schmidt*), com o qual se efectuou uma avaliação da resistência mecânica do material-rocha à compressão uniaxial simples.

A determinação da resistência à compressão uniaxial é feita, em geral, a partir de ensaios de laboratório ou de campo (e.g., ISRM, 1978 a,b, 1981; Katz et al., 2000; Al-Harhi, 2001; ASTM, 2001; Kahraman, 2001; Kahraman et al., 2002; PROCEQ, 2012). O esclerómetro portátil foi desenvolvido nos finais da década de 1940 (Schmidt, 1951), para testes não destrutivos em betão, começando a ser usado na caracterização de materiais rochosos a partir de 1960 (eg., Nichols Jr, 1980; Cargill & Shakoor, 1990; Aydin & Basu, 2005).

Com o martelo de Schmidt poderemos obter o “valor de Schmidt” (ou “dureza de Schmidt”), a partir do Ressonância (“Rebound”, R) que, por sua vez, poderá ser transformado no índice de resistência à compressão uniaxial (UCS – “Uniaxial Compressive Strength”) do material-rocha. O valor do ressonância fica registado no aparelho, podendo variar entre 10 e 100 numa escala adimensional. O esclerómetro é colocado perpendicularmente à superfície exposta da rocha, que deve estar limpa e fresca, sem camadas de detritos ou películas que possam desvirtuar os resultados dos ensaios. No trabalho de campo foi utilizado o esclerómetro portátil do tipo L (energia de impacto $0,735 \text{ N/mm}^2$), da marca PROCEQ. É necessária a normalização dos valores obtidos relativamente às orientações do martelo na altura do impacto, quando a superfície a testar não for horizontal.

A ISRM (1978 a,b) e a ASTM (2001), recomendam o recurso às curvas de correção fornecidas pelo fabricante do equipamento para a normalização dos valores, tendo como referência a superfície horizontal. Nos ensaios de campo, Aydin & Basu (2005) destacam a necessidade fundamental do posicionamento do eixo do martelo ser perpendicular à superfície rochosa do ensaio, minimizando assim os erros devidos a impactos oblíquos.

Nos ensaios de campo ocorrem também variações significativas que podem ser causadas pela granularidade textural e rugosidade natural das superfícies e pelas variações na matriz que compõe o material rochoso.

Para que as condições gerais do ensaio de campo sejam válidas dever-se-á ter em atenção as seguintes recomendações, a saber: limpeza da área do ensaio, verificação da ausência de fissuras e eliminação da patina superficial de rocha meteorizada.

Para estudos de mecânica das rochas ou de geologia de engenharia, a ISRM (1978) aconselha a realização de 10 percussões por cada estação de ensaio, sendo os cinco (5) menores resultados excluídos, e considerado o valor médio dos cinco ensaios restantes como resultado final do ensaio (contudo há autores que recomendam a realização de 25 disparos).

No início de cada campanha de terreno proceder-se-á sempre à aferição da calibração do martelo através da massa-padrão da PROCEQ. Caso seja necessário, o martelo de Schmidt deverá ser sujeito a uma calibração ou revisão técnica periódica adequada para a sua perfeita operacionalidade, segundo os procedimentos previstos pela PROCEQ.

Na Figura 5 está representada a ficha-tipo para a recolha dos ensaios de campo com o martelo de Schmidt.

Em geral, as recomendações apontam para um afastamento mínimo dos pontos de impacto superior a uma vez o diâmetro do pistão de disparo. Por fim, recorre-se ao ábaco de Miller (Miller, 1965) em que, com o valor médio de R calculado, a orientação do disparo (perpendicular à superfície de ensaio e normalizada para as direcções sub-horizontal, 45° e sub-vertical) e a densidade média da rocha, é possível chegar a um valor aproximado de resistência à compressão uniaxial simples (Figura 6).

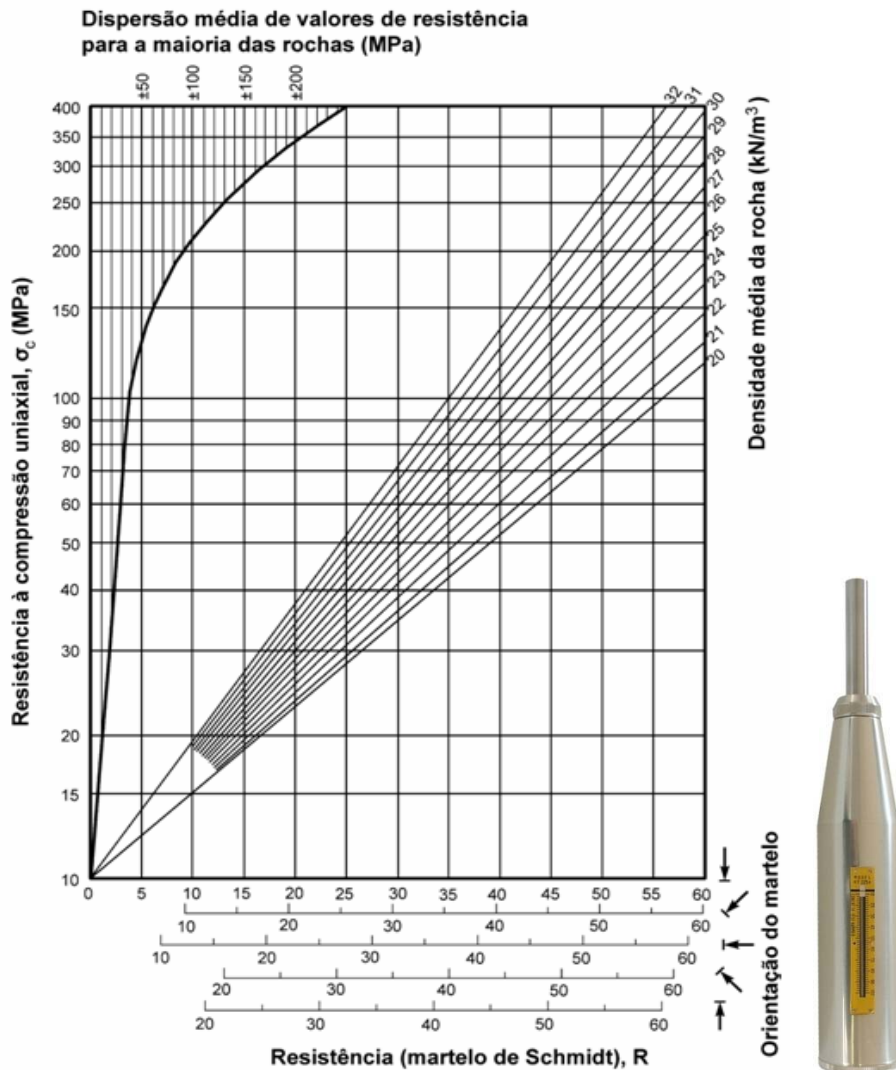


Figura 6 - Ábaco de Miller (adaptado de González de Vallejo & Ferrer, 2011).

A classificação do maciço é obtida pela consulta da proposta feita pela ISRM (1981), que divide o maciço em cinco classificações, imagem do Quadro 3.

Quadro 3 - Classificação do maciço, com o resultado da resistência à compressão simples (ISRM, 1981).

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (ISRM, 1981)				
(MPa)	SIMBOLOGIA	DESIGNAÇÃO	SIMBOLOGIA	DESIGNAÇÃO
> 200	S1	Muito elevada	S1-2	Elevada
60 a 200	S2	Elevada		
20 a 60	S3	Média	S3	Média
6 a 20	S4	Baixa	S4-5	Baixa
< 6	S5	Muito baixa		

2.2.2. ENSAIO DE CARGA PONTUAL (Point Load test)

A necessidade da realização do ensaio de carga pontual (PLT), prende-se com a avaliação e conhecimento sobre o comportamento quanto à resistência das rochas quando são colocadas sob efeito de uma carga pontual. Este ensaio permite determinar o valor do índice de resistência de carga pontual, configurando a resistência à compressão simples da rocha (e.g., Broch & Franklin, 1972; Bieniawski, 1975; Gunsallus & Kullhawy, 1984; ISRM, 1985; Norbury, 1986). Conforme recomendação de procedimento da ISRM (1985), é provocada a rotura em provetes de rocha previamente tratados, aplicando uma força pontual crescente, transmitida ao provete através de duas ponteiros cónicas de metal, registando o valor de P na altura de rotura, conduzindo à obtenção do índice de carga pontual $I_s(50)$, através de equipamento tipo da Figura 7.



Figura 7 - Equipamento utilizado para a realização do ensaio de carga pontual (PLT)

Na preparação do material rocha para o ensaio são cortados provetes da amostra recolhida em campo, nas quantidades que permitam obter pelo menos 10 resultados válidos por amostra, com possibilidade de formas e dimensões variadas, conforme as apresentadas na Figura 8.

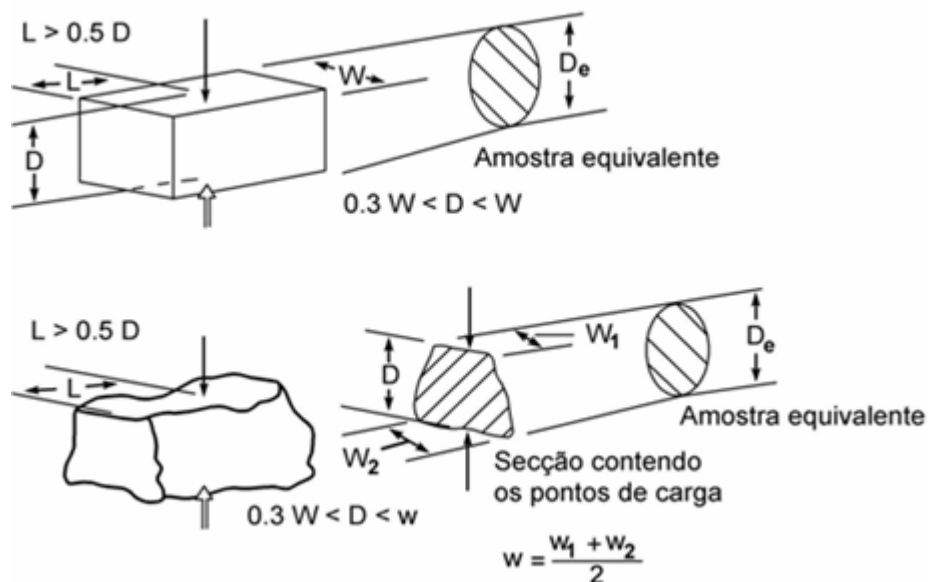


Figura 8 - Formas e relação das dimensões dos provetes a satisfazer nos ensaios de carga pontual (PLT) (adaptado de ISRM, 1985)

2.3. DESCRIÇÃO DAS DESCONTINUIDADES

2.3.1. COMPORTAMENTO DO MACIÇO ROCHOSO NA PRESENÇA DE DESCONTINUIDADES

As descontinuidades são normalmente descritas como planos que em conjunto com a matriz rochosa, formam o maciço rochoso (Ferrer e G. de Vallejo, 1999), e que geram um comportamento não contínuo da matriz rochosa e habitualmente heterogéneo e anisotrópico (Figura 9).

Considerando as descontinuidades como interrupções da linearidade do maciço com amplitude variável configurando desde as pequenas fissuras até às grandes falhas (F.G. Bell 2007), a existência de descontinuidades num determinado maciço rochoso, condiciona as propriedades geotécnicas no todo dessa massa, pela modificação global dos parâmetros de permeabilidade, deformabilidade e de resistência ao corte, face às características do material rocha que compõem essa massa rochosa, em parte pela exposição que são propícias para conseqüentes alterações e meteorização dessas fraturas e da sua natural apetência para captação dos fluxos hidrogeológicos.



Figura 9 - Face exposta de afloramento rochoso granito da pedreira de Fornelo da Empresa MonteAdriano Agregados (ElevoGroup). (Imagem obtida em Agosto de 2012 pelo autor da tese).

2.3.2. TIPOS DE DESCONTINUIDADES

As descontinuidades em função da sua génese podem ter origem em diversos fenómenos e são habitualmente reunidas por tipologia, sendo sistemáticas se agrupadas por famílias e singulares por planos isolados que marcam o maciço rochoso (ISRM, 1978; Gonzalez de Vallejo et al., 2002).

Na imagem da Figura 10, as descontinuidades são agrupadas por tipo de descontinuidades e por ocorrência, isto é, em sistemáticas se é possível organizar a sua frequência em grupos definidos e singulares se a sua ocorrência é mais de tipologia ocasional, isto é, planos que ocorrem isolados no maciço rochoso, embora estes possam ser mais persistentes e determinadamente preponderantes que os sistemáticos, como por exemplo o caso de falhas, com extensões que podem atingir quilómetros.

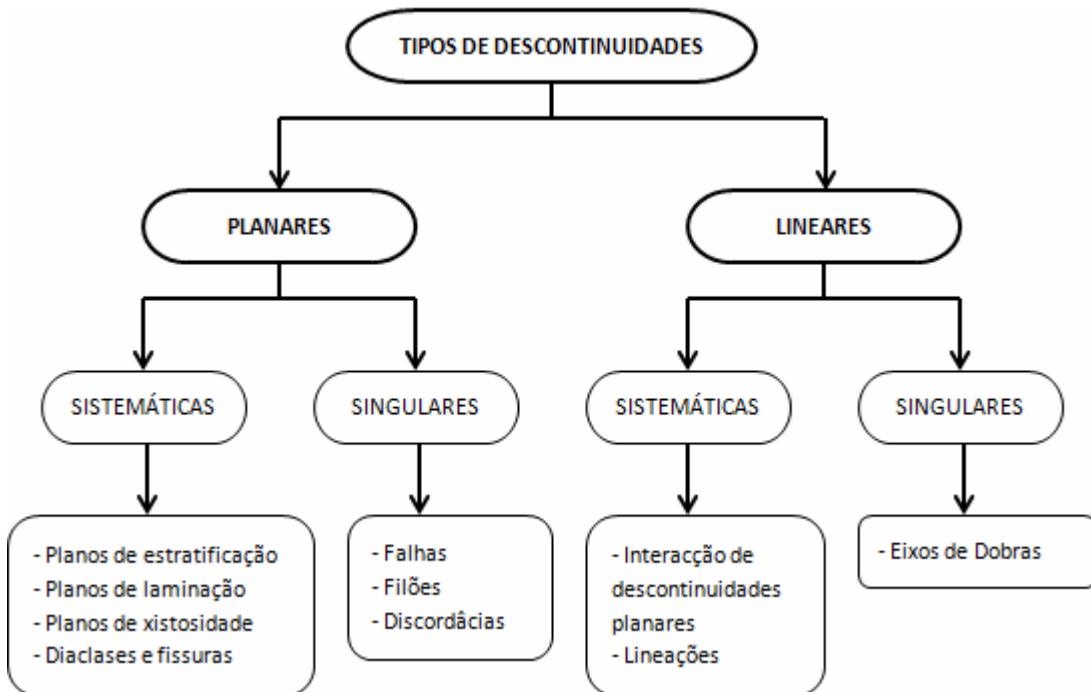


Figura 10 - Tipos de Descontinuidades (adaptado de ISRM, 1981; G. Vallejo et al., 2011)

As descontinuidades são responsáveis pela compartimentação dos maciços rochosos, e os parâmetros que conferem a geometria dos blocos ou do bloco unitário desses maciços, são a atitude geológica, obtida pela direcção do plano e da sua inclinação, do número de famílias existentes, do seu espaçamento e da persistência.

No quadro da Figura 11 são resumidos os principais tipos de descontinuidades (Rocha, 1981; Goodman, 1993), mais comuns no estudo da caracterização dos maciços rochosos. A nível de ocorrência, as diaclases são os planos de descontinuidade com maior frequência nos maciços rochosos e de acordo com a ISRM (1978), correspondem a superfícies que ocorrem no material-rocha ao longo das quais não existe rejeito entre os blocos rochosos.

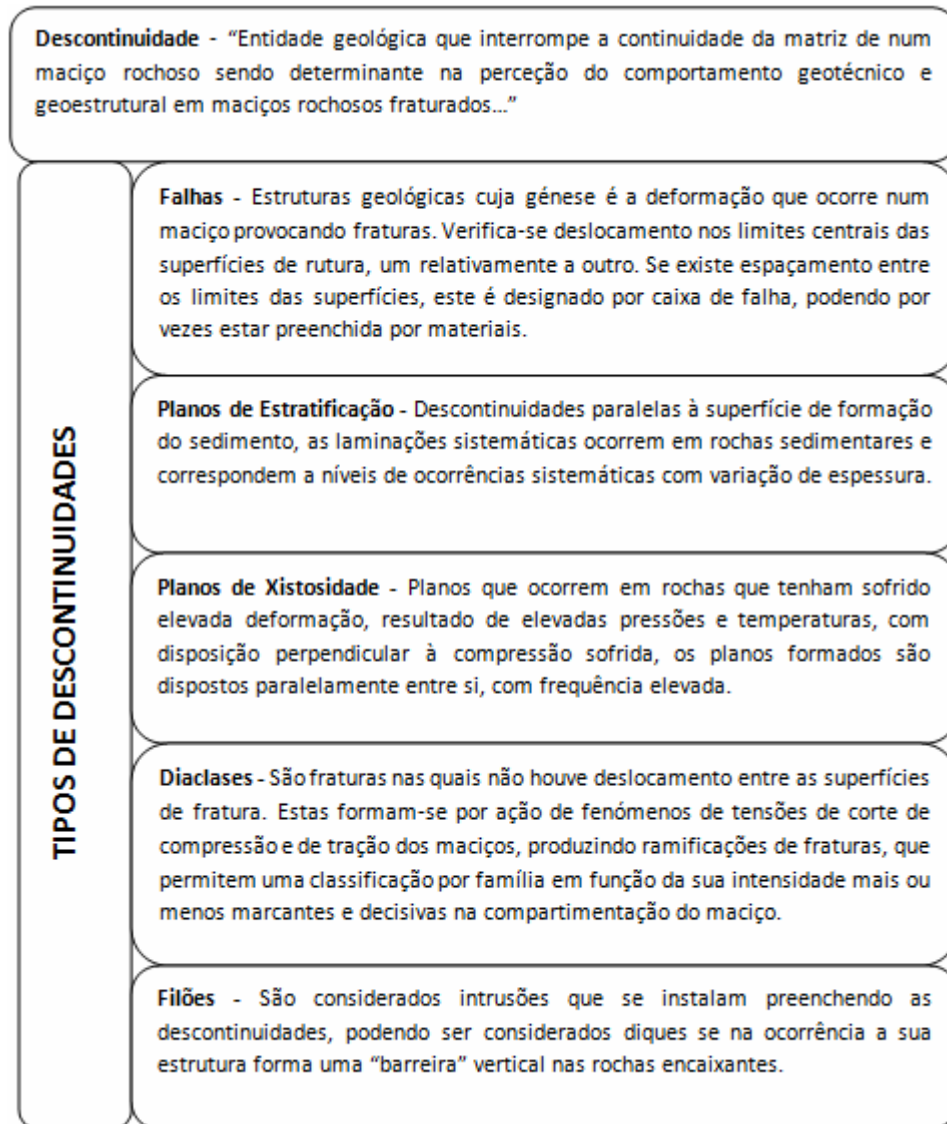


Figura 11 - Breve descrição dos Tipos de Descontinuidades (adaptado de ISRM 1978, Rocha 1981; G. Vallejo e Mercedes Ferrer, 2011)

2.3.3. PROPRIEDADES GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS DAS DESCONTINUIDADES

Na caracterização de um maciço rochoso, com a respectiva descrição e detalhe exaustivo das suas descontinuidades e do seu tipo, é comum serem considerados parâmetros físicos e geométricos que permitam conhecer melhor as suas propriedades e classificar o maciço rochoso em estudo (ISRM 1978, 1981). Esses parâmetros são recolhidos em trabalho de campo, com actuação sistematizada na recolha de informação e com o auxílio de normas e procedimentos criteriosos, que se encontram estabelecidos com determinada nomenclatura (ISRM 1978, 1981), cujo objectivo é facilitar a compreensão e entendimento factual e técnico dos elementos tratados (Gonzalez de Vallejo et al., 2002).

Na Figura 12 encontram-se representadas as principais propriedades que habitualmente são mensuradas em cada uma das discontinuidades levantadas, de forma a permitir caracterizar o maciço e obter a configuração do seu bloco unitário. Algumas das propriedades evidenciadas, configuram em termos práticos e com objectividade o comportamento mecânico expectável do maciço rochoso.

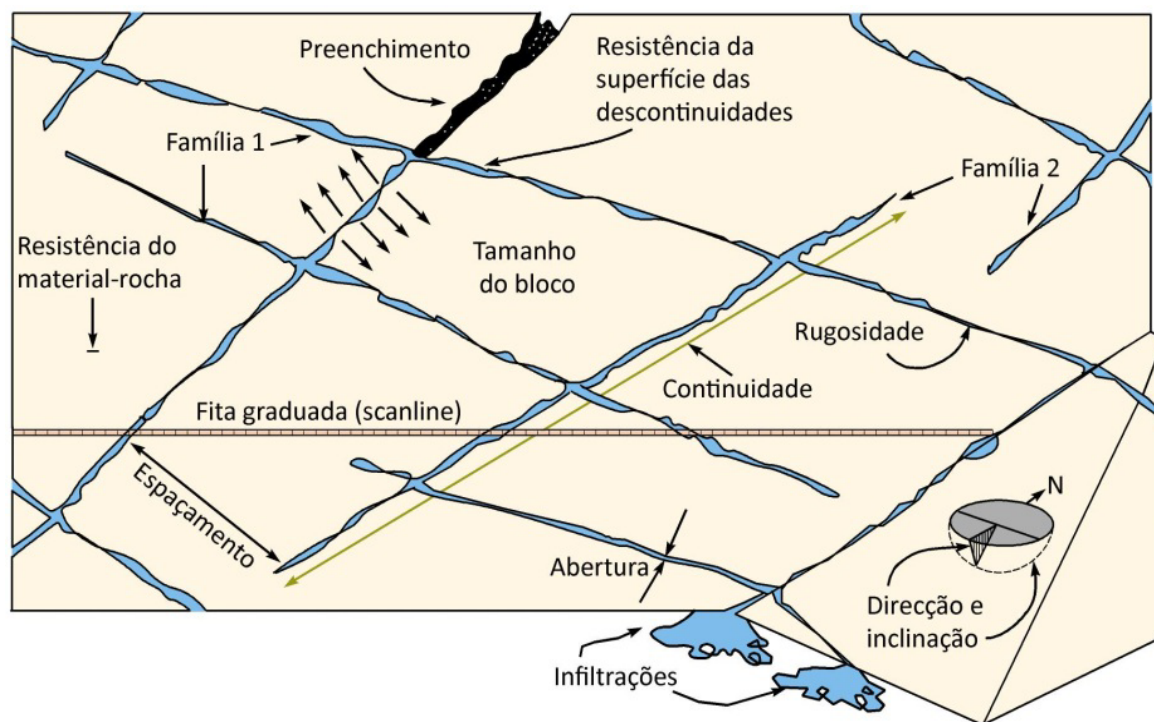


Figura 12 - Representação esquemática das propriedades geológico-geotécnicas das descontinuidades (adaptado de Hudson & Harrison, 2000).

As propriedades que habitualmente são objecto de estudo em campo são os que a seguir se apresentam na imagem da Figura 13, nunca sem descurar toda uma observação para além dessas, complementando sempre que possível a informação já recolhida, mesmo que esta não pareça no momento ser relevante.

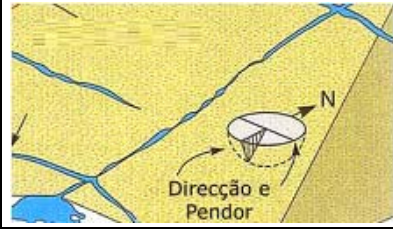

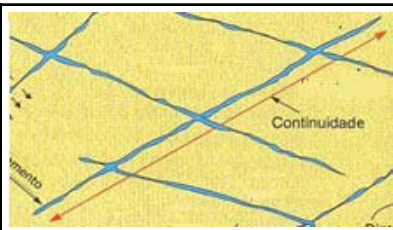


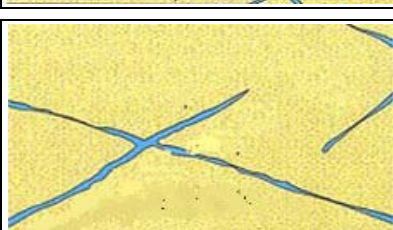

	<p>A Orientação - As discontinuidades consideradas sistemáticas estão distribuídas pelo maciço de forma cadenciada e frequência, em determinada matriz que apresentam propriedades similares entre si, formando famílias que configuram a blocometria do maciço rochoso.</p>
	<p>O Espaçamento – Valor medido na perpendicular entre os planos sequenciais das discontinuidades de uma mesma família e condicionante da blocometria do maciço assim como do comportamento mecânico do maciço rochoso. Espaçamentos reduzidos, indicam baixa resistência do maciço.</p>
	<p>A Continuidade – Sendo definida como a extensão em que persiste o plano da discontinuidade, numa medida longitudinal no alinhamento do plano, obtida pela observação dos afloramentos rochosos, cuja classificação pode ser do tipo Contínua, Sub-Contínua ou Descontínua.</p>
	<p>A Rugosidade – Esta avaliação é feita nas superfícies das discontinuidades pela observação da ondulação e da rugosidade. Determina a resistência ao corte de um plano de discontinuidade, na qual uma maior rugosidade, se relaciona com uma maior resistência ao corte.</p>
	<p>A Abertura – Medida na perpendicular entre as paredes de uma discontinuidade, é um parâmetro de amplitude variável e pode o espaço apresentar um preenchimento por diversos materiais, que são registados. Este parâmetro é importante na determinação da resistência ao corte e permeabilidade, com estabelecimento de fluxos hidrológicos no maciço.</p>
	<p>O grau de alteração - Avaliação do estado desagregação que as discontinuidades apresentam, e classificadas em função das evidências numa escala que vai de W1, rocha sã, até W5, completamente alterada.</p>
	<p>A presença de água - As discontinuidades fornecem uma rede natural para um fluxo da água nessas ramificações, sendo a sua percepção importante para o fornecimento de indicações quanto á estabilidade do maciço e adequação de procedimentos função do objectivo em análise.</p>

Figura 13 - Quadro esquemático, representativo das principais características geológico-geotécnicas das discontinuidades (adaptado de Gonzalez de Vallejo et al., 2002) (ISRM, 1978, 1981)

O estado de alteração de um maciço rochoso ou do seu material rocha constituinte, é um aspecto deveras importante a ter em conta na avaliação do estudo a concluir sobre o maciço.

A ISRM (1978, 1981) propõe 5 graus de estágio para a classificação, podendo ainda esta escala ser reduzida, sendo a classificação resumida em apenas 3 estágios de classificação, conforme se pode observar no Quadro 4.

Quadro 4 - Classificação em graus de alteração propostos pela ISRM (1981).

GRAU DE ALTERAÇÃO	NOMENCLATURA		CARACTERÍSTICAS	
SÃ OU NÃO ALTERADA	W_1	W_{1-2}	Não se observam sinais de alteração na matriz rochosa.	Rocha sã a Ligeiramente alterada
LIGEIRAMENTE ALTERADA	W_2		Mudanças na cor original da matriz rochosa (descoloração). Registrar qual o mineral com mudança de coloração e se possível indicar o grau de descoloração.	
MODERADAMENTE ALTERADA	W_3	W_3	Menos de metade do material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo, mantendo-se a petrofábrica original.	Rocha medianamente alterada
MUITO ALTERADA	W_4	W_{4-5}	Mais de metade do material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo. A rocha é muito friável.	Rocha muito alterada a decomposta
COMPLETAMENTE ALTERADA	W_5		Todo o material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo residual.	

O grau de Fracturação ou fracture intercept, (ISRM, 1981), que é obtido pela distância média segundo uma medição consecutiva de todas as descontinuidades que interceptem sucessivamente a linha de amostragem (Scanline), configurando claramente um espaçamento médio, medido entre as descontinuidades da face exposta do extracto rochoso analisado. Sendo considerado também, quando possível, a obtenção do espaçamento existente entre cada uma das principais famílias, obtido pela leitura na perpendicular aos respectivos planos da mesma família, conforme a imagem da Figura 14 nos mostra os “F1, F2, F3” referindo-se às famílias presentes no maciço rochoso, e que configuram o seu espaçamento, medido entre as faces dos planos de uma dada família, e que evidenciam no maciço rochoso os mesmos planos.

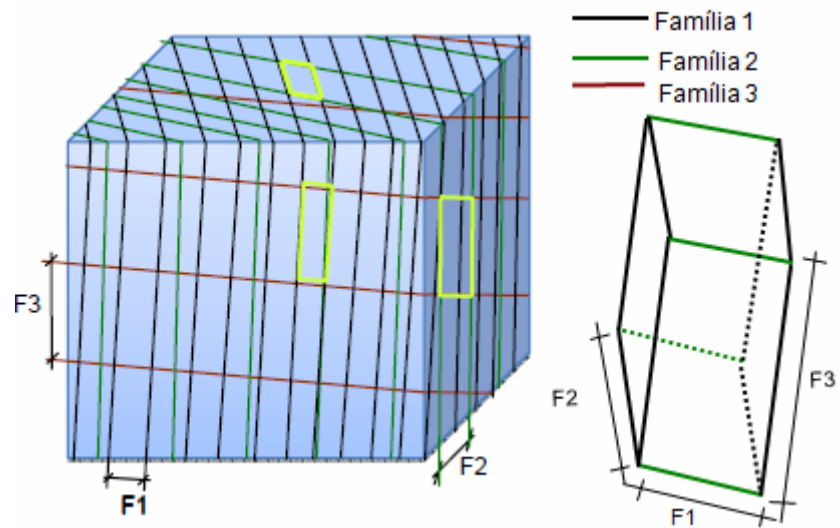


Figura 14 - Espaçamento medido entre descontinuidades na face exposta do maciço rochoso (adaptado de ISRM, 1981; Gonzalez de Vallejo et al., 2002)

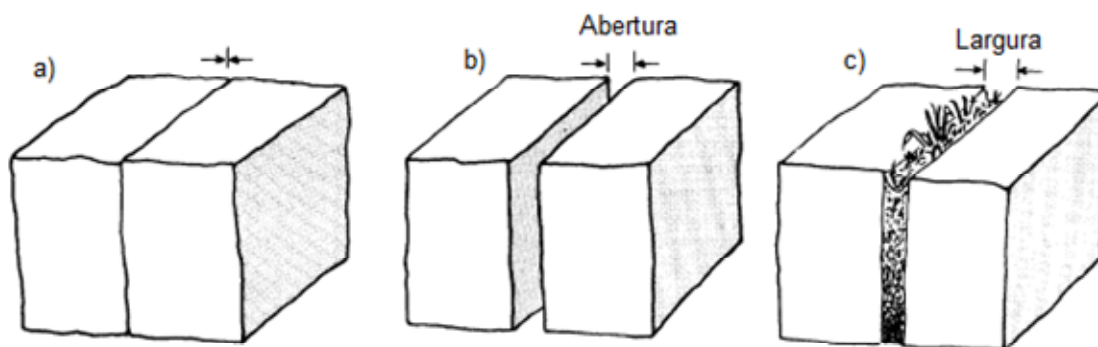
Este parâmetro é obtido com as leituras medidas através de uma fita métrica, que é aplicada na face exposta do afloramento, (Dinis da Gama, 1995; Chaminé & Gaspar, 1995; Brady & Brown, 2004) e deve ser aplicada em estrutura representativa da frequência das descontinuidades.

Utilizando os critérios do ISRM (1978, 1981) deverá ser usado o espaçamento médio das descontinuidades para a sua caracterização. (Quadro 5)

Quadro 5 - Nomenclatura do espaçamento relativo às descontinuidades (adaptado da ISRM, 1978, 1981).

INTERVALOS (cm)	NOMENCLATURA		DESIGNAÇÃO	
>200	F ₁	F ₁₋₂	Muito Afastadas	Afastadas
60 - 200	F ₂		Afastadas	
20 - 60	F ₃	F ₃	Medianamente Afastadas	
6 - 20	F ₄	F ₄₋₅	Próximas	Próximas
<6	F ₅		Muito Próximas	

A abertura das discontinuidades é também uma propriedade importante na avaliação de maciços rochosos. Este item, a abertura das discontinuidades, avalia a existência de uma separação física entre as paredes das discontinuidades medidas, e de um preenchimento (imagem da Figura 15).



a) Descontinuidade fechada; b) Descontinuidade aberta; c) Descontinuidade preenchida.

Figura 15 - Esquematização das definições das aberturas das discontinuidades (adaptado ISRM,1978).

É comum a “abertura” nos maciços rochosos reduzir em profundidade. Os maciços geralmente apresentam tendência para a redução das fracturações em profundidade, conseqüentemente reduzindo também a abertura. Esta característica influencia e muito a resistência ao corte, a deformabilidade e a permeabilidade dos maciços rochosos. A abertura de uma descontinuidade é a distância média entre duas paredes da descontinuidade, medida segundo a normal a essas superfícies na sua exposição visível, segundo a ISRM (1978,1981) que propõem os valores apresentados no Quadro 6.

Quadro 6 - Abertura das descontinuidades (adaptado da ISRM, 1981).

ABERTURA (mm)	DESCRIÇÃO	CARACTERÍSTICAS
<0,1	Muito Apertada	Fechada
0,1-0,25	Apertada	
0,25-0,5	Parcialmente Aberta	
0,5-2,5	Aberta	Aberta
2,5-10	Razoavelmente Larga	
>10	Larga	
10-100	Muito Larga	Muito Aberta
100-1000	Extremamente Larga	
>1000	Cavernosa	

O preenchimento de uma descontinuidade como já referido anteriormente, proporciona condições para acumulação de materiais, com forte probabilidade de que pertençam aos materiais pétreos envolventes, que possam ter sofrido alterações sendo geralmente definidos como materiais de baixa resistência.

É comum que o enchimento ocorra com materiais brandos argilosos, do mesmo material das paredes encaixantes ou até com material rochoso de natureza diferente. As propriedades físicas e mecânicas do enchimento tais como a resistência ao corte, a deformabilidade e a permeabilidade, podem ser muito variáveis, e controlam o comportamento das descontinuidades.

A adequada e a mais completa possível caracterização física e mecânica do material que compõe o enchimento da descontinuidade é de valiosa importância, pois informações sobre a percepção relativa à permeabilidade e espessura por exemplo, condicionam os modos de percolação da água nessas descontinuidades.

Determinadas actividades que possam ser influenciadas por este parâmetro, como por exemplo a perfuração irão ter comportamentos não expectáveis durante a sua execução.

A Rugosidade é outro parâmetro importante na observação das superfícies que constituem as paredes das descontinuidades, ocorrendo geralmente com diferentes perfis de irregularidade (Denteada, Ondulada, Plana).

O índice de rugosidade presente nas descontinuidades irá condicionar a sua resistência ao corte, isto é, quanto maior a rugosidade, maior será a resistência ao corte, e em sentido inverso com diminuição dessa resistência, quanto maior a abertura das descontinuidades, geralmente associada à espessura do seu preenchimento, menor será a sua resistência.

No Quadro 7 encontram-se reunidas em função da forma do perfil das paredes das descontinuidades e dos níveis de rugosidade relativo a cada perfil, uma classificação proposta pela ISRM (1978,1981), para que em trabalho de campo, através da observação das paredes das descontinuidades nos afloramentos, possibilitem comparações com os padrões propostos.

Quadro 7 - Classificação e perfis de rugosidade das continuidades (adaptado da ISRM, 1981, Gonzalez de Vallejo et al., 2011).

FORMA DO PERFIL	CLASSE	DESCRIÇÃO	NOMENCLATURA	ESQUEMA
DENTEADA	I	Lisa a Algo Rugosa	R ₁₋₂	
	II	Rugosa	R ₃	
	III	Muito Rugosa	R ₄₋₅	
ONDULADA	IV	Lisa a Algo Rugosa	R ₁₋₂	
	V	Rugosa	R ₃	
	VI	Muito Rugosa	R ₄₋₅	
PLANA	VII	Lisa a Algo Rugosa	R ₁₋₂	
	VIII	Rugosa	R ₃	
	IX	Muito Rugosa	R ₄₋₅	

A influência das características geomecânicas das paredes do material-rocha, que configuram a blocometria, na sua maior parte através das descontinuidades dos maciços fracturados, são aspectos a serem avaliados e que condicionam a resistência à compressão do material rocha, sendo comum conhecer o nível de alteração e a dureza do material, com o auxílio do esclerómetro portátil (martelo de Schmidt), podendo também ser avaliada com recurso à percepção ao toque no maciço com o uso do martelo de geólogo.

As ISRM (1978) propõem uma classificação em graus (Quadro 8) cujo intervalo vai de R0, rocha muito fraca, até R6 a que corresponde uma rocha estruturalmente muito resistente.

Quadro 8 - Classificação na caracterização da resistência das descontinuidades (adaptado da ISRM, 1978).

GRAU	DESCRIÇÃO	CARACTERÍSTICAS	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL APROXIMADA (MPa)
R0	Rocha muito branda	Marcada pela unha do polegar.	0,25 - 1
R1	Rocha branda (I)	Fragmentada com pancadas firmes percutidas com a ponta do martelo de geólogo. Pode ser cortada em fatias com um canivete.	1 - 5
R2	Rocha branda (II)	Pode ser cortada com dificuldade em fatias com um canivete. Marcas superficiais obtidas com pancadas firmes percutidas com a ponta do martelo de geólogo.	5 - 25
R3	Rocha razoavelmente resistente	Não pode ser esmigalhada ou cortada em fatias com canivete. Podem-se obter fragmentos de rocha com uma pancada seca do martelo de geólogo.	25 - 50
R4	Rocha resistente	Podem-se obter fragmentos dando mais de uma pancada seca com o martelo de geólogo.	50 - 100
R5	Rocha muito resistente	Para se obterem fragmentos são necessárias muitas pancadas com o martelo de geólogo.	100 - 250
R6	Rocha extremamente resistente	Apenas se obtêm lascas percutindo com o martelo de geólogo.	> 250

A descrição e a representação das características e propriedades da matriz do maciço rochoso e das descontinuidades que o constituem, configuram os elementos necessários para a avaliação geomecânica geral de um maciço rochoso (González de Vallejo et al., 2002), sendo necessário obter pelo menos uma forma qualitativa através da observação das correspondentes características de um maciço rochoso, com influência no seu comportamento mecânico, como a resistência, a deformabilidade o comportamento hidrogeológico. Permite a partir destes elementos classificar e estimar a qualidade dos parâmetros de resistência do maciço rochoso nomeadamente em termos do grau de meteorização do maciço e das descontinuidades que o constituem. No Quadro 9 é apresentada uma classificação função da observação e avaliação da alteração meteórica visível num maciço rochoso (ISRM, 1981).

Quadro 9 - Descrição do grau de alteração meteórica (adaptado da ISRM, 1981).

TERMO	DESCRIÇÃO
Fresca ou sã	Não se observa sinais de meteorização na matriz rochosa.
Descolorada	Observam-se mudanças na coloração da matriz rochosa.
Desintegrada	A rocha é friável, apesar dos grãos minerais não estarem decompostos, mantendo-se a petrofábrica original.
Decomposta	A maioria dos minerais estão decompostos e não se reconhece a petrofábrica original.

A continuidade ou persistência de uma dada descontinuidade, é a avaliação medida do seu plano de incursão observado no maciço rochoso. A ISRM (1978,1981) estabeleceu cinco classes em função do seu comprimento, sendo deste modo classificadas quanto à sua continuidade ou persistência (Quadro 10).

Quadro 10 - Descrição da continuidade das descontinuidades (adaptado da ISRM, 1981).

COMPRIENTO (cm)	CONTINUIDADE
< 1	Muito pouco contínuas
1 – 3	Baixa continuidade
3 – 10	Continuidade média
10 – 20	Continuidade alta
> 20	Continuidade muito alta

Outras características que são importantes para o conhecimento global nomeadamente do estado de fracturação do maciço: a terminação, que nos indica se o maciço é mais ou menos fracturado função da frequência do tipo da terminação das suas descontinuidades, o tipo de curvatura de uma descontinuidade, assim como o conhecimento da percolação de água no maciço (Quadro 11). Neste deve-se fazer a avaliação do nível freático, das direcções de fluxo, das filtrações e das insurgências nas redes de permeabilidade micro e macro que se inserem no maciço rochoso, identificando ainda vias preferenciais para a passagem de água e estabelecendo potenciais problemas de estabilidade e de componente construtiva se for o caso (González de Vallejo et al., 2002).

Quadro 11 - Outras características das descontinuidades; a) Tipo de terminação (adaptado de Gonzalez de Vallejo et al., 2002); b) Tipos de curvatura das superfícies das descontinuidades (adaptado de Bieniawski, 1989); c) Tipo de presença de água (adaptado de Bieniawski, 1989).

a)

NOMENCLATURA	DESIGNAÇÃO	DESCRIÇÃO
R	Rocha	A descontinuidade dissipa-se no maciço rochoso.
D	Descontinuidade	A descontinuidade termina ao interceptar uma outra descontinuidade.
O	Obscura	Não se consegue contemplar a terminação da descontinuidade.

b)

NOMENCLATURA	DESIGNAÇÃO
C ₁₋₂	Planas a Ligeiramente Curvas
C ₃	Curvas
C ₄₋₅	Muito Curvas

c)

NOMENCLATURA	DESIGNAÇÃO
S	Seco
H	Húmido
G	Gotejante
F	Fluxo

2.3.4. TÉCNICA DE AMOSTRAGEM LINEAR

A técnica de amostragem linear aplicada às descontinuidades existentes em superfícies expostas dos maciços rochosos, através de uma cartografia por domínios ou áreas representativas do maciço rochoso, está amplamente descrita, entre outros, por Priest & Hudson (1981), Priest (1993), Chaminé & Gaspar (1995), Dinis da Gama (1995), CFCFF (1996), Hudson & Harrison (2000), Peacock et al. (2003), Brady & Brown (2004), Greco & Sorriso-Valvo (2005), Teixeira et al. (2007), Scesi & Gattinoni (2009) e Chaminé (2010). Com o recurso a esta técnica, recolhem-se dados de forma expedita, ao longo de linhas de amostragem representativas (scanline ou scanline grids), que permitem, por extrapolação, definir o grau de alteração, o grau de compartimentação e o grau de resistência do maciço de uma dada área em estudo. A sua aplicação minimiza muitos erros patentes em estudos de fracturação de maciços rochosos, seja pela falta de representatividade ou pela aleatoriedade da sua amostragem (e.g., Terzaghi, 1965; Priest, 1993; Baddeley et al., 2004; Chaminé, 2010). Na impossibilidade, do ponto de vista prático, de se estudar exaustivamente a compartimentação do maciço rochoso na totalidade do território relativo a uma dada área de estudo, opta-se, em regra, por realizar essas investigações mediante uma amostragem que seja representativa de todo o maciço (Chaminé, 2010).

A técnica de amostragem linear consiste, basicamente, na colocação de uma fita graduada (em metros) nos taludes/afloramentos rochosos (tomam a designação de painéis) a serem cartografados, aproximadamente a 1,20 - 1,50 m do solo (Chaminé & Gaspar, 1995) (Figura 16).

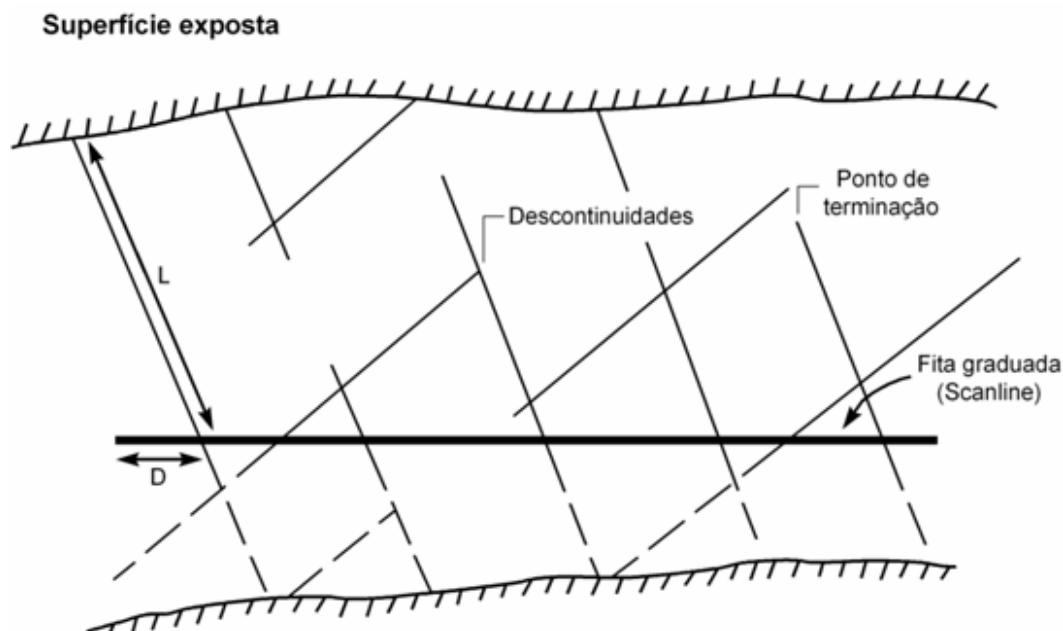


Figura 16 - Esquema do dispositivo para levantamento de descontinuidades pela técnica de amostragem linear em superfícies expostas do maciço rochoso (adaptado de Singhal & Gupta 2010). D - distância à origem da fita graduada ("scanline"); L - semi-comprimento exposto.

Para cada talude (ou painel) cartografado, depois de colocada a fita graduada a partir do ponto de origem de cada linha de amostragem, são cartografadas de forma sistemática todas as superfícies expostas do maciço e registadas, através de uma cartografia de painéis, as características (especialmente geológicas, geotécnicas, geomecânicas) de todas as descontinuidades intersectadas pela fita graduada. Esta técnica negligencia a representatividade das descontinuidades sub-horizontais, pois encontram-se subparalelas à fita graduada, no entanto, sempre que estas forem detectáveis deverão ser registadas e cartografadas. Se, porventura, numa análise visual da frente exposta do maciço se verificar que as descontinuidades horizontais (e/ou sub horizontais) são as mais representativas, a técnica de amostragem linear deverá ser complementada com aplicação de uma fita graduada na vertical (Singhal & Gupta, 2010). Cada ponto de amostragem (denominado por estação geotécnica) é descrito e registado em fichas de levantamento baseadas na proposta da ISRM (1981), relativa à descrição geotécnica de maciços rochosos com a denominação de "Basic Geotechnical Description of Rock Masses" (BGD).

Todavia, há novos desenvolvimentos na aplicação desta técnica, recorrendo-se à aplicação de sistemas de informação geográfica e técnicas avançadas de geoposicionamento global de alta precisão (e.g., Reid & Harrison, 2000; Slob et al., 2004).

As propriedades e características das discontinuidades detectadas em face exposta de afloramento rochoso, são registadas em ficha de levantamento adaptada para o efeito.

Esse levantamento é realizado através do método da amostragem linear, conforme já foi atrás mencionado, com registo de todas as discontinuidades que interceptam a fita métrica, sendo por vezes necessário adaptar projecções à fita métrica para aquelas que são importantes mas que não a interceptam, como por exemplo de algumas discontinuidades subhorizontais, que ocorrem acima ou abaixo da posição da fita, e que também são devidamente registadas conforme determinado pela ISRM (1978, 1981) Brady & Brow (2001), em ficha do tipo imagem da Figura 17.

2.4. PARÂMETROS DO MACIÇO ROCHOSO

A determinação dos parâmetros relativos a um maciço rochoso tem por base a recolha compilação e análise dos elementos recolhidos previamente pela observação e pelo estudo do maciço rochoso no seu afloramento e para os quais devem ser considerados os seguintes itens:

- ✓ *A caracterização do maciço em termos de representação das famílias de descontinuidades presentes;*
- ✓ *A dimensão dos blocos e a intensidade de fracturação;*
- ✓ *O grau de alteração.*

No estudo de um maciço rochoso é aconselhável medir um número suficiente de descontinuidades para definir cada família. O número de medidas dependerá da dimensão da zona estudada, da aleatoriedade das orientações dos planos e dos detalhes em análise adequados ao caso em estudo.

Se as orientações são relativamente constantes poder-se-á reduzir o número de medidas. Assim, considera-se família de descontinuidades como o conjunto de todas as descontinuidades que apresentam idêntica orientação (Rocha, 1981).

Após a medição das descontinuidades no campo, é efectuado o tratamento estatístico dos dados através de diagramas geológico-estruturais (ISRM, 1978; Hudson & Priest, 1983; Priest, 1993; Lisle & Leyshon, 2004), recorrendo-se usualmente à projecção estereográfica polar para produzir os diagramas designados de contorno estrutural. Este processo de tratamento permite o agrupamento das descontinuidades em famílias, bem como avaliar a representatividade das distintas famílias de descontinuidades que compartimentam o maciço rochoso.

A representação gráfica da atitude das diferentes famílias de descontinuidades pode ser realizada mediante diagramas geológico-estruturais (nomeadamente os diagramas de contorno estrutural e os diagramas de rosetas) permitem uma visão geral das famílias e sua orientação.

Os diagramas de rosetas permitem representar e visualizar as orientações das famílias principais. Recorrendo à projecção estereográfica (em regra, hemisfério inferior e rede estereográfica de Schmidt-Lambert), pode-se representar os pólos e os planos estruturais das diferentes famílias (Figura 18).

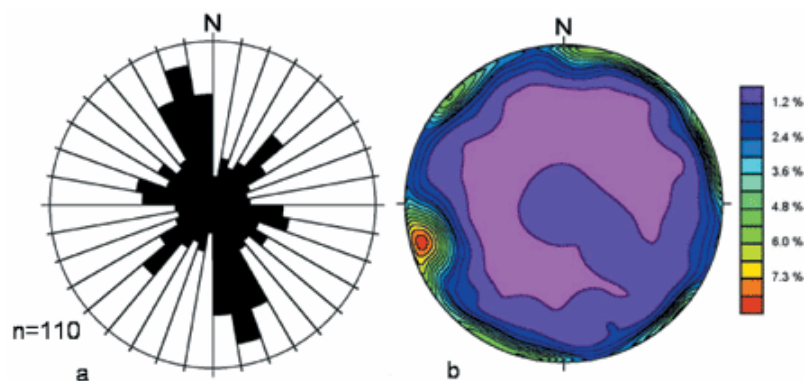


Figura 18 - Diagramas geológico-estruturais sinópticos produzidos com auxílio de programas geoinformáticos. a) Diagrama de roseta mostra as direcções das descontinuidades medidas. b) Diagrama de contorno estrutural mostrando a distribuição dos pólos das descontinuidades medidas.

Os dados recolhidos ao longo do trabalho de campo são estudados numa perspectiva de conhecimento geo-estrutural do maciço rochoso ou da zona em estudo. Nesta fase as descontinuidades são agrupadas por “Famílias” função da sua atitude, que é obtida pela sua direcção (intersecção da descontinuidade com um plano horizontal) e inclinação (pendor do plano com a horizontal).

Quadro 12 - Classificação dos maciços rochosos, função do número de Famílias de descontinuidades presentes (ISRM, 1981).

TIPO DE MACIÇO ROCHOSO	NÚMERO DE FAMÍLIAS
I	Maciço compacto, com algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.
II	Uma família de descontinuidades.
III	Uma família de descontinuidades e ainda algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.
IV	Duas famílias de descontinuidades.
V	Duas famílias de descontinuidades e ainda algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.
VI	Três famílias de descontinuidades.
VII	Três famílias de descontinuidades e ainda algumas descontinuidades ocasionais dispostas aleatoriamente.
VIII	Quatro ou mais famílias de descontinuidades.
IX	Maciço de rocha esmagada, com o aspecto idêntico ao de um solo.

Esta análise representa o conhecimento mais aprofundado, geológico e estrutural do maciço, configurando uma possível classificação em função do número de famílias presentes no maciço rochoso (Quadro 12), segundo proposta da ISRM (1978).

Um conjunto de famílias de descontinuidades que é característico de uma dada zona do maciço, define um sistema de famílias.

As famílias de descontinuidades podem ser representadas graficamente mediante a construção de bloco-diagramas, permitindo assim a visualização espacial da sua orientação relativa e do tamanho e forma dos blocos de matriz rochosa (Figura 19).

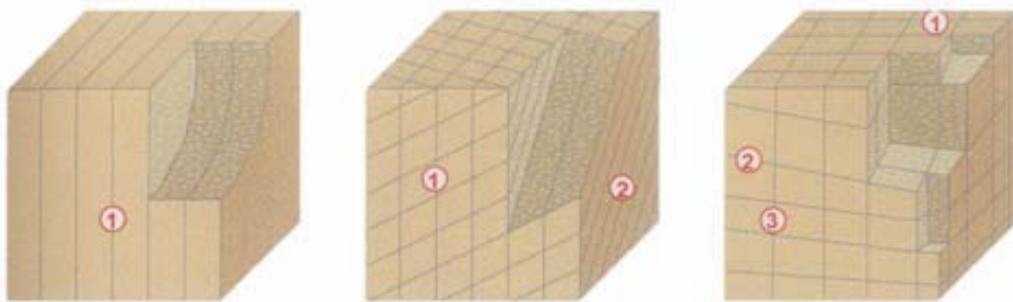


Figura 19 - Representação do número de famílias mediante bloco-diagramas (adaptado de González de Vallejo et al., 2002).

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 20).

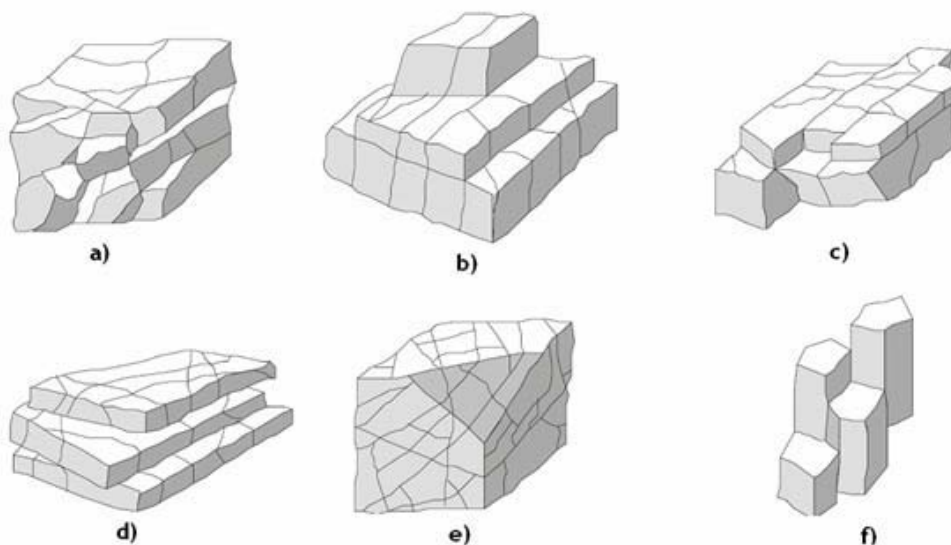


Figura 20 - Exemplos de formas geométricas relacionadas com o padrão da fracturação (Palmström, 1995). a) blocos poliédricos, b) blocos equidimensionais, c) blocos prismáticos, d) blocos tabulares, e) blocos romboédricos, f) blocos colunares.

O tipo de fracturação que os maciços apresentam, irá definir a geometria que configura o bloco unitário. Para tal é necessário conhecer a orientação das descontinuidades, o espaçamento na perpendicular aos planos, entre descontinuidades da mesma família e a sua persistência. Esta dedução de bloco unitário orienta os trabalhos na conceptualização nomeadamente de um diagrama de fogo e conseqüentemente na sua optimização. A forma e a dimensão do bloco são aspectos deveras importantes na caracterização do maciço rochoso, obtidos a partir da orientação e do número de famílias das descontinuidades no primeiro aspecto e da persistência e espaçamento relativo no segundo.

A determinação da dimensão do bloco pode ser obtida pelo I_b ("Block Size Index"), definido pelas dimensões médias dos blocos medidos no maciço rochoso ($I_b=(e_1+e_2+e_3)/3$), não sendo comumente aplicado para mais de três famílias devido a erros que lhe estão acometidos e pelo J_v ("Volumetric Joint Count"), este o habitualmente utilizado. O J_v é definido pela totalidade das descontinuidades de cada família manifestadas numa unidade de volume ($1m^3$) de maciço rochoso. Pela dificuldade de conhecer o afloramento no estado natural nas dimensões requeridas, é realizado um levantamento das descontinuidades que interceptam um dado comprimento, obtido pela leitura perpendicular aos planos de fracturação de cada uma delas, numa extensão entre 5 e 10 metros e dada pela expressão (J_v) seguinte, sendo e_n dado pelo espaçamento médio de cada família de descontinuidades e apresentado no Quadro 13 a descrição dos blocos função de J_v .

$$J_v = \frac{1}{e_1} + \frac{1}{e_2} + \frac{1}{e_3} \quad [1]$$

Quadro 13 - Classificação dos blocos a partir do índice volumétrico J_v (adaptado da ISRM (1978))

Descrição dos Blocos	J_v (descontinuidades/ m^3)
Muito grandes	< 1
Grandes	1 - 3
Médios	3 - 10
Pequenos	10 - 30
Muito pequenos	> 30

A ISRM (1978) propõe uma classificação em seis tipos de maciços rochosos, função do tamanho e forma dos blocos, apresentada no Quadro 14.

Quadro 14 - Classificação dos blocos de material rocha a partir da dimensão e da forma dos blocos (adaptado de ISRM, 1978)

CLASSE	TIPO DE MACIÇO	CARACTERISTICAS
I	Compacto	Poucas descontinuidades ou espaçamento muito largo
II	Cúbico	Blocos aproximadamente equidistantes
III	Tabular	Blocos com uma dimensão (segundo a horizontal) consideravelmente menor que as outras duas
IV	Colunar	Blocos com uma dimensão (segundo a vertical) consideravelmente maior que as outras duas
V	Irregular	Grandes variações no tamanho e forma dos blocos
VI	Esmagado	Blocos com dimensões bastante pequenas

A intensidade de fracturação presente num dado maciço rochoso é habitualmente determinada pelo índice RQD “Rock Quality Designation”, Deere et al. (1967). A sua aplicação é limitada por não caracterizar globalmente todos os parâmetros devidos na caracterização da fracturação dos maciços rochosos, nomeadamente orientação, preenchimento, entre outros.

É possível classificar material-rocha a partir de uma classificação (Quadro 15). O índice RQD pode ser determinado segundo Palmström (1975), a partir das faces expostas dos afloramentos rochosos com a aplicação de correlações empíricas, considerando o valor do índice J_v , nas quais:

$$\text{RQD} = 115 - 3,3 \times J_v \quad \text{para } J_v > 4,5 \quad [2]$$

$$\text{RQD} = 100 \quad \text{para } J_v \leq 4,5 \quad [3]$$

Por outro lado o índice RQD também é possível determinar a partir da frequência das descontinuidades (λ), na qual λ equivale ao inverso do espaçamento médio das descontinuidades, com recurso à seguinte expressão (Priest, 1993):

$$\text{RQD} \approx 100 \exp^{(-0,1\lambda)} \times (0,1 \times \lambda + 1) \quad [4]$$

Quadro 15 - Classificação dos blocos de material rocha a partir do valor do RQD

RQD (%)	QUALIDADE DO MACIÇO ROCHOSO
0 - 25	Muito fraca
25 - 50	Fraca
50 - 75	Razoável
75 - 90	Boa
90 - 100	Excelente

2.5. DESMONTE DE MACIÇOS ROCHOSOS

2.5.1. GENERALIDADES

A actividade de desmonte de maciços rochosos com o recurso a explosivos, consiste no destaque de uma determinada porção do maciço, que deverá seguir uma orientação técnica, tendo em conta o objectivo a atingir. Na generalidade os custos das operações a jusante do desmonte serão tanto menores quanto menor for o resultado da amplitude da curva granulométrica resultante do desmonte (Galiza, *et al.* 2008).

Nesta actividade é fundamental o conhecimento prévio acerca do maciço rochoso, nomeadamente os parâmetros geológico-estrutural, geotécnico e geomecânicos.

A actividade de desmonte compreende basicamente um ciclo de operações que é constituído pela perfuração, pelo carregamento com explosivos e pela sua detonação, sempre numa perspectiva de optimização técnica-económica do desmonte (Galiza, *et al.* 2011).

A operação de perfuração na perspectiva da produção de agregados é a primeira de um principal ciclo de quatro fases, sendo por isso considerada determinante na concepção e na qualidade do produto final, assim como do seu custo.

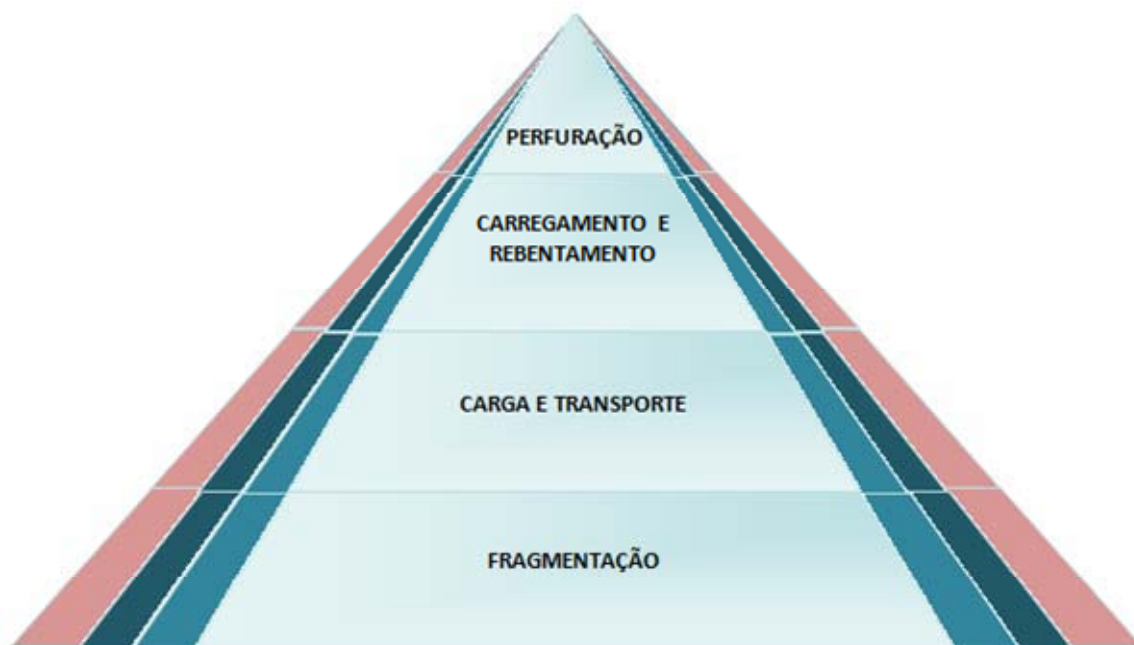


Figura 21 - Pirâmide representativa das atividades básicas de desmonte.

Na Figura 21 as actividades estão sequenciadas e relacionadas entre si e evidencia como os ajustamentos no custo de cada uma das operações influenciam e incrementam os custos das operações seguintes. Conforme representado na Figura 21, a amplitude de desvio face ao inicial previsto (azul claro), pode parecer residual na parte da perfuração, mas a sua influência nas operações seguintes é determinante, tanto no carregamento e rebentamento, como no transporte e na fragmentação.

O controlo de custos associado a estas operações indica que a sua distribuição por estas operações (Figura 22), é em termos médios de aproximadamente: 10% para a Perfuração, 10% para o carregamento com explosivos, cerca de 5% para fragmentação secundária, 40% para carga e transporte e de 35% para a fragmentação (britagem) (adaptado de Sandvik).



Figura 22 - Distribuição da percentagem de custos produção em agregados (adaptado de Sandvik; Ramos, 2010)

A actividade da perfuração, como é a primeira no fluxograma da programação de trabalhos, é considerada como a operação mais importante, pois é por ela que é iniciado o processo e também a que mais influencia as restantes, nomeadamente se a granulometria resultante do desmonte realizado se encontrar num determinado fuso granulométrico (Figura 23).

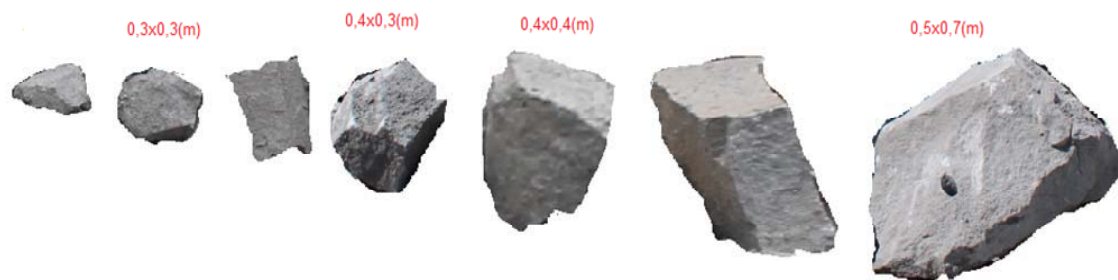


Figura 23- Distribuição granulométrica possível da resultante de uma pega (dimensões).

Um desmonte cujo resultado proporcione um fuso com uma granulometria como o exemplo da imagem anterior, não deverá provocar impedimentos no normal desenrolar das operações seguintes.

Quando as dimensões máximas dos blocos admissíveis são ultrapassadas, quer para os equipamentos de transporte quer para a fragmentação, como exemplo o bloco constante na imagem da Figura 24, cujas dimensões aferidas no local configuram uma blocometria que necessita obrigatoriamente de tratamento com uma fragmentação secundária.



Figura 24 - Bloco resultante de pega, SecilBritas, Julho de 2013.

Neste caso, será necessário promover a fragmentação secundária, recorrendo normalmente a meios mecânicos para a sua fragmentação, provocando a diminuição da produtividade e um acréscimo nos custos do rebentamento, revelando assim a necessidade de uma concepção e execução como máximo rigor possível.

A capacidade de observação e de crítica em todo o desenrolar da operação, nomeadamente com um acompanhamento e monitorização constante, resultará num trabalho com melhorias sistemáticas na qualidade.

É assim fundamental perceber e conhecer o maciço rochoso a perfurar, de forma a conseguir obter um projecto adequado aos parâmetros ou propriedades:

- ✓ *As características do maciço rochoso, como as geológico-estruturais, as geotécnicas e as geomecânicas;*
- ✓ *Equipamentos e acessórios afectos ao trabalho, assim como o “modos operandi” dos mesmos;*
- ✓ *A estrutura do diagrama de fogo adequando-o às exigências encontradas.*

As anisotropias nos maciços são bastante comuns e mesmo análises superficiais a nível do afloramento, fornecem indicações importantes para a análise e execução de trabalhos, são factores importantes muito mencionados por instituições e autores (Rocha, 1981; ISRM, 1981; Dinis da Gama, 1995; Brad & Brown 2004).

Assim é necessário estabelecer uma base de trabalho orientadora tendo como objectivo a linearidade e paralelismo da perfuração, condição essencial para que seja alcançada uma óptima distribuição do explosivo, pelo maciço rochoso, adequada ao projecto de desmonte.

É complexo mas estimulante perceber a interacção destes parâmetros numa acção global, mas também a contribuição de cada um em particular para o resultado final, e nessa análise global perceber que parâmetro ou conjugação de parâmetros, proporciona uma contribuição que provoca certa amplitude de desvios na perfuração (Ramos, 2008).

Deste modo deve ser perfeitamente perceptível a importância que os desvios implementados na perfuração de um diagrama de fogo podem vir a causar caso não sejam acauteladas interacções e abordagens adequadas, na imagem da Figura 25 podemos observar o talude de uma bancada com uma furação, onde são perfeitamente visíveis, os desvios laterais (x).

A bancada terá cerca de 18 m de altura apresentando na parte superior uma variada espessura de material solto ou material sobranete de uma subfuração (U) excessiva e não controlada.



Figura 25- Face exposta de bancada, furos e respetivos desvios. (Pedreira da Secil, Famalicão, Julho de 2013)

A subfuração é um acréscimo de furo que ultrapassa o valor da altura da bancada, no sentido inferior do furo e tem como objectivo posicionar o centro de massa da carga de fundo ao nível da rasante inferior e assegurar nesse nível um corte mais regular:

$$U = 0,3 \times V_{m\acute{a}x} \quad [5]$$

A subfuração é obtida em função de uma distância à frente ($V_{m\acute{a}x}$) conhecida, a qual conjugada com a inclinação da bancada, irá promover o corte pela soleira mantendo a cota desejada. O mau resultado de uma subfuração inadequada, na maior parte dos casos irá verificar-se com maior impacto na pega seguinte da bancada inferior, proporcionando um mau emboquilhamento com as consequências conhecidas nestes casos (Figura 25).

Para fazer face a desvios na perfuração, são comumente ajustados valores do diagrama de fogo após uma primeira dedução, com o objectivo de criar uma margem de segurança no diagrama, prevenindo precisamente expectáveis desvios, o que vai implicar um ajuste da malha do diagrama de fogo a implementar.

Este ajuste segundo Langefors & Kihlstrom (1978), é fruto de um desvio que se supõem ocorrer durante a perfuração, chamado erro da furação, é representado pela fórmula (6) sendo aplicado aos valores iniciais de distância à frente (V) e do espaçamento (E), considerando a profundidade de perfuração (H) e o diâmetro do furo (d) e em função destes parâmetros são obtidos valores suplementares para ajuste dos parâmetros anteriores ($V_{máx}$ e E), que adequam a circular ou o cilindro de comoção em torno do furo, para novos valores:

$$F = \frac{d}{1000} + 0,03 \times H \quad [6]$$

Estas necessidades em termos de alteração da geometria do diagrama de fogo, para colmatar eventuais desvios ocorrentes durante a perfuração, sendo aplicadas a todos os furos do diagrama vem influenciar a área que seria possível desmontar caso se verificasse a total linearidade e paralelismo dos furos, com contributo notável em termos económico/financeiros, à escala industrial.

2.6. DESVIOS NA PERFURAÇÃO

Os desvios que ocorrem durante a perfuração poderão ser de variada amplitude, função de factores que actuam na perfuração, Figura 26.

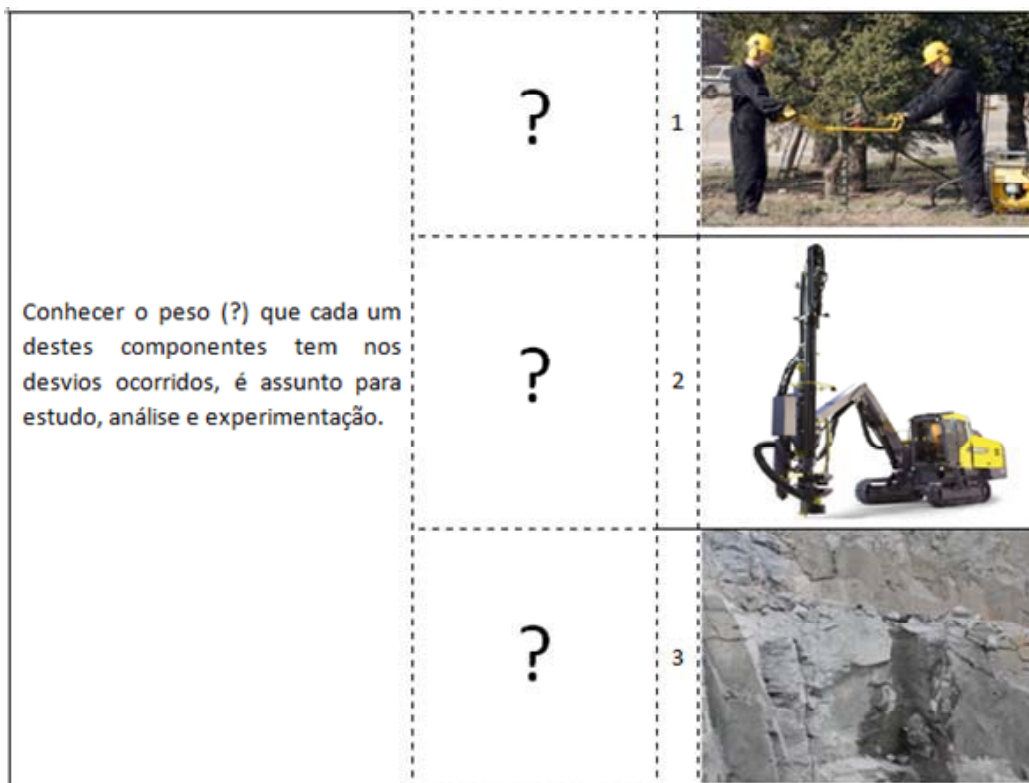


Figura 26 - Factores que influenciam os desvios, 1)Operadores, 2)Equipamento de perfuração, 3)Maciço.

Estes factores derivam com um maior ou menor peso desde o factor humano até a componente que envolve o maciço rochoso, passando pelos equipamentos e acessórios da perfuração.

Reveste-se da maior importância obter uma perfuração com qualidade sendo necessário para isso acompanhar o processo, monitorizar a execução, considerando a posição do furo e a trajectória que é percorrida, para assim permitir uma análise crítica sobre o percurso percorrido e que incidências ocorreram na sua execução, tentando perceber que factor ou factores influem no tipo e na amplitude verificada nos desvios (Figura 27).

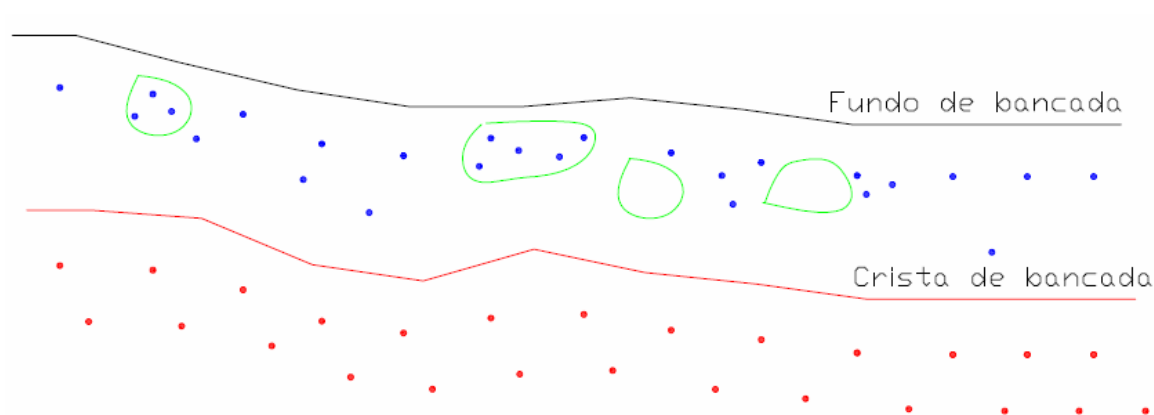


Figura 27 – Diagrama de fogo, representação de desvios na perfuração, (superfície da bancada furos a vermelho e fundo do furo a azul).

A partir do momento em que é posicionado o equipamento de perfuração e se inicia a perfuração deveria ser possível concluir duas fases distintas, a referente aos equipamentos e operador e a referente às características do maciço rochoso, as quais podem ocorrer em paralelo, isto é o erro na perfuração motivado por factores mecânicos e de origem associada à manipulação dos equipamentos, não é possível dissociar do “erro” que ocorre, motivado pela génese do maciço rochoso, que originou os desvios.

Considerando-se que daqui podem variar a amplitude dos desvios, só será possível perceber o impacto que esses erros influenciam nos desvios, isolando para posterior estudo e proposta de correcção, isto é, obtenção de menores desvios ou desvios controlados.

2.6.1. CARACTERIZAÇÃO DO TIPO DE DESVIOS QUE OCORREM NA PERFURAÇÃO

Nos tipos de desvios motivados pelas condições em que se encontra a bancada, designadamente no que se refere a regularidade e limpeza da superfície, reúnem certas condições de trabalho que se traduzem no resultado final nas causas e resultados já enunciados, nomeadamente as interligadas com os erros de posicionamento do equipamento; de Emboquilhamento; Direcção; Inclinação; Comprimento do furo (Figura 28).

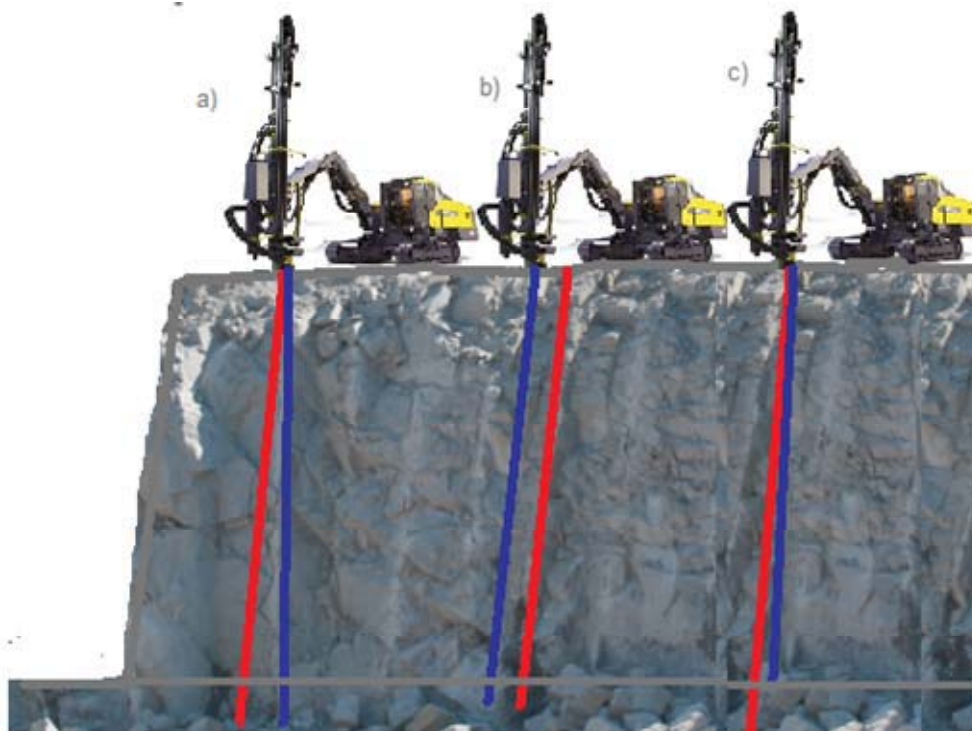


Figura 28- Tipo de desvios na perfuração; a) erro de inclinação, b) erro de posicionamento, c) erro de profundidade.

E os desvios que se encontram associados à génese do próprio maciço rochoso, pelas suas características geológicas, geotécnicas e geomecânicas (Figura 29).



Figura 29- Tipo de desvios: d) desvio de flexão, e) erro direção, desvio pontual.

Considerando os cinco tipos de erros de perfuração são apresentados a seguir os quadros descritivos (Ramos 2008) com a explicação das prováveis causas e propostas de correção ou minimização (Quadro 16):

Quadro 16 – Erros de execução de perfuração (segundo Ramos, 2008)

ERRO	DESCRIÇÃO	CAUSAS	MEDIDAS CORRECTIVAS OU DE MINIMIZAÇÃO
1) POSICIONAMENTO	Este tipo de erro é o primeiro erro possível de se cometer na execução de um furo, consiste em não iniciar o furo no ponto previamente marcado.	Técnicas de marcação pouco eficazes e inequívocas. A utilização de conjuntos de pedras pintadas para a marcação dos furos, sendo susceptíveis de deslocamento com a própria movimentação do carro de perfuração.	Deve-se e utilizar sempre spray para marcação dos furos, executada, sempre que possível, no próprio maciço, caso o estado da bancada não permite deve-se fazer uma marca numa pedra o mais achatada possível de forma a não se deslocar com a movimentação do carro de perfuração.
		A própria marcação da pega não respeita os parâmetros geométricos definidos, que neste caso será o espaçamento (E) e a distância à frente (V).	Utilização de ferramentas de auxílio como é o caso de uma corda para o alinhamento das fiadas e uma fita ou vara graduada para marcação do espaçamento e distancia à frente.
2) EMBOQUILHAMENTO	Considera-se como emboquilhamento a zona entre a boca do furo e um comprimento de 1 a 2m (dependendo do estado da bancada) de vara introduzida no maciço, ao qual poderá estar associado um erro relacionado com as condicionantes da mesma, como é o caso da regularidade e/ou altura de material partido e solto à na superfície.	Bancadas irregulares com zonas de difícil estabilização do carro de perfuração e coluna. Bancadas com elevada altura (1, 2, 3m) de material deixado depositado na superfície da bancada para a tornar mais regular.	Para uma bom emboquilhamento é importante uma bancada regular sem material partido e/ou solto na sua superfície, para tal é de evitar os excessos ou défices de sub-furação assim como deixar depositado material do próprio desmonte ou depositar material de outra proveniência na bancada para a tornar mais regular.
3) DIRECÇÃO	A direcção do furo não está de acordo com o ângulo previamente definido.	Estes tipos de erros estão directamente ligados com os dispositivos de controlo e monitorização que o equipamento de perfuração dispõe.	Devem-se avaliar sempre os instrumentos de controlo e monitorização que os equipamentos de perfuração dispõem verificando que dispositivos comportam, que parâmetros controlam e com que fiabilidade o faz. No caso dos equipamentos mais antigos, com dispositivos limitados, deve-se ter bastante rigor em relação ao posicionamento do carro e consequentemente da coluna da forma a minimizar ao máximo os erros de direcção e inclinação.
4) INCLINAÇÃO	A inclinação do furo não está de acordo com o ângulo previamente definido.	Estes tipos de erros estão directamente ligados com os dispositivos de controlo e monitorização que o equipamento de perfuração dispõe.	
5) COMPRIMENTO	A cota atingida pelo furo não está de acordo com o previamente definido.	Estes tipos de erros podem estar directamente ligados com os dispositivos de controlo e monitorização que o equipamento de perfuração dispõe, assim como são podem ser gerados pela influencia de desvios de perfuração e/ou outros erros de perfuração como direcção e/ou inclinação.	Caso o equipamento de perfuração possua um sistema de controlo de cotas, este tipo de erros deixa de existir. Caso o equipamento possua dispositivo de controlo de comprimento do furo, deve-se ter em consideração o relevo da superfície da bancada que se pretende desmontar para definir com rigoroso o comprimento com que cada furo deve ser executado. Nestes casos a utilização de uma corda esticada e nivelada poderá facilitar da definição do comprimento de cada furo.

Foi utilizada uma técnica de abordagem para identificação e separação dos tipos de desvios que ocorrem, referente a três vertentes:

- ✓ *Desvio originado por erro de emboquilhamento;*
- ✓ *Desvio pontual;*
- ✓ *Desvio de flexão;*

De modo a clarificar e simplificar uma abordagem técnica nesta matéria, foi criada uma codificação (Ramos, 2008), que melhor representa uma diversificação de acontecimentos que traduzem as ocorrências para uma análise adequada, de modo a representar o melhor possível tipos e frequências de erros que por determinada causa ocorrem (Quadro 17):

Quadro 17 - Matriz de avaliação do tipo de desvio (segundo Ramos, 2008).

CODIFICAÇÃO DOS FUROS NOS DOIS PLANOS DE ANÁLISE (X) e (Y)						
Desvio	Tipo	Esquema	Sentido	Cod.	Avaliação	
X	Emboquilhamento		Para a esquerda	1	Primeiros 2m	
			Centrado	2	Primeiros 2m	
			Para a Direita	3	Primeiros 2m	
	Pontual		Para a esquerda	1	Ao longo do furo	
			Não apresenta	2	Ao longo do furo	
			Para a direita	3	Ao longo do furo	
			Flexão	Para a esquerda	1	Ao longo do furo
				Não apresenta	2	Ao longo do furo
				Para a direita	3	Ao longo do furo
Y	Emboquilhamento		Para a frente	1	Primeiros 2m	
			Centrado	2	Primeiros 2m	
			Para a retaguarda	3	Primeiros 2m	
	Pontual		Para a frente	1	Ao longo do furo	
			Não apresenta	2	Ao longo do furo	
			Para a retaguarda	3	Ao longo do furo	
			Flexão	Para a frente	1	Ao longo do furo
				Não apresenta	2	Ao longo do furo
				Para a retaguarda	3	Ao longo do furo

A codificação acima apresentada carece de acompanhamento prático para se entender a sua aplicação. A abordagem realizada, com a medição dos desvios ao longo do furo é perfeitamente possível elencar uma descrição pormenorizada da evolução verificada no decorrer do furo, com possíveis planos de correcção. Os códigos acima referenciados, promovem uma caracterização que recai em determinados índices capazes de promover uma selecção de itens evidenciados mais fáceis de identificar e de caracterizar.

2.6.2. PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM A AMPLITUDE DOS DESVIOS DA PERFURAÇÃO

É reconhecido que um furo ao ser executado ocorre sob permanente influência de variados factores, que até aparentemente permitem identificar algumas causas de desvios, mas estas fazem parte de um ou mais processos, sendo necessário conhecer e enquadrar cada actividade.

Estas causas de desvios, podem ser agrupadas em três grandes grupos para identificar e caracterizar os desvios ocorridos:

- ✓ *O Maciço Rochoso;*
- ✓ *A Geometria do Diagrama de Fogo;*
- ✓ *As Ferramentas de Execução.*

Na imagem da Figura 30 consideram-se os factores acima mencionados, com um resultado expectável (log de resultado), que será medido e devidamente estudado e enquadrado tendo em vista a sua minimização para uma natural evolução e melhoria contínua do processo.

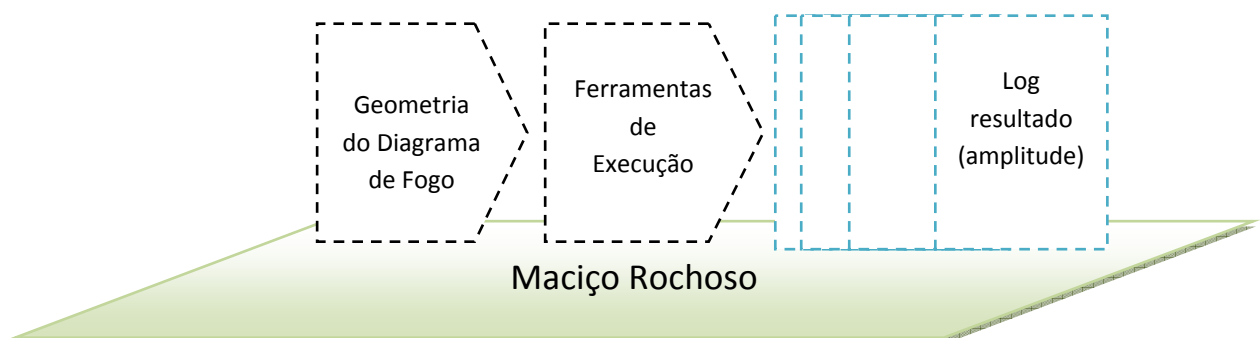


Figura 30 - Adequação do processo de perfuração.

2.7. FERRAMENTAS DE EXECUÇÃO

É exactamente na interacção da ferramenta com o maciço que ocorre o desvio, e de modo a melhor perceber que tipo de equipamento e acessórios poderão ser aplicados vão ser agrupados por tipologia com o objectivo de ser atribuído uma classificação em função das ferramentas usadas, (Ramos, 2008). No quadro da Figura 31, encontram-se enunciadas as ferramentas de execução que foram usadas no presente trabalho de investigação, realizado na empresa Secil Britas. S.A.

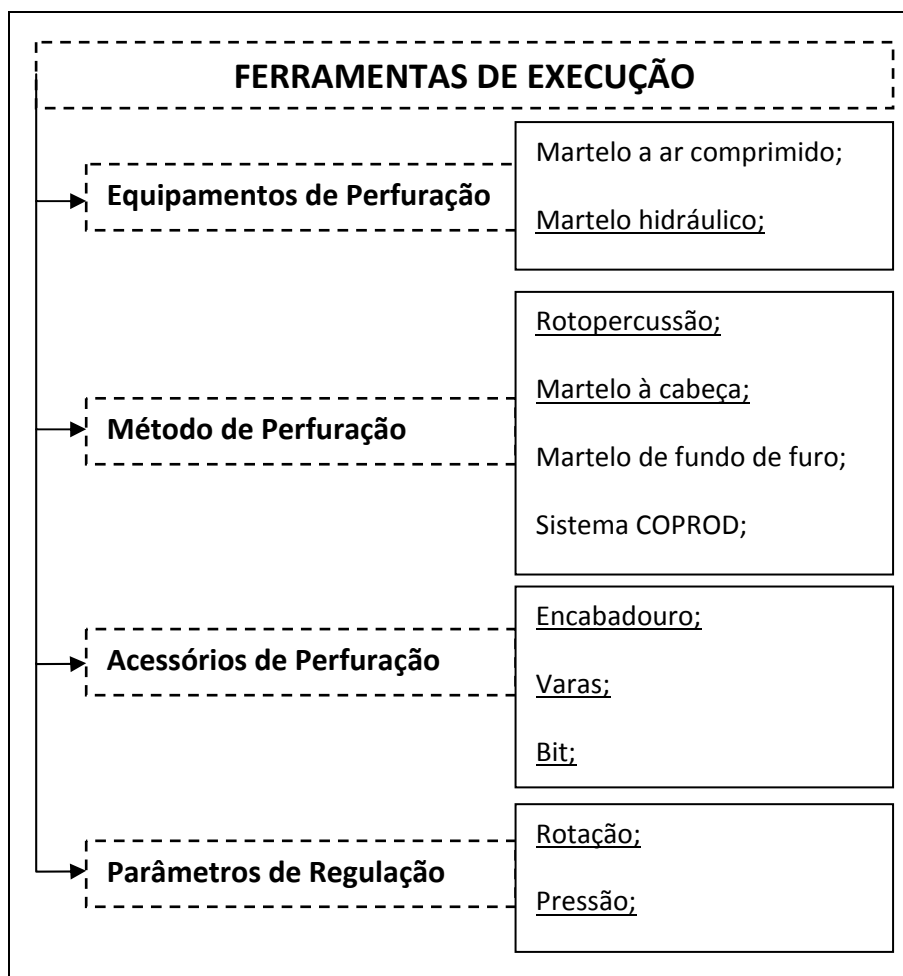



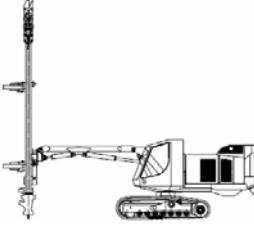
Figura 31- Mapa de ferramentas de execução usadas na Pedreira da SecilBritas em Famalicão.

2.7.1. EQUIPAMENTOS DE PERFURAÇÃO

De acordo com o equipamento de perfuração foram estabelecidos pontos de avaliação, integrados numa matriz de avaliação (Ramos, 2008), proposta no Quadro 18.

Esta matriz-tabela foi actualizada para o carro de perfuração usado na SecilBritas em Famalicão, o “Tamrock Ranger 600”, mantendo também o carro “Atlas Copco D7” em comparação qualitativa.

Quadro 18 - Matriz de avaliação dos Equipamentos de Perfuração.

EQUIPAMENTO DE PERFURAÇÃO				
Carro de perfuração	Modelo Martelo superfície	Atlas Copco D7 Cop 1840HE	Tamrock Ranger 600 HL 600, hydraulic top	
Sistema de controlo e monitorização	Direcção	Não possui		
		Pouco fiável	X	
		Fiável	X	
		Muito fiável		
	Inclinação	Não possui		
		Pouco fiável		
		Fiável		
		Muito fiável	X	X
	Comprimento	Sim	X	
		Não		X
	Profundidade	Sim		
		Não	X	X
Coluna	Rigidez	Ferro	X	
		Alumínio	X	
	Apoios	Insuficiente (1)		X
		Suficiente (2)	X	
		Bom (3)		

Os equipamentos de perfuração geram a energia necessária para promover a operação de perfuração. As características, modelo e demais aspectos técnicos, devem ser objecto de registo para posterior comparação e análise. Os sistemas de controlo e monitorização dos equipamentos de perfuração, são importantes na avaliação de desempenho inerente a qualidade final do furo, na imagem da Figura 32, observa-se a possibilidade de controlo do posicionamento da coluna de perfuração, com leitura na direcção e da inclinação opcional técnico muito importante para o rigor do paralelismo da perfuração.

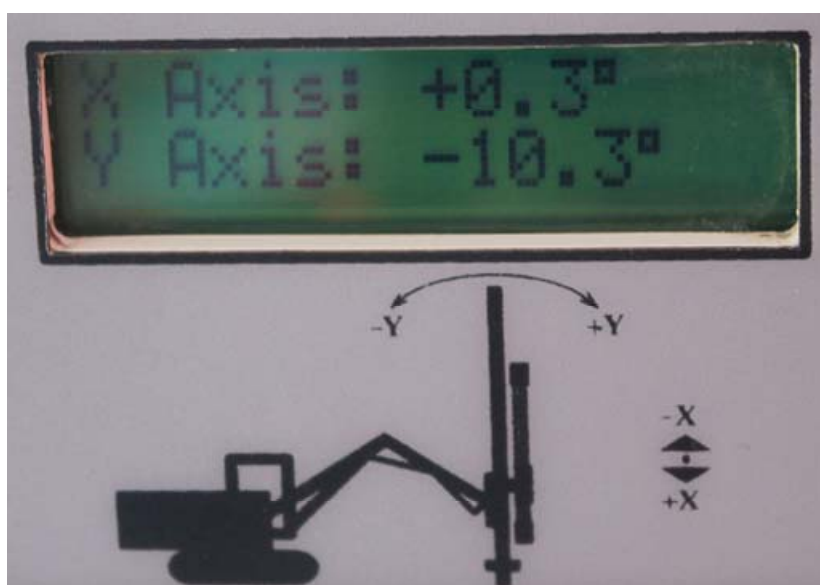


Figura 32- Display de equipamento de controlo da coluna de perfuração ("Tamrock Ranger 600")

Neste capítulo, é necessário conhecer os equipamentos e acessórios utilizados, e que aspectos devem ser tidos em conta, de modo a conferir determinado nível de confiança para a realização eficaz da perfuração tendo como principais intervenientes:

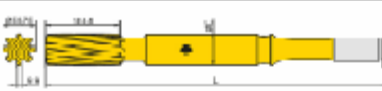
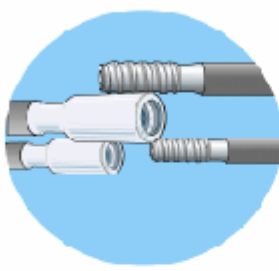
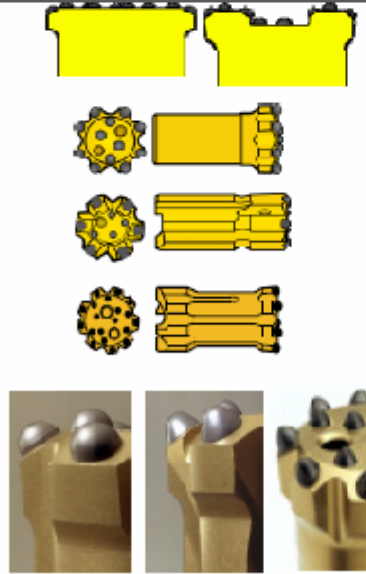
- ✓ A Coluna - avaliada segundo a sua rigidez, número de apoios que oferece no suporte das varas, material que a constitui.
- ✓ O carro de perfuração - no presente caso foi usado no trabalho desenvolvido na empresa da SecilBritas em Joane, o carro de perfuração Tamrock Ranger 600, com coluna de ferro, dispondo de um apoio para a varas, com maior instabilidade que no caso de coluna com dois apoios, esta mais estável, mais rigorosa e mais precisa.

A tecnologia de perfuração utilizada é a com martelo à cabeça, sendo esta tecnologia a mais utilizada nas pedreiras com este tipo de maciço (Ramos, et, al., 2008).

2.7.2. ACESSÓRIOS DE PERFURAÇÃO

Na imagem do Quadro 19, são apresentados acessórios de perfuração que equipam e complementam os equipamentos de perfuração indicados na imagem do Quadro 18.

Quadro 19 - Matriz de avaliação dos acessórios de perfuração (adaptado de Ramos, 2008).

ACESSÓRIOS DE PERFURAÇÃO			
Encabadouro		Tipo	T38 T45 T51
Varas		Tipo	T38 T45 T51
		Modelo	Standard Número de Varas Guia
		Marca	A B C
Unões	As uniões não foram consideradas, visto não se utilizar este tipo de acoplamento em detrimento do acoplamento de rosca macho-fêmea.		
Bit		Tipo	Flat Face Drop Center
		Modelo	Standard Retrac Guia
		Marca	A B C
		Botão	Esférico Semi-Balístico Balístico
		Metros lineares executados	
		Estado	Novo Afiado (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10) Usado

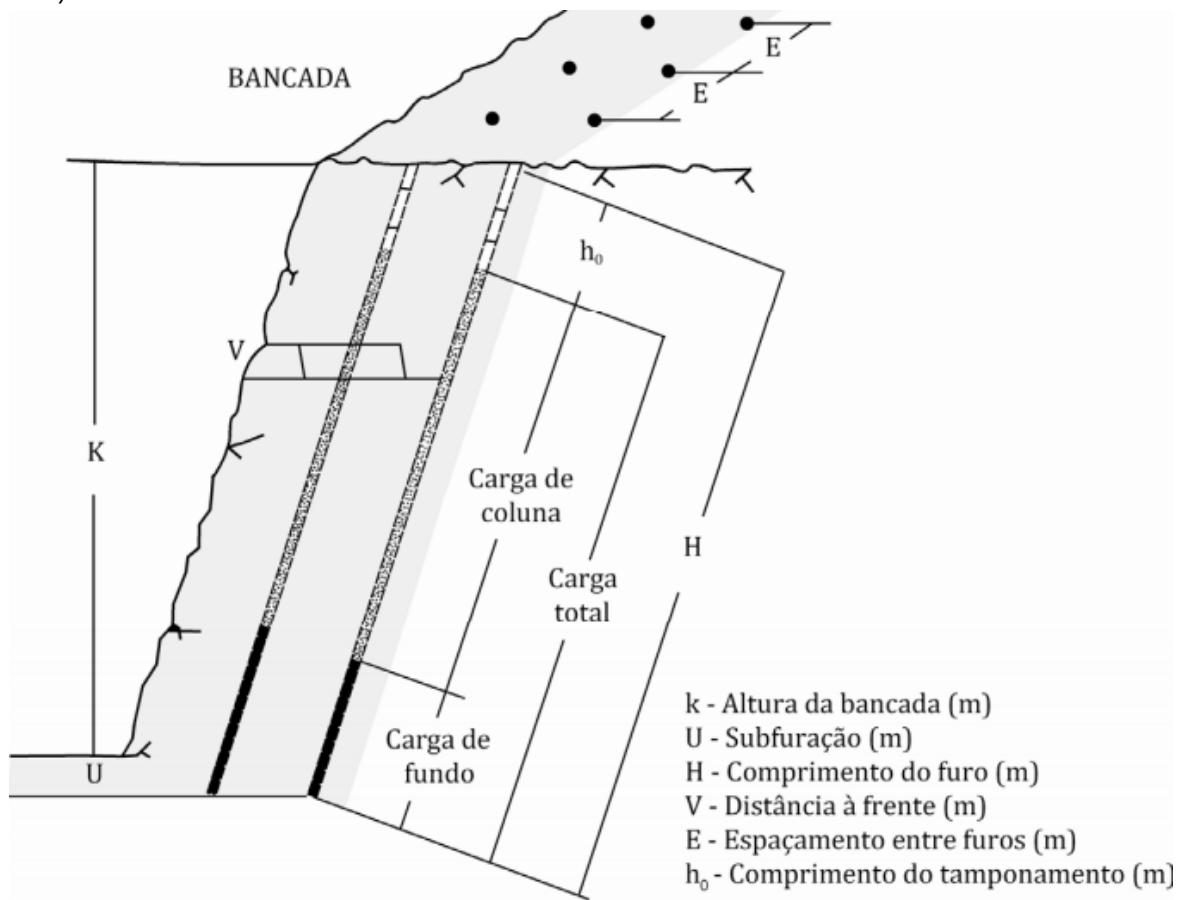
No presente caso em estudo, os acessórios de perfuração recebem e retransmitem a energia recebida do martelo por percussão e rotação, superfície do ponto de ataque ao maciço rochoso, imprimindo um determinado avanço, sendo necessário adequar os acessórios ao equipamento usado e ao maciço onde se realiza a perfuração.

2.8. GEOMETRIA DO DIAGRAMA DE FOGO

A Geometria do diagrama de fogo e os seus parâmetros nomeadamente o diâmetro do furo e o seu comprimento, assim como a inclinação com que é executado são factores a ter em atenção. Estes são parâmetros considerados elementares e dos mais importantes e que podem estar na génese de maiores ou menores desvios (Ramos, 2008).

Na imagem do Quadro 20, apresenta-se um esquema de Bancada e parâmetros elementares a implementar num diagrama de fogo.

Quadro 20 – Parâmetros do diagrama de fogo (Manual do Operador de Produtos Explosivos, AP3E e ANIET, 2011)



2.8.1. DIÂMETRO DO FURO

O diâmetro do furo é em alguns casos conhecidos de formulário de concepção do diagrama de fogo, factor importante considerado a influenciar os desvios da perfuração. Nesse sentido e com objectivo de compensação dos desvios são aplicados factores correctivos. Segundo o critério mais utilizado (Langefors & Kihlstrom, 1978), o valor de $F=(d/1000)+0,3xH$, é de ajustar o primeiro resultado obtido na distância a frente ($V_{máx.}$). Este valor é ajustado em cerca duma redução

equivalente a 3% da profundidade do furo, acrescido do valor do diâmetro, e assim quanto maior o diâmetro da perfuração menor será o valor da distância à frente.

2.8.2. COMPRIMENTO DO FURO

O comprimento do furo é sem dúvida um parâmetro que intervém no aparecimento de desvios. Um furo com pequena profundidade tem menores desvios. A transmissão da energia desde a superfície até à escavação provocada por impactos pulsantes rotativos no maciço rochoso (Figura 33), vai diminuindo de intensidade com o aumento do comprimento devido às perdas nos acoplamentos, assim como o varejamento provocado pelas não lineariedade da distribuição da massa dos acessórios ao longo da coluna.

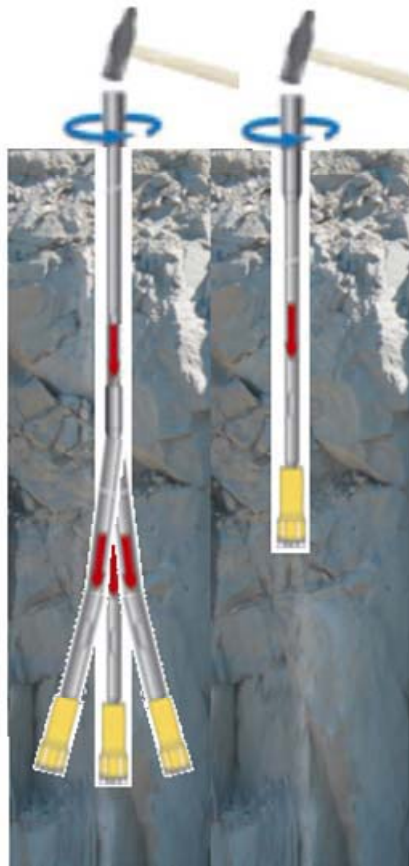


Figura 33- Figura representativa de transmissão de energia e diferentes profundidades de furo.

2.8.3. INCLINAÇÃO DO FURO

A inclinação habitualmente utilizada na perfuração, para realiza-la paralelamente ao talude, potencia a ocorrência de desvios, principalmente afectando o plano frontal (Y), embora apareçam sempre desvios laterais (X). O ângulo de posicionamento do bit ao em relação ao maciço rochoso, desde a superfície, às condições de operação, aos equipamentos e ao operador, passando pelo

momento de atravessamento das descontinuidades e das anisotropias existentes já no interior do maciço, obriga a uma análise ao longo de todo o furo para melhor compreender o comportamento (Figura 34), da perfuração face a estes “constrangimentos”.

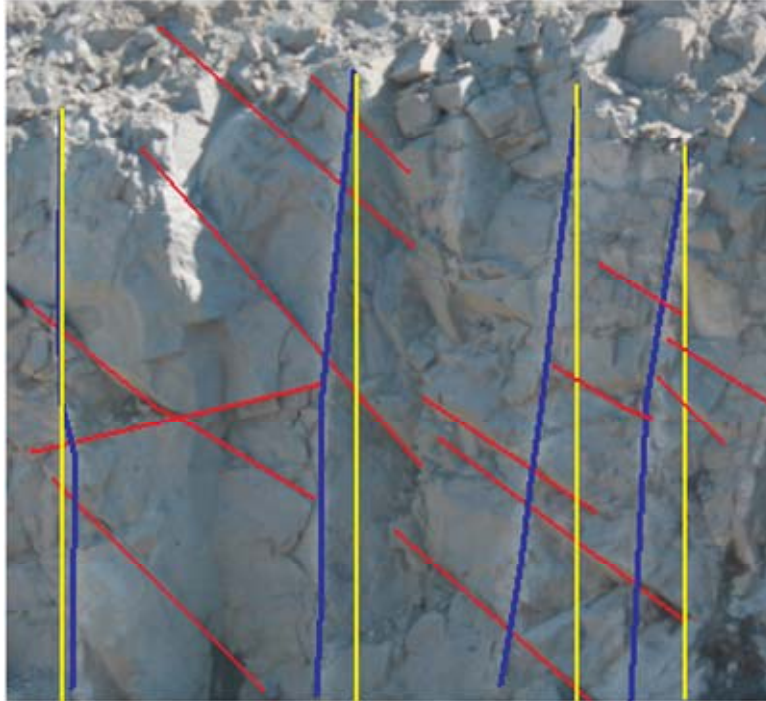


Figura 34 - Possíveis Comportamentos da perfuração no maciço rochoso.

2.9. OUTROS PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO - OPTIMIZAÇÃO DO DIAGRAMA DE FOGO

É conhecido que existem mais parâmetros para além dos enunciados anteriormente, parâmetros esses também importantes para estudar o desenrolar do processo associado à análise dos desvios ocorridos durante a perfuração, num contexto prático de optimização geral do processo. Por isso são enumerados de seguida outros parâmetros que são medidos e que se configuram importantes na adequação de equipamentos e na percepção e análise posterior dos desvios.

2.9.1. ENSAIO DE FRIABILIDADE “BRITTLENESS TEST”

Este ensaio permite determinar a friabilidade da rocha, pela determinação do valor de S_{20} . O ensaio consiste na colocação de uma amostra com 0,5 kg de rocha previamente fragmentada e crivada na fracção 16mm a 11,2mm, num receptáculo do equipamento de ensaio, o qual é sujeito a 20 impactos por queda de um pilão com 14 kg, libertado a partir de uma altura de 25 cm, exemplificado pela imagem da Figura 35, o objectivo do ensaio é conhecer a fragilidade da rocha quando submetida às condições exigidas ao ensaio.

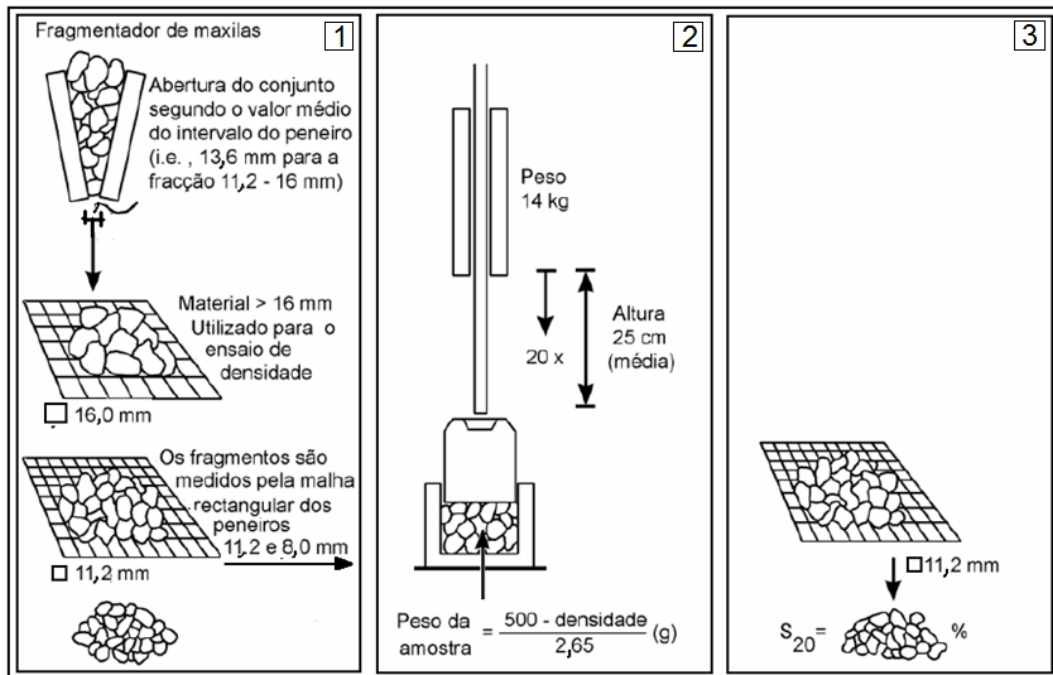


Figura 35 - Ensaio de Brittleness, 1) Crivagem do material fragmentado, 2) impacto do pilão, 3) 2.ª Crivagem após impactos (adaptado de Odd Johannessen, 1998).

2.9.2. DRILLING RATE ÍNDEX (DRI)

O parâmetro que é obtido com a realização deste ensaio permite estimar o comportamento da perfuração num maciço rochoso. É o resultado do valor obtido com o Brittleness S_{20} e com o valor de SJ de Sievers, os quais devolvem um valor DRI, pela consulta do ábaco da Figura 36.

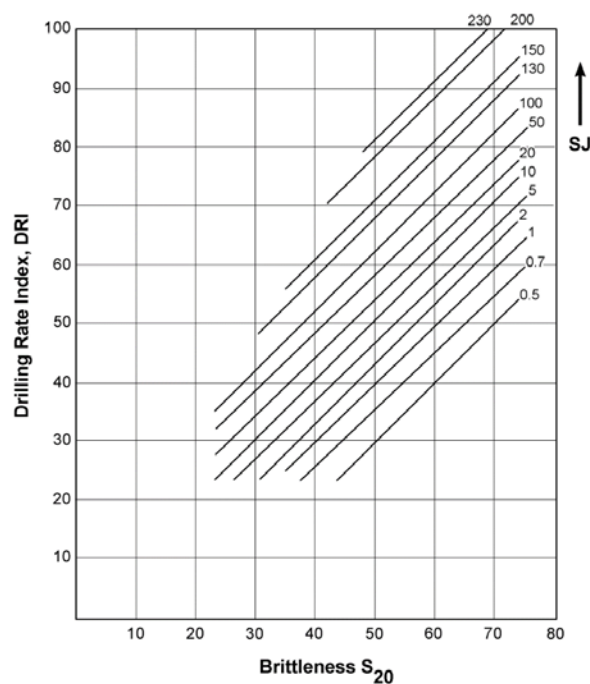


Figura 36 – Ábaco para determinação do “Drilling Rate Index” (DRI), com entradas pelo S_{20} e SJ (Sievers)

2.9.3. OPERADOR DE EQUIPAMENTOS

A actuação do individuo que opera os equipamentos é de facto um aspecto deveras importante a avaliar, sendo por isso necessário no decorrer do estudo conhecer a forma de actuar do operador, da sua experiência da sua sensibilidade e conhecimento quer no que se relaciona com o equipamento que opera, assim como do impacto que poderá ter de modo diferentes práticas de actuação no decorrer dos trabalhos, que dificultem ou impossibilitem a avaliação de desempenho, que se pretende seja o mais correcta e mais próxima da realidade possível.

2.9.4. LIMPEZA DA BANCADA

Pretende-se que a bancada se encontre o mais regular e limpa possível não apresentando material solto na superfície, com o objectivo de obter um bom emboquilhamento do bit na rocha (Quadro 21).

Quadro 21 – Aspectos práticos a ter em conta nas bancadas (adaptado de Ramos,2008)

BANCADAS LIMPAS MAS IRREGULARES	
Desvantagens	Vantagens
Necessidade de uma maior atenção na movimentação do equipamento;	Possibilidade de realização do emboquilhamento directamente no maciço;
Como conseqência do ponto anterior, há aumento do tempo na movimentação do equipamento entre furos;	Potencia uma qualidade superior na perfuração, os factores que intervêm são menos, na superfície resumem-se á eficácia do equipamento e do operador;
Maior probabilidade de ocorrência de erros de cota na profundidade da perfuração.	Redução do tempo do ciclo total de execução do furo.

2.9.5. MEDIÇÃO DOS DESVIOS

No contexto de trabalho em dimensão industrial a possibilidade de medição dos desvios resultantes da perfuração é tema de extrema importância porque a sua execução, permite adquirir um conhecimento detalhado do desenvolvimento do furo, da sua trajectória e do seu posicionamento, abrindo horizonte para medidas de minimização de desvios e de optimização do diagrama com o conseqente resultado prático.

Para alcançar o conhecimento detalhado da trajectória do furo é usado um equipamento chamado Boretrak (Figura 37), que permite o levantamento da trajectória do furo com a consequente tradução de determinadas leituras.

O equipamento é constituído por varas de alinhamento leves, em ligação contínua por um único sistema de ligação, articuladas num eixo entre elas e ligadas a uma sonda “Sensor Probe”.



Figura 37- Equipamento Boretrak, completo, sensor, varas, receptor sinal..

A cabeça da sonda incorpora dois sensores do tipo inclinómetro, a partir dos quais os dados são gravados por acção do dispositivo de controlo “Control Display Unit”, armazenados na própria sonda para descarga posterior em PC e respectivo processamento.

O sistema Boretrak é constituído por (adaptado de Ramos, 2008):

- ✓ *Uma sonda com dois inclinómetros perpendiculares, eixos (“pitch & roll”);*
- ✓ *Um conjunto de varas leves e articuladas com 1 m de comprimento cada e respectivo Suporte;*
- ✓ *Um dispositivo de controlo (notebook e bateria electrónica);*
- ✓ *Software compatível para PC.*

As leituras que são traduzidas no decorrer da acção desenvolvida pelo Boretrak, na monitorização contínua da trajectória do furo são as seguintes:

- ✓ *Desvios laterais (X) onde é lido o ângulo real perpendicular à frente de desmonte (Norte/Sul);*
- ✓ *Desvios frontais (Y) onde é lido o ângulo real medido paralelamente à frente de desmonte (Este/Oeste);*

✓ *Permite conhecer a profundidade real de cada furo.*

Na imagem da Figura 38 é apresentada uma representação do trabalho de medição do furo com a aplicação do equipamento Boretrak.

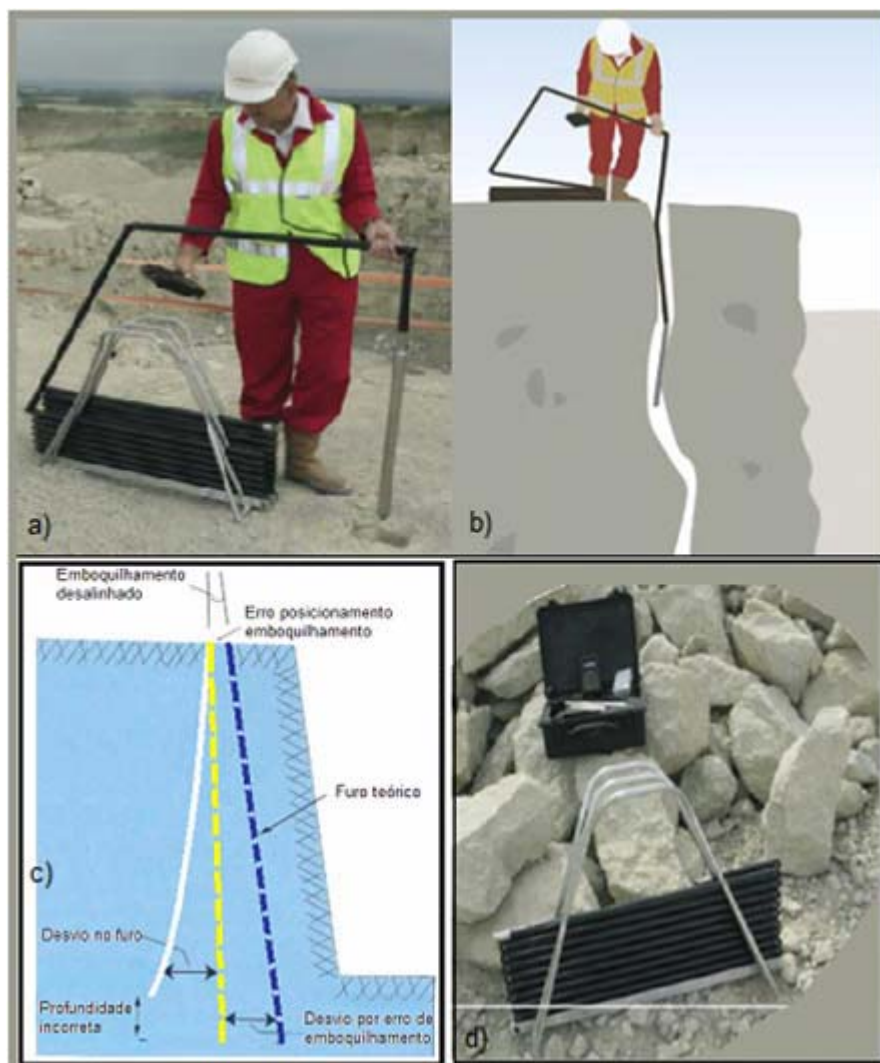


Figura 38- Figura representativa da aplicação do Boretrak; a), b), d) e perspetivas de erros nos furos c).

2.9.6. SCANNER DE VARRIMENTO LASER DA FRENTE DA BANCADA

No mesmo contexto está também associada a tecnologia de verificação da superfície dos taludes das bancadas, conhecida por leitura laser nessa frente, como pode ser observado na imagem da Figura 17-b).

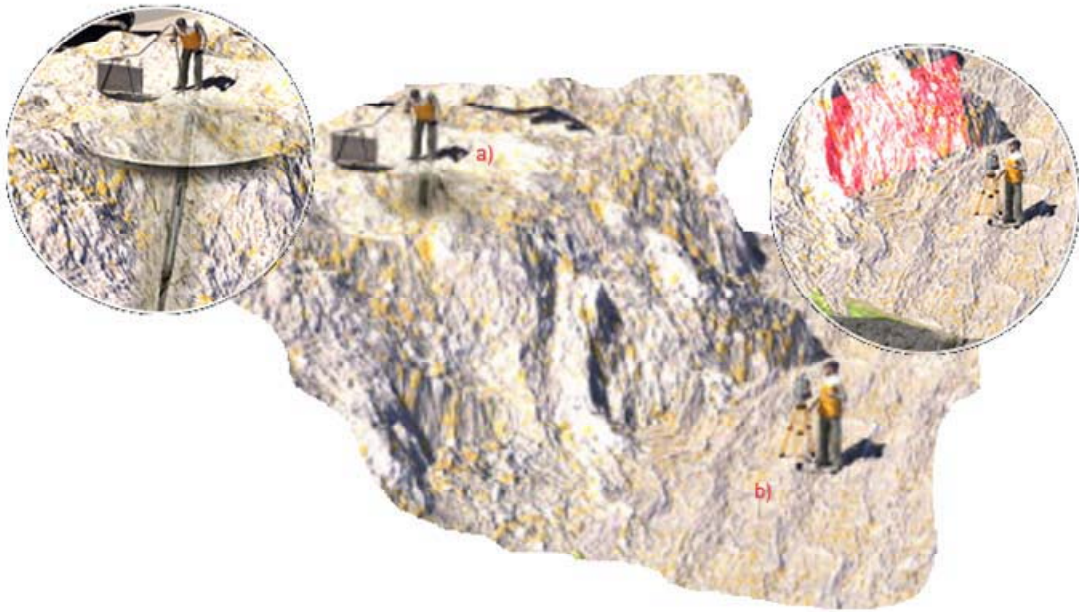


Figura 39 - Figura representativa da aplicação do Boretrak a), e do varrimento laser, b). (adaptado de MDL Ltd)

Na aplicação desta técnica bastante útil, são projectados na crista da bancada o ponto de emboquilhamento dos furos da primeira fiada através de alvos pintados que possam ser reconhecidos pelo equipamento, sendo associado a cada alvo a distância a que se encontra o respectivo furo da frente de bancada. Em cada plano vertical definido na parte superior pelo alvo é executado esse varrimento por acção do feixe do laser que é direccionado desde a crista até ao fundo da bancada, cobrindo vários pontos de diferentes gradientes no plano frontal. O conhecimento dessas faixas, permite conhecer o plano total e projectar o relevo que constitui a frente de bancada.

CAPÍTULO III



Pedreira de Curviã, V. N. Famalicão, Portugal

3. PERFURAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

- 3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS
- 3.2. ENQUADRAMENTO DA PEDREIRA
- 3.3. PARÂMETROS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS - GENERALIDADES
- 3.4. DESVIOS DOS FUROS RESULTANTES DA PERFURAÇÃO
- 3.5. RESULTADOS OBTIDOS NO EMBOQUILHAMENTO
- 3.6. ANÁLISE AO RESULTADO DA PERFURAÇÃO
- 3.7. PROPOSTA DE CORRECÇÃO AOS DESVIOS
- 3.8. DESCRIÇÃO DOS TRABALHOS
- 3.9. AVALIAÇÃO DE RESULTADOS

3. PERFURAÇÃO DE MACIÇOS ROCHOSOS

3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Na indústria extractiva e transformadora de pedra natural, em geral, e na de produção de agregados britados, em particular, o custo de produção é cada vez mais determinante para se ser competitivo num mercado, hoje em dia, de mais oferta que procura. A optimização/rentabilização de todas as operações é essencial para a evolução técnico-económica. De cada operação dever-se-á obter o maior rendimento possível (Ramos, 2008).

O desmorte de maciços rochosos com recurso a explosivos é a primeira de um conjunto de operações e pode ser subdividida nas seguintes tarefas/operações: i) perfuração; ii) carregamento e iii) detonação.

Quando se pretende actuar na optimização do desmorte de rocha com recurso a explosivos, há que ter em linha de conta os inúmeros parâmetros a considerar para se conseguir avaliar de forma coerente o desempenho do desmorte. Os parâmetros influentes são imensos e apresentam múltiplas ligações entre eles em termos de causa - consequência. É importante identifica-los inequivocamente, em cada uma das operações do desmorte, para que possam ser monitorizados de forma sistemática. Para um controlo de desempenho do desmorte eficaz, é importante pensar o desmorte desde o seu dimensionamento até às medidas de correcção e/ao ajustamento a implementar (Ramos, 2013).

Na indústria extractiva, todo o processo de desmorte de rocha deve estar consignado às operações de processamento/tratamento, sejam elas simples britagens ou oficinas de corte para rochas industriais e ornamentais, ou de tratamento de minérios com operações de enriquecimento bem mais complexas no caso da indústria mineira. Estas operações representam, em regra, custos mais significativos do que o custo de desmorte sendo, por isso, uma das razões

para o enfoque no processamento e tratamento relegando-se para outro plano a real importância do desmorte (Galiza, 2013). A perfuração é uma das actividades do processo de extracção e transformação, tendo a particularidade de ser a actividade que se encontra no “topo da pirâmide”, relativamente à cronologia de execução de todos os processos que culminam no produto final. Neste contexto, a perfuração assume um papel de extrema importância, pelo que a optimização desta actividade é fundamental, pois tem consequência directa no seu resultado técnico-económico e na interligação com as actividades subsequentes, nomeadamente: i) carregamento e detonação; ii) fragmentação secundária; iii) carga e transporte e iv) britagem. Os benefícios de uma perfuração alinhada são imensos e reflectem-se em mais-valias nas diversas operações a jusante (Figura 40).



Figura 40 - Benefícios de uma perfuração alinhada (adaptado de Galiza et al., 2011a,b,c).

Um dos principais benefícios de uma perfuração rigorosa é a uniforme distribuição do explosivo no volume de maciço que se pretendes desmontar. Esta distribuição uniforme é determinante na dinâmica do desmorte e tem impactos significativos na granulometria do material resultante do desmorte.

É importante analisar a linearidade dos furos integrados na geometria do diagrama de fogo, ou seja, a posição relativa de cada furo mais o seu desvio que permitirá fazer a análise integrada da distribuição do explosivo no maciço rochoso.

A problemática que envolve os desvios da perfuração é muito vasta e só nos damos conta dessa dimensão quando de facto se estuda um processo de análise como o presente trabalho. Conscientes do nível da dificuldade para alcançar um patamar óptimo, devido aos inúmeros factores que contribuem e influenciam o resultado final, para o qual são necessários recursos que não se apresentam ainda completamente tangíveis para as organizações, será assim tratado com os recursos disponíveis recorrendo a mais trabalho de análise, com vista a identificar aspectos considerados importantes e justificados pela apresentação dos resultados.

Seguindo uma linha de trabalho em consonância com o que atrás foi referido, foi o presente estudo alinhado com um objectivo de conduzir um trabalho de pormenor em bancadas de ensaio em maciço rochoso granítico, cuja finalidade é a de perceber os impactos causados pelos desvios ocorridos com a perfuração em bancada para a colocação de explosivos, conjugado com uma avaliação preliminar de ordem geológica, geotécnica e geomecânica do maciço rochoso que constituem essas bancadas em estudo.

Para além da necessária conjugação de elementos intervenientes no normal desenrolar dos trabalhos, quer dos equipamentos e acessórios quer dos seus operadores, teve-se como objectivo a obtenção de um indicador que de alguma forma aferisse a dispersão volumétrica da rocha relativamente à localização real dos explosivos/furo, em função dos desvios ocorridos na perfuração, representando assim o estudo da carga específica em cada furo.

Este indicador que pode ser chamado “Índice de dispersão volumétrica” surge com o intuito de se perceber que para uma determinada dispersão de um conhecido desvio na perfuração, seja possível estabelecer condições de análise e de correlação, inferindo um conhecimento prévio do resultado da fragmentação do maciço rochoso, no que diz respeito ao resultado da sua granulometria nos calibres mais críticos para as operações seguintes, isto é, uma maior ou menor quantidade de material mais finos e mais grossos que possam vir a ocorrer.

Na imagem da Figura 41 é apresentado um fluxograma básico de itens onde são enunciados os princípios de estudo aplicados neste projecto, no qual se revê a concepção, a monitorização, a posterior análise, com apreciação de novo resultado e assim por diante.

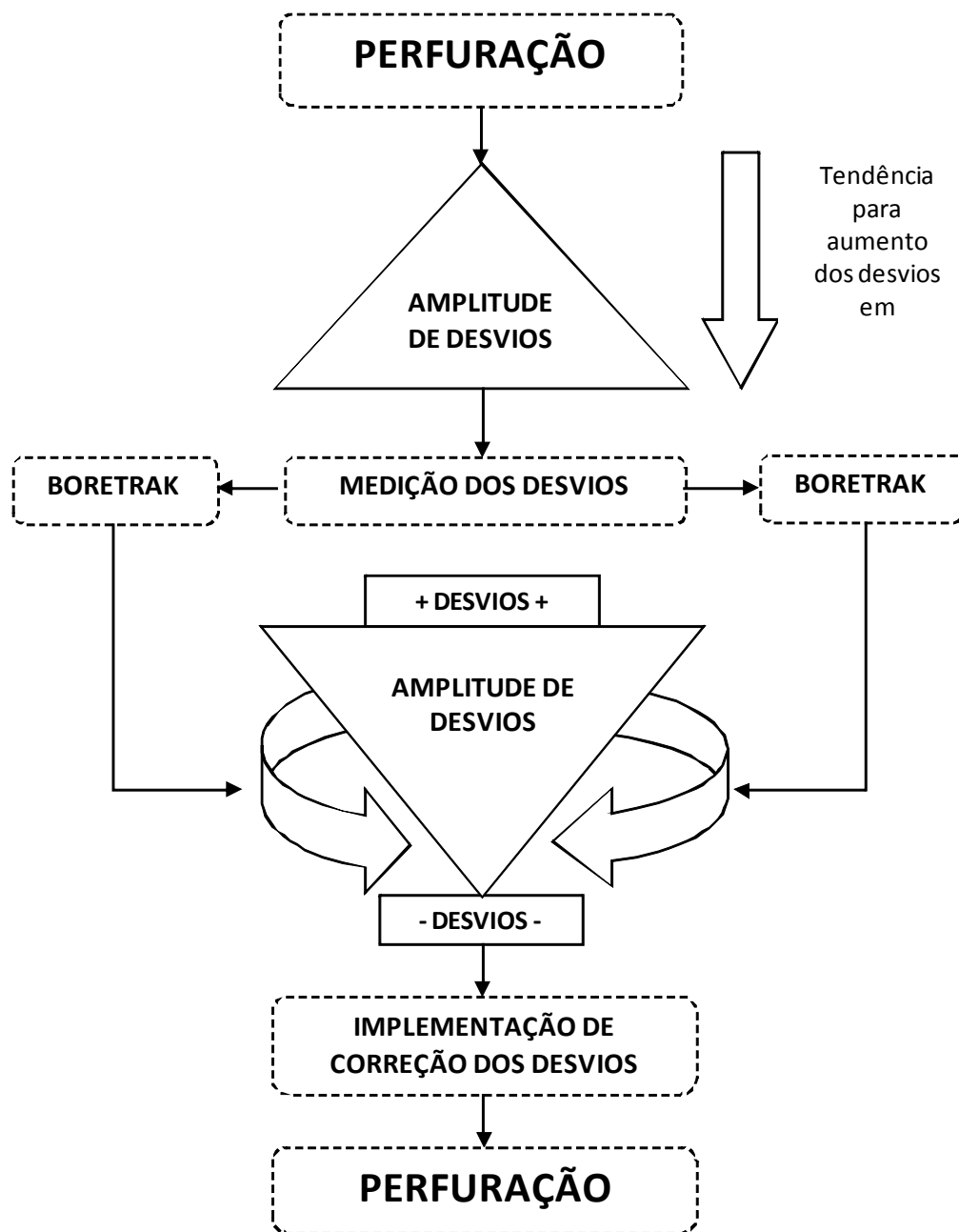


Figura 41 – Fluxograma básico de iteração na análise dos desvios de perfuração.

O início do presente trabalho acontece em Agosto de 2012, na pedreira de Fornelo em Vila do Conde, propriedade da Empresa Monte-Adriano Agregados, com o levantamento geotécnico-geomecânicos de duas bancadas, tendo sido o estudo à posteriori transferido por motivos técnicos para as pedreiras da empresa SecilBritas, S.A. sitas em Joane, Vila Nova de Famalicão, distrito de Braga. O trabalho iniciado nesta nova área a partir de 20 de Março de 2013 e consistiu no estudo de uma bancada com o levantamento geológico-geotécnico e geomecânico de três faces expostas de afloramento rochoso, para uma avaliação e caracterização geológica-estrutural,

do maciço granítico que as compõem, e o acompanhamento no terreno dos trabalhos desenvolvidos na execução de duas pegadas de fogo.

3.2. ENQUADRAMENTO DA PEDREIRA

A região onde se insere do ponto de vista geotectónico o maciço granítico desta pedreira, é a designada Zona Centro-Ibérica (ZCI), parte integrante do Maciço Hespérico (Ribeiro et al., 2007). Esta região apresenta afloramentos de distintos tipos de fácies graníticas de granularidade variável, ou seja, granitos porfiróides, granodioritos e quartzodioritos biotíticos, entre outros.

O maciço granítico desta pedreira encontra-se referenciado segundo nota explicativa da Carta Geológica de Portugal 1:50000, folha 9-B, e folha 1 à escala 1:200000 (SGP/IGM) como granitos de grão médio a fino, porfiróide, de duas micas com domínio da biotite, inserido num extenso maciço granítico tardi a pós-tectónico, relativamente à última fase de deformação Hercínica, maciço granítico que se apresenta fracturado e por vezes alterado, onde adquire tonalidade amarelada.

No aspecto geral do maciço é perfeitamente visível uma compartimentação média, com marcantes orientações de sistemas de fracturação NW-SE. Estas formam faces planas com prolongada extensão, sendo determinantes na configuração final em termos da blocometria na fragmentação final.

Neste complexo de pedreiras e em particular nas que se encontram em exploração, o granito possui cor geralmente cinzenta-azulada, com textura bastante uniforme, com diaclasamento relativamente espaçado, conferindo propriedades que manifestam interesse industrial, que vão para além da produção de agregados, nomeadamente a produção de blocos destinados ao fabrico de guias de passeio, paralelepípedos e elementos para alvenarias.

Insere-se regionalmente na parte norte da bacia hidrográfica do rio Ave, cujo leito do rio corre a sul, limitada a norte pela bacia do rio Cavado e oeste pelo Oceano Atlântico.

Como principais linhas de água que passam mais próximas ao local da pedreira são a nascente o rio Pele e a Poente o rio Pelhe, ambos a desaguar a sul, no rio Ave.

A permeabilidade atribuída às formações rochosas presentes vai de média a baixa, com produtividade aquífera elevada, segundo a Carta Hidrogeológica de Portugal (escala 1/2000000), do IGM.

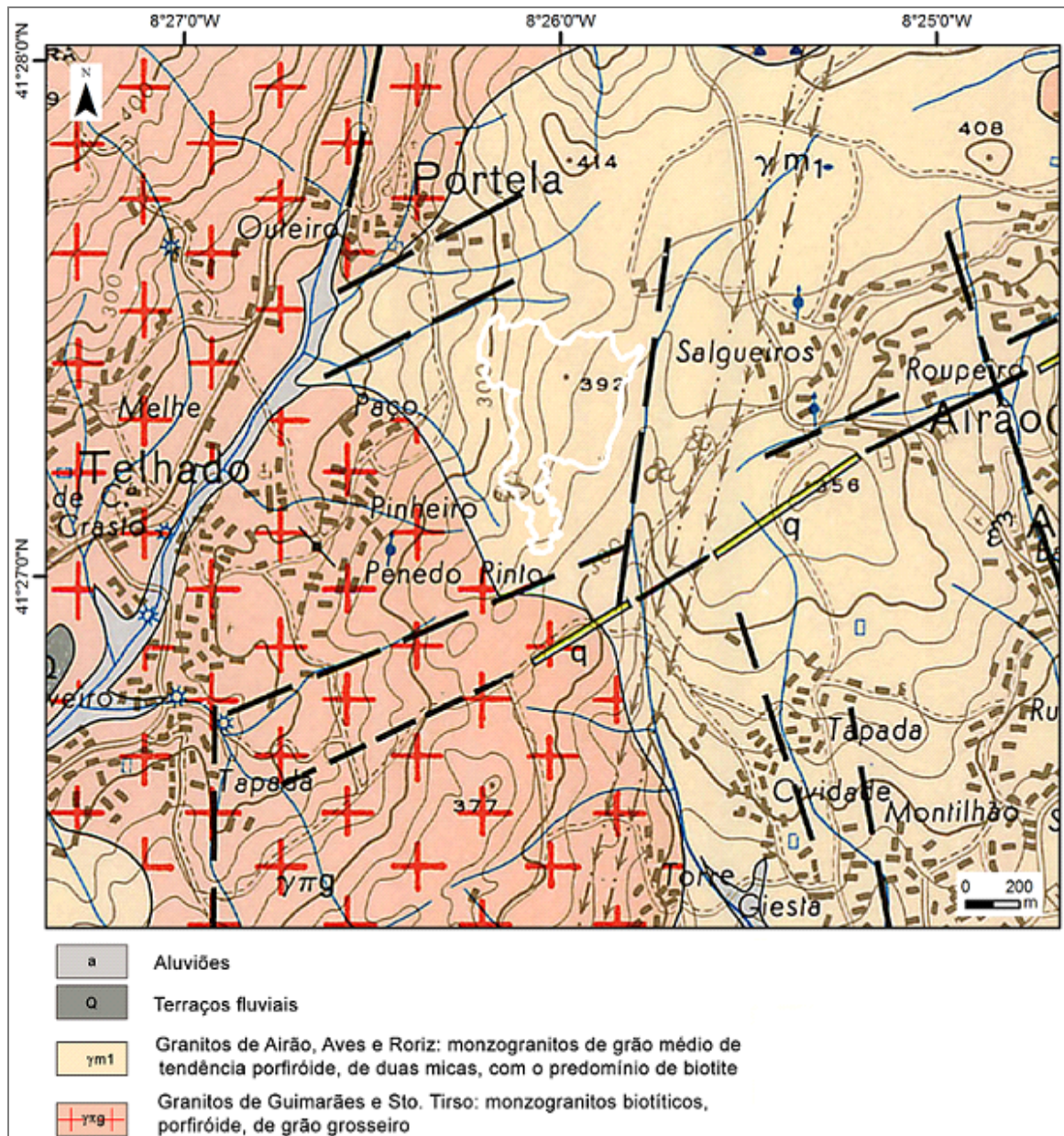


Figura 42 – Geologia Regional/Local na zona do complexo da SecilBritas (adaptado da Carta Geológica de Portugal 1:50 000, folha 9-B).

Pela imagem da Figura 42 é claramente perceptível que a pedra em análise se insere completamente nas formações graníticas de Airão, Aves e Roriz, conhecidas pelas suas apetências para a extracção destinada à produção de agregados e de rocha ornamental, numa conseguida coexistência devida à qualidade do maciço rochoso granítico presente, como é o caso desta pedra.

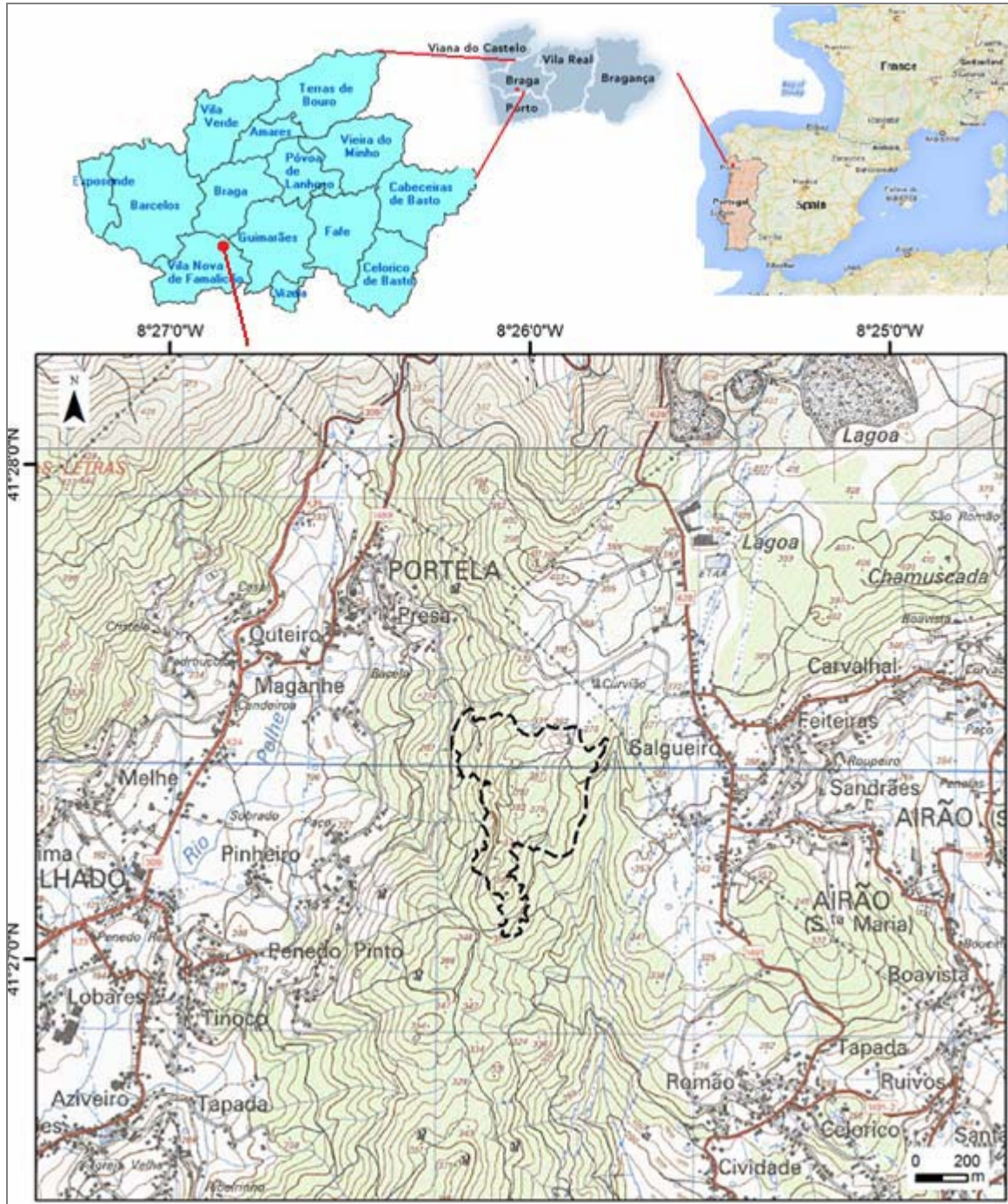


Figura 43 – Localização do complexo da SecilBritas em Joane, Famalicão, implantação regional e local.

Na imagem da Figura 43, encontra-se a localização do complexo industrial da SecilBritas em Joane, inserida na topografia e na região e na Figura 44 a implantação dos painéis do maciço rochoso que foram objecto de estudo.

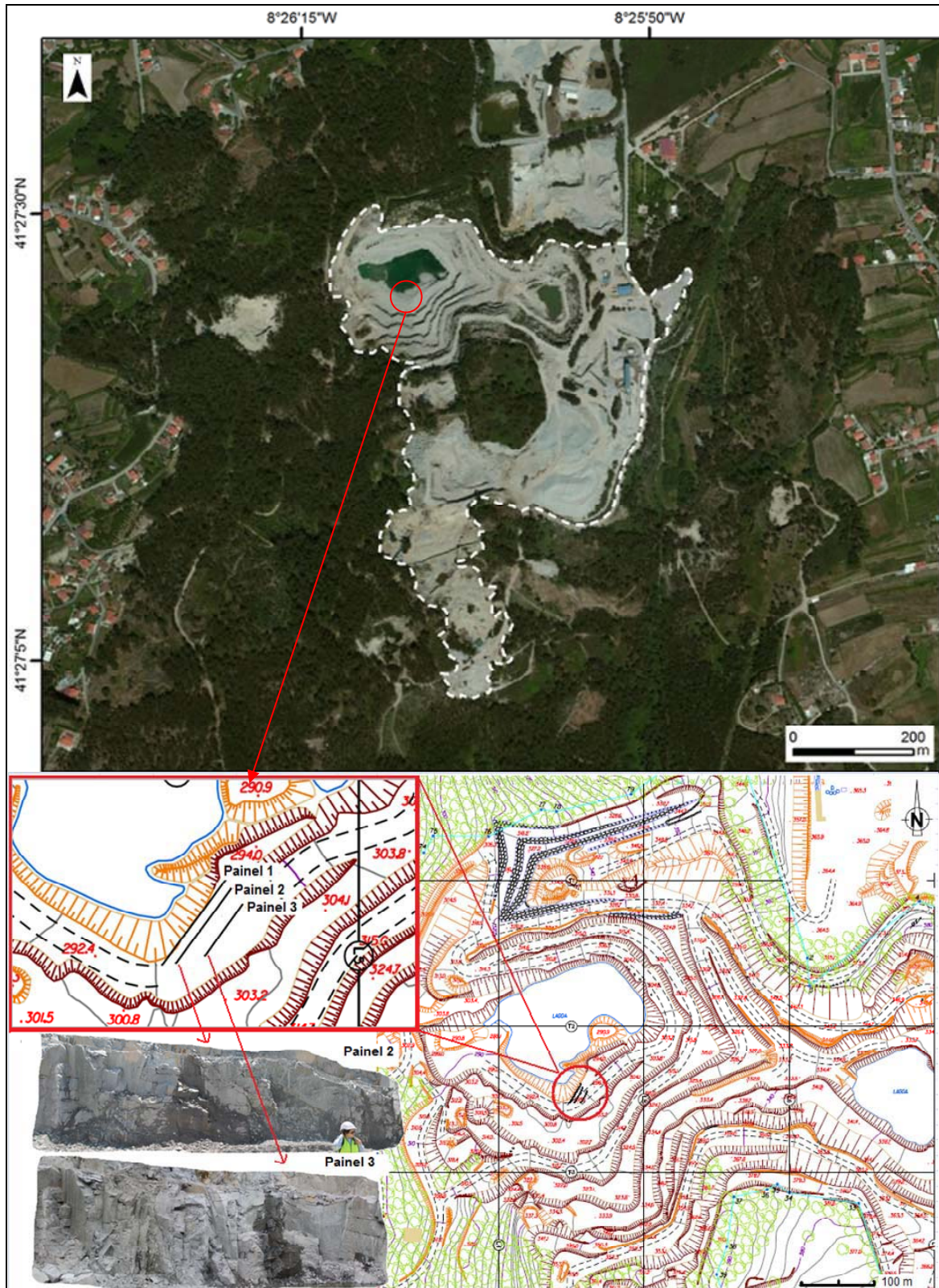


Figura 44 – Imagem superior refere-se à vista orto, enquadramento da pedra e imagem inferior aos Painéis estudados. (adaptação no levantamento Aerofotogramétrico da cartografia de Base, de Janeiro de 2011) (SecilBritas, Joane).

3.2.1. COMPLEXO DE PRODUÇÃO DAS PEDREIRAS DA SECILBRITAS EM FAMALICÃO

O local de estudo compreende em conjunto de pedreiras deste complexo, pedreiras n.º 5172-Curviã (2), 5417-Acela, 6335-Arcela (1), 4633-Campadinhas e 5386-Campadinhas (2), sitas nas freguesias de Portela e Joane, Concelho de Vila Nova de Famalicão, distrito de Braga, que compreendem uma área total aproximada de cerca de 30 hectares, com cerca de 16,5 ha considerados relativos em absoluto a área de exploração, isto é a extracção de granitos.

Esta área de exploração encontra-se inserida geograficamente em posição favorável, atendendo que a região tem mantido ao longo dos anos iniciativas económicas interessantes, adaptando-se industrialmente às oportunidades, em paralelo com várias empresas que operam a mesma área de negócio nesta região.

O acesso a esta área é feito a partir da Estrada Nacional 206, no troço que liga Famalicão a Guimarães, continuando em direcção à EN 309 com direcção a Portela/Longra e aí seguir as indicações existentes.

As localidades mais próximas são a freguesia da Portela, Airão e Joane, na imagem da Figura 45.

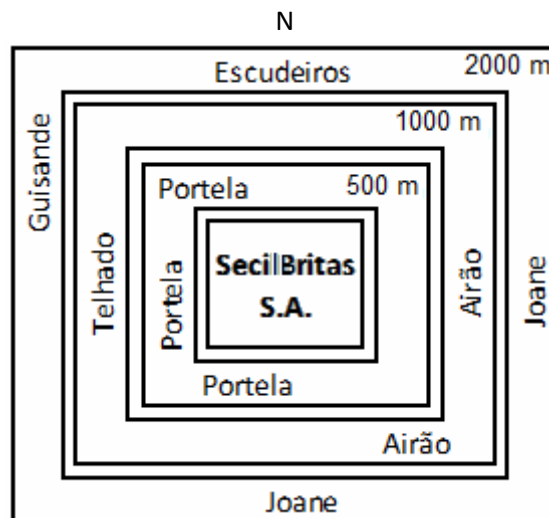


Figura 45 – Localização com delimitações da área do complexo da SecilBritas S. A.

A principal actividade deste complexo de pedreiras é a extracção de granitos para produção de agregados com transformação no local.

Para além desta produção de agregados em dinâmica laboração, coexiste em paralelo em cota mais elevada do complexo, uma extracção de blocos de granito com características ideais para a actividade de transformação na área da rocha ornamental, actividade com longo historial que se

verifica coexistir na área envolvente do complexo em empresas especializadas nesta área em paralelo com a produção de agregados.

São vários os produtos da SecilBritas em Joane, Famalicão, como é habitual em idênticos pólos industriais desta área e natureza, todos os produtos são produzidos com parâmetros normalizados (EN), marcação CE, com produtos desde os mais finos, Pó Mineral e Areias finas, passando pelos vários calibres de Britas, Britas normais e Drenantes as Gravilhas, os ABGE de maior amplitude granulométrica e os de maiores calibres como o Balastro o Enrocamento e o Rachão.

A produção directa dos agregados está aparentemente condicionada pelo layout da parte da transformação do material desmontado, que se afigura de certo modo em área confinada e dimensionada de acordo com a disponibilidade preexistente, obrigando a uma permanente gestão de stock face à produção imediata e a uma necessária deslocação do “excedente” do colector, que é usado para fornecimento imediato e de carga externa no raio de acção dos tapetes que transportam material resultante dos fragmentadores secundários e terciários, e sempre que necessário são esses “excedentes” momentâneos, deslocados para área em cota superior, sendo colocados em pilhas para posterior utilização.

3.3. PARÂMETROS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS - GENERALIDADES

A abordagem feita para o presente trabalho, foi direccionada para a investigação numa zona perfeitamente identificada, que foi caracterizada seguindo métodos e processos neste tipo de estudos propostos pela ISRM (1978, 1981), Ferrer e Gonzalez de Vallejo (1999), Chaminé Gaspar (1995), em painéis de faces expostas do maciço granítico.

Na amostragem que foi realizada nos três painéis de faces expostas da bancada estudada, foi aplicada a técnica da amostragem linear (Scanline) (ISRM 1978, 1981; Chaminé Gaspar, 1995), e que consistiu no levantamento das descontinuidades que interceptavam a fita graduada disposta em toda a extensão da cada uma das três faces expostas da bancada estudadas, com o seu respectivo registo, em fichas próprias para o efeito, registadas segundo os parâmetros geológicos-geotécnicos propostos pela ISRM (1981). Em cada uma das faces expostas da bancada, foram realizados testes de resistência do maciço rochoso através da aplicação na sua execução do *martelo de Schmidt*. Os dados recolhidos que foram obtidos com a aplicação da técnica da

amostragem linear, com o imediato registo em ficha própria, foram posteriormente inseridos numa base de dados (ScanGeoData|BGD) (Fonseca, 2008; Ramos, 2008).



Figura 46 – Aplicação da técnica da amostragem linear (scanline) e laboração.

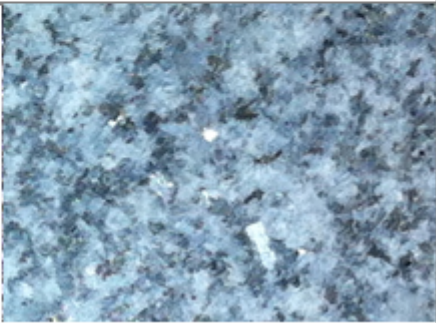
Na imagem da Figura 46 são apresentadas imagens onde se pode observar o método de trabalho referido, com a abordagem feita ao maciço aplicando a técnica da scanline, nas faces expostas do maciço e ao mesmo tempo podem ser observadas as condições em que foram realizados os levantamentos com a área envolvente com constante manutenção de nível freático com profundidades que chegavam a alcançar 1m, obrigando sempre à constante utilização dos equipamentos presentes em laboração para deslocação até à área de trabalho.

3.3.1. CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL ROCHOSO

A área da pedra onde se realiza o presente estudo é constituída por um maciço rochoso granítico de grão médio a fino, por vezes granodiorítico, levemente porfiroide de duas micas, predominantemente biotítico, apresenta mediana fracturação, com inclusões esparsas de material rochoso mais alterado, que manifesta tonalidade amarelada. É um maciço com boas qualidades para a produção de agregados, e para a rocha ornamental com extracção de blocos para a indústria da rocha ornamental, a laborar na mesma pedra. No Quadro 22 estão reunidas

as informações disponíveis sobre a descrição petrográfica do material rocha que compõem a generalidade do maciço rochoso da pedreira da SecilBritas em Joane.

Quadro 22 - Descrição petrográfica simplificada do granito da SecilBritas S.A. (Informação cedida pela SecilBritas S.A., e produzida pelo LGMC-Laboratório de Geotécnia e Materiais de Construção do CICCOPN)

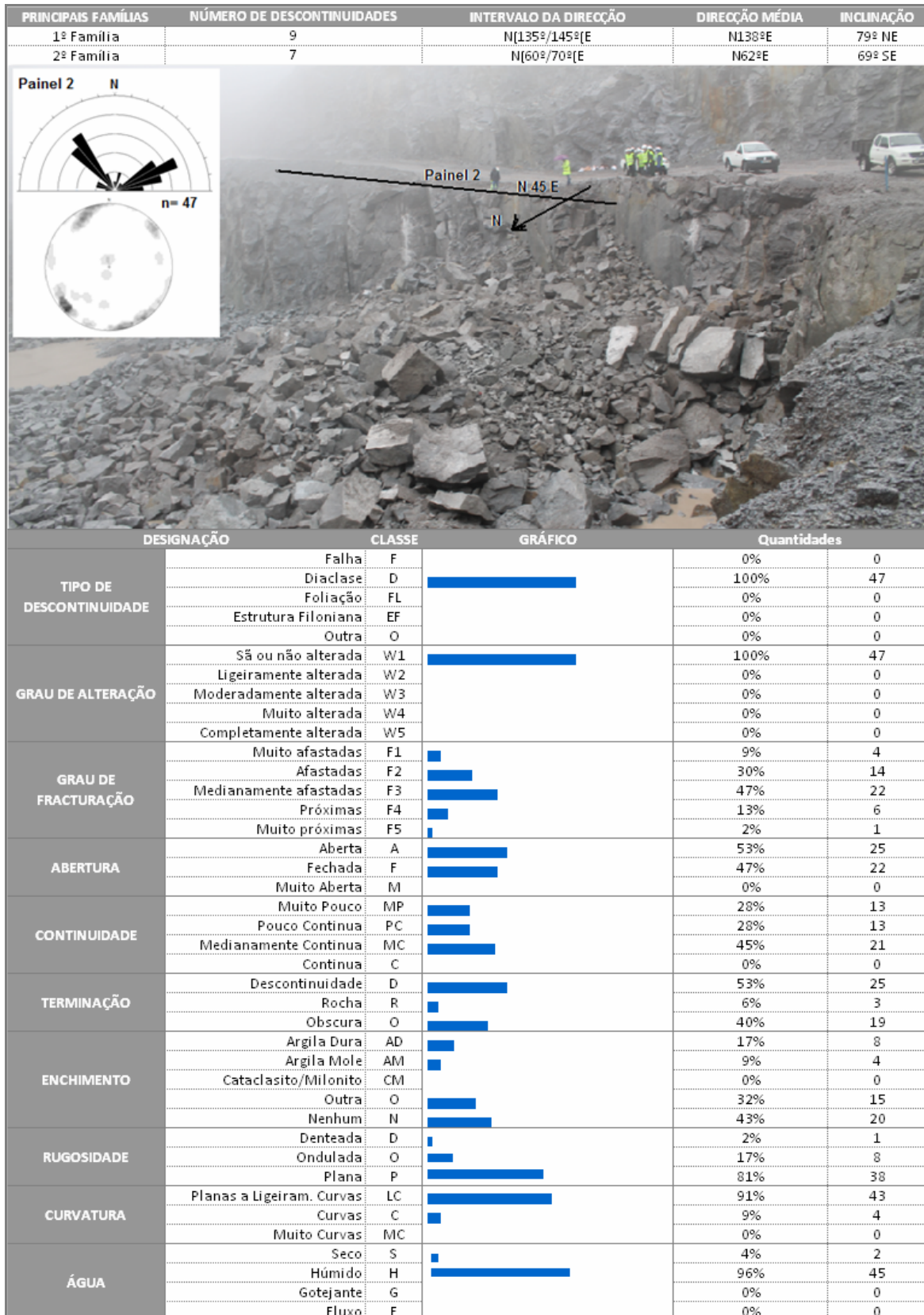
Parâmetro	Descrição			
Classificação Geológica:	Rocha ígnea plutónica - Granito			
Estrutura:	Compacta			
Textura:	Holocristalina, Fanerítica, tendência porfiroide.			
Alteração:	Sã a pouco alterada (W1 a W2)			
Superfície:	Áspera.			
Porosidade:	Baixa.			
Vesicularidade:	Não apresenta.			
Outras propriedades:	Tonalidade Azul.			
Mineralogia:	Feldspatos	1 a 30 mm	60%	
	Quartzo	1 a 5 mm	30%	
	Biotite	0,5 a 2 mm	9%	
	Moscovite	0,5 a 2 mm	1%	
	Outros minerais		1%	

3.3.2. RESUMO DA CARATERIZAÇÃO DOS PAINÉIS EM ANÁLISE

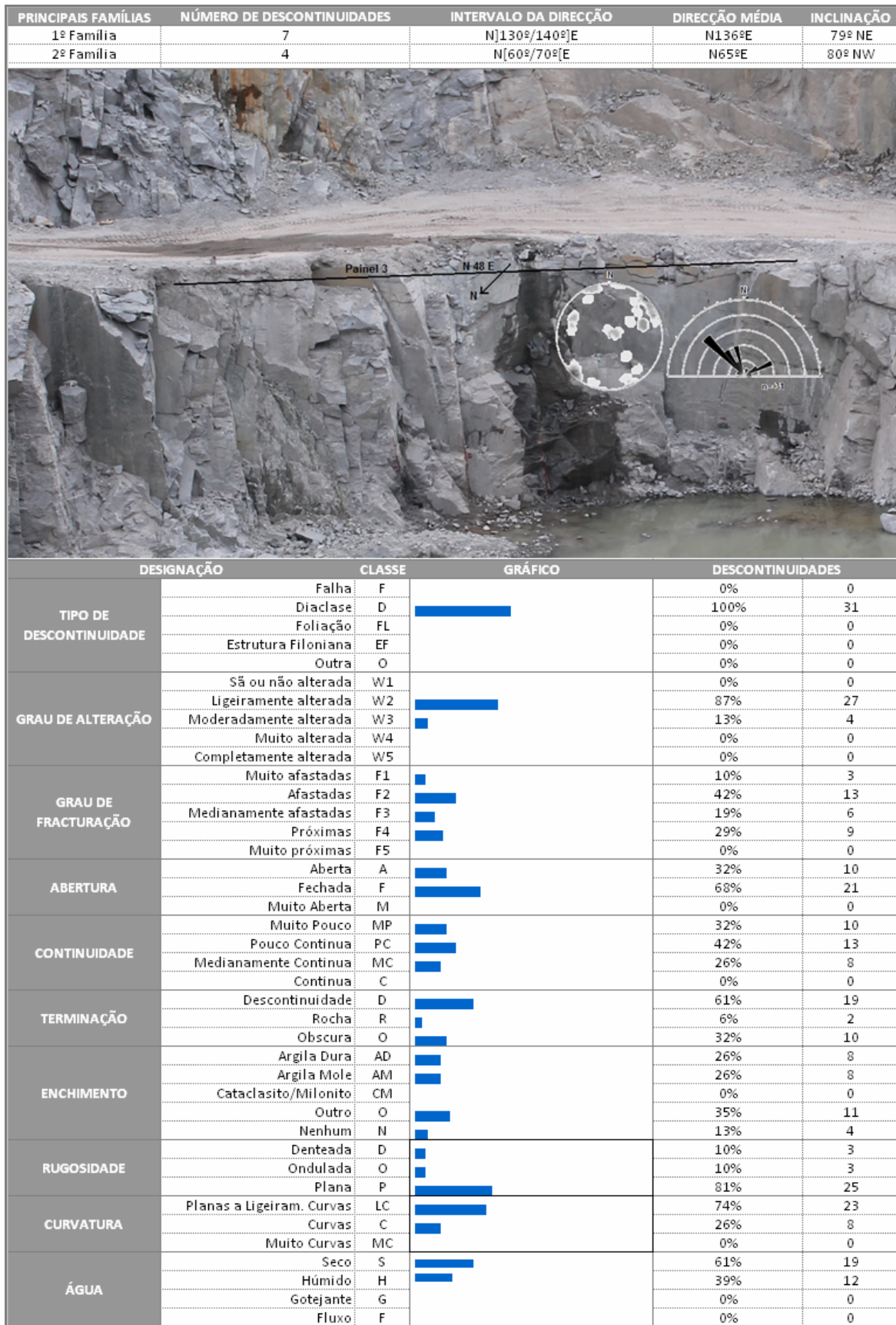
O maciço rochoso nesta parte da pedreira não é muito compartimentado, exhibe faces planas que proporcionam “painéis” de diaclases subverticais de orientação NW-SE, que fazem com a frente da bancada ângulos cerca de 30°, 40°, propicias a um bom desempenho no resultado da fragmentação do desmonte. Este maciço rochoso é considerado um maciço de boa qualidade (W₁₋₂), com manchas pontuais de material de menor qualidade (W₃). Como já referido no levantamento das particularidades e singularidades detectadas foi para tal aplicada a técnica da amostragem linear, aplicada em três faces sucessivas que foram ficando expostas na mesma bancada. No entanto como a abordagem seguida nesta investigação é centrada nas faces expostas do maciço rochoso que receberam as perfurações resultantes dos diagramas de fogo das pegas de fogo 1 e 2 aqui executadas no decorrer da investigação, apenas serão os painéis 2 e 3 objecto de tratamento. Os dados que foram recolhidos por painéis no terreno, foram registados em fichas próprias para o efeito e transferidos posteriormente para base de dados ScanGeoData|BGD (Ramos, 2008; Fonseca, 2008), para a devida análise e definição das principais famílias de descontinuidades por painel. De modo a sintetizar a informação são apresentados os

Quadros resumo 23 e 24 relativos às características geológico-geotécnicas dos dados processados relativos aos painéis 2 e 3.

Quadro 23 – Painel 2 - Parâmetros geológico-geotécnicos, diagramas de contorno estrutural e de rosetas.



Quadro 24 – Painel 3 - Parâmetros geológico-geotécnicos, diagramas de contorno estrutural e de rosetas.



No painel 2 (Quadro 23) que apresenta orientação NE-SW, foram tratadas 47 descontinuidades, e com o auxílio dos diagramas de contorno estrutural e diagramas de rosetas foi determinada a principal família de diaclases, com orientação $N135^{\circ}/145^{\circ}E$, de tendência subvertical e uma outra família igualmente subvertical com orientação $N60^{\circ}/70^{\circ}E$.

Numa análise geral ao quadro 23, onde se encontram tratadas as descontinuidades, expressas nos parâmetros objecto de estudo, constata-se que o maciço rochoso nesse painel aponta para ser predominantemente rocha sã (W_{1-2}), pouco fracturado, com um grau de fracturação (F2, F3) com as diaclases entre afastadas a medianamente afastadas.

No painel 3 (Quadro 24) que recebeu a pega de fogo 2, apresenta a mesma orientação (NE-SW), que o painel 2 e foram tratadas 31 descontinuidades, sendo determinada a principal família de diaclases esta com orientação $N130^{\circ}/140^{\circ}E$, de tendência subvertical e uma segunda família igualmente subvertical com direcção $N60^{\circ}/70^{\circ}E$. Constata-se neste painel a existência de rocha ligeiramente alterada (W_2) a moderadamente alterada (W_3), e com classe de fracturação de afastadas (F2).

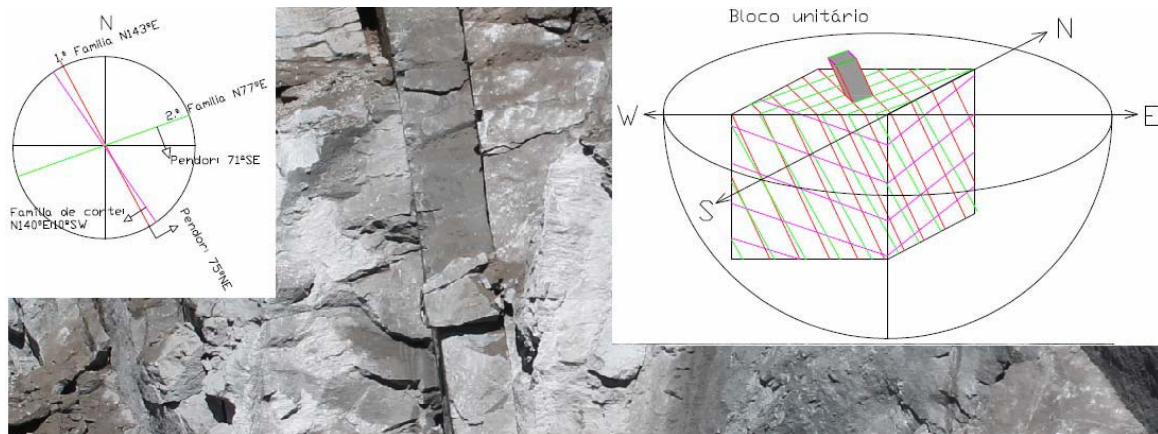


Figura 47 – Esquemática sobre a determinação geral do Bloco unitário predominante.

Na imagem da Figura 47 encontra-se representado um bloco unitário resultante da análise geral aos painéis estudados. Este bloco foi deduzido a partir da determinação de duas principais famílias de planos subverticais [$N143^{\circ}E:75^{\circ}NE$; $N77^{\circ}E:71^{\circ}SE$], resultantes do conjunto dos dois painéis estudados, que configuram uma parte significativa da fracturação residente. A aparente falta em registo de uma terceira família representativa que proporcionasse a configuração do bloco, levou a que fosse escolhida como referencial uma diaclase de plano subhorizontal característica do maciço rochoso, que devido ao seu plano [$N140^{\circ}E:10^{\circ}SW$] não foi tão tangível

do que as outras na amostragem obtida pela scanline. Esta diaclase proporciona planos de corte praticamente horizontais ao longo dos painéis, que em conjunto com os planos das duas mais representativas famílias subverticais identificadas, configuram uma blocometria tipo, de variada amplitude, aproximada à da imagem da Figura 47.

3.3.3. CARATERIZAÇÃO GEOMECÂNICA DOS PAINÉIS – ENSAIOS DE RESISTÊNCIA

Reveste-se de carácter fundamental conhecer as propriedades físicas e mecânicas dos produtos colocados no mercado, respondendo ainda a aspectos de ordem legais e de compromisso com o propósito de evidenciar as propriedades a nível de resistência, durabilidade e de desgaste que sirvam os interesses da procura.

Neste contexto inserem-se entre outros o ensaio de resistência ao desgaste pelo ensaio de “Los Angeles” e “Micro-Deval”, e o ensaio de resistência à compressão uniaxial, os dois primeiros realizados no âmbito da exploração da pedra para os produtos designados.

No ensaio de “Los Angeles” é determinada a resistência ao desgaste e a dureza do material em meio seco, estabelecido pela acção conjunta do material rocha com esferas de aço num tambor com programada rotação, determinando o desgaste e o impacto sofrido. No Quadro 25, os resultados dos ensaios LA realizados entre 30.01.2013 e 02.05.2013.

Quadro 25 – Resultados dos ensaios “Los Angeles”.

Produto Ensaiado		Data do ensaio	LA (EN 1097-2)	Obs.:
Designação	(mm)			
Balastro	31,5/50	30-01-2013	16%	a)
Brita Drenante	10/14	22-03-2013	9%	b)
Agregado	10/14 C.1	02-05-2013	29%	b)

a) LA - Coeficiente de Los Angeles agregados (5000-m³/50) (%)

b) LA_{RB} - Coeficiente de Los Angeles Balastro (10 000-m³/100) (%)

O ensaio “Micro-Deval” avalia a durabilidade e resistência à abrasão dos agregados, ensaiados conjuntamente com esferas em meio húmido. Segundo alguns autores o meio húmido simula melhor as condições de campo quando comparado à condição seca do ensaio “Los Angeles”. No Quadro 26, os resultados dos ensaios “Micro-Deval” realizados entre 30.01.2013 e 02.05.2013.

Quadro 26 – Resultados dos ensaios Micro-Deval''

Produto Ensaiado		Data do ensaio	MD (EN 1097-1)	Obs.:
Designação	(mm)			
Balastro	31,5/50	30-01-2013	10%	a)
Brita Drenante	10/14	22-03-2013	9%	b)
Agregado	10/14 C.1	02-05-2013	9%	b)

a) M_{DE} - Coeficiente de Micro Deval, Valor Médio (agregados) (%)b) M_{DE}RB - Coeficiente de Micro Deval, Valor Médio (Balastro) (%)

No ensaio de resistência Uniaxial foi determinada a dureza da rocha precisamente nos painéis em estudo, recorrendo ao esclerómetro portátil ou *martelo de Schmidt*, com sistematização do ensaio, foram recolhidos elementos em 10 estações geomecânicas de cada painel.

Quadro 27 – Resumo dos resultados da resistência à compressão (esclerómetro portátil) nos Painéis 2 e 3.

Estação Geomecânica	Painel	Distância à origem (Scanline) (m)	Litologia	VALOR DO ENSAIO DE PERCUSSÃO (RESSALTO, REBOUND, R)										Média dos 5 melhores resultados de ressaltos R	Média da Resistência à Compressão Uniaxial (MPa)	Classe de Resistência S
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
				("Dureza de Schmidt", R)												
1	2	0,00	Granito	36,0	24,0	24,0	34,0	38,0	12,0	26,0	12,0	22,0	30,0	32,8	56,7	3
6	2	5,40	Granito	26,0	28,0	20,0	22,0	28,0	24,0	20,0	26,0	22,0	24,0	26,4	29,1	3
10	2	7,60	Granito	40,5	36,0	44,0	40,0	39,0	38,0	40,0	44,0	38,0	40,0	41,7	81,6	2
19	2	12,40	Granito	30,0	22,0	22,0	28,0	26,0	21,0	22,0	24,0	28,0	32,0	28,8	40,4	3
22	2	16,40	Granito	22,0	46,0	44,0	28,0	42,0	28,0	39,0	22,0	22,0	20,0	39,8	77,1	2
26	2	20,30	Granito	24,0	38,0	38,0	34,0	20,0	29,0	27,0	37,0	33,0	39,0	37,2	63,7	2
28	2	24,30	Granito	35,0	39,0	36,0	36,0	20,0	20,0	42,0	37,0	34,0	30,0	38,0	66,8	2
31	2	29,10	Granito	43,0	50,0	52,0	52,0	52,0	40,0	47,0	44,0	52,0	52,0	52,0	142,4	2
37	2	33,10	Granito	30,0	30,0	30,0	40,0	36,0	32,0	36,0	28,0	34,0	34,0	36,0	59,9	3
45	2	37,10	Granito	44,0	40,0	38,0	28,0	32,0	42,0	38,0	40,0	47,0	44,0	43,4	89,8	2
Média Geral do Painel													70,75	2		
1	3	0,00	Granito	30,0	34,0	41,0	36,0	14,0	32,0	36,0	38,0	36,0	28,0	37,4	64,5	2
5	3	2,00	Granito	24,0	30,0	40,0	34,0	34,0	32,0	34,0	48,0	40,0	44,0	41,2	81,5	2
9	3	5,05	Granito	33,0	49,0	34,0	34,0	12,0	30,0	20,0	40,0	46,0	38,0	41,4	83,4	2
13	3	7,10	Granito	44,0	24,0	36,0	34,0	46,0	41,0	32,0	46,0	34,0	53,0	46,0	114,9	2
16	3	9,30	Granito	28,0	24,0	30,0	20,0	24,0	28,0	36,0	20,0	40,0	46,0	36,0	69,9	2
23	3	13,60	Granito	28,0	40,0	42,0	38,0	40,0	40,0	32,0	41,0	36,0	30,0	40,6	84,1	2
25	3	16,30	Granito	46,0	44,0	40,0	42,0	44,0	41,0	44,0	36,0	36,0	32,0	44,0	92,2	2
28	3	18,65	Granito	40,0	42,0	37,0	40,0	37,0	41,0	38,0	45,0	41,0	39,0	41,8	90,0	2
30	3	22,00	Granito	36,0	38,0	47,0	35,0	39,0	25,0	41,0	43,0	21,0	30,0	41,6	82,0	2
31	3	24,70	Granito	10,0	26,0	24,0	35,0	33,0	31,0	37,0	27,0	33,0	40,0	35,6	64,9	2
Média Geral do Painel													82,75	2		

Após tratamento dos elementos recolhidos e apresentados os resultados no quadro 27, estes indicam que a zona do maciço que compõem o painel 2 ronda os 70 MPa, enquanto que na zona do maciço que compõem o painel 3, ronda os 82 MPa, na generalidade classifica os painéis quanto à resistência como S2, de elevada resistência (ISRM, 1981).

Para a realização do ensaio de carga pontual (Point Load Test, PLT) foram recolhidas duas amostras relativas ao material rocha representativo, W_{1-2} e W_3 , no Pannel 3 da Bancada 1, tendo sido tratadas no Laboratório de Geotécnia e Materiais de Construção do ISEP.

Foram ensaiados 12 provetes do material rocha W_{1-2} (Figura 48) e apenas 4 provetes do W_3 (Figura 49) devido à dificuldade de obtenção dos provetes necessários perante as condições exigidas pela norma, pelo que os resultados deste último apenas servem como valor indicativo.

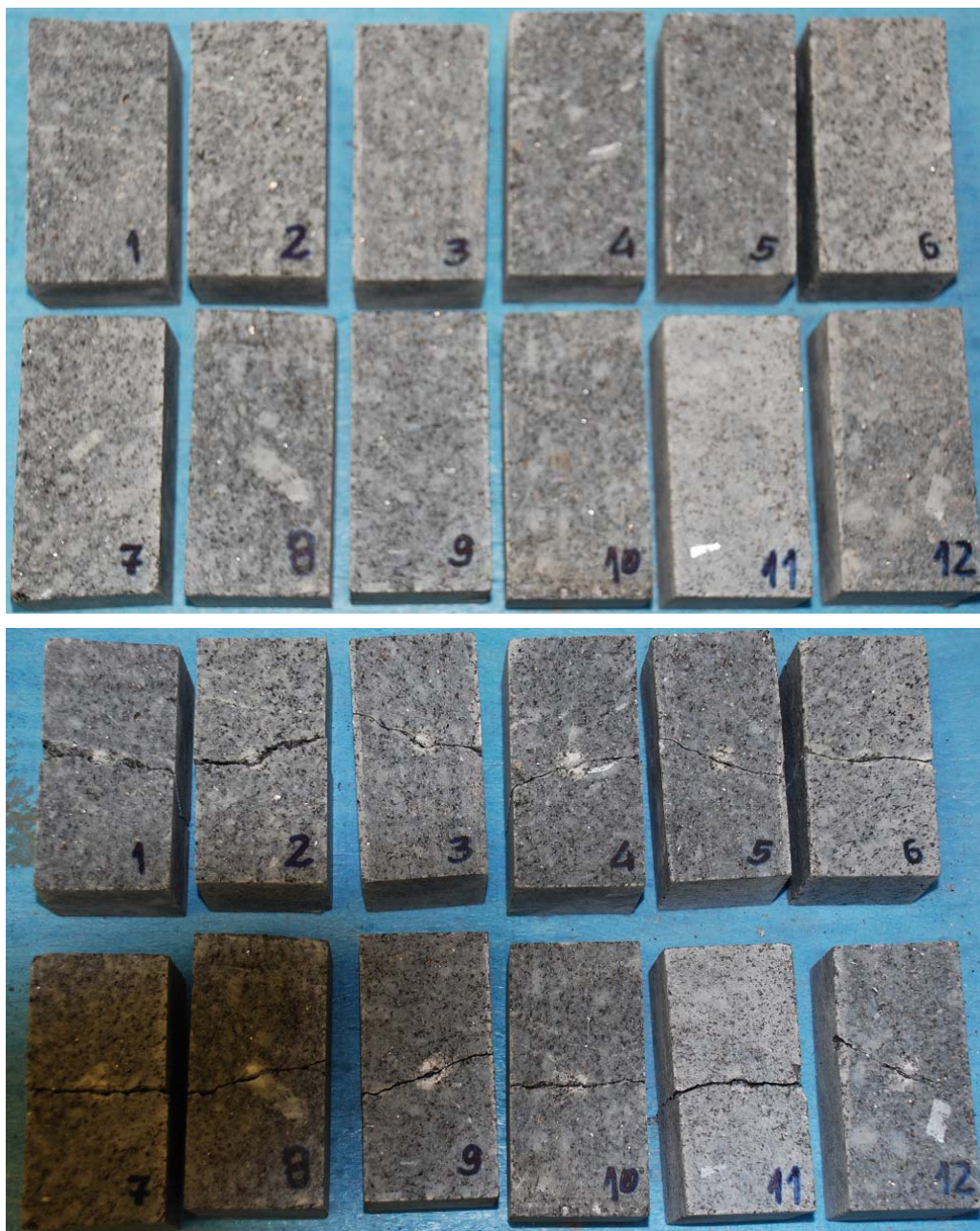


Figura 48 – Amostras ensaiadas (W_{1-2}), no PLT, referentes à Bancada 1, Pannel 3.



Figura 49 – Amostras ensaiadas (W_3), no PLT, referentes à Bancada 1, Painel 3.

Quadro 28 – Resultados dos ensaios de carga pontual, no Painel 3 da Bancada 1, material rocha W_{1-2} e W_3

Bancada Litologia	Ensaio	D	L	W	De	F	P	Is	Is ₍₅₀₎	Obs.
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(KN)	(Mpa)	(Mpa)	
B1/P3 Granito (W_{1-2})	1	49,00	98,00	49,00	49,00	0,991	18,50	7,71		
	2	49,00	96,00	50,00	49,00	0,991	23,00	9,58	9,49	
	3	49,00	97,00	49,00	49,00	0,991	27,00	11,25	11,14	
	4	50,00	100,00	50,00	50,00	1,000	36,00	14,40	14,40	
	5	49,00	99,00	49,00	49,00	0,991	28,50	11,87	11,76	
	6	48,00	96,00	50,00	48,00	0,982	33,50	14,54		
	7	49,00	98,00	50,00	49,00	0,991	26,00	10,83	10,73	
	8	47,00	102,00	50,00	47,00	0,973	24,00	10,86	10,57	
	9	49,00	100,00	52,00	49,00	0,991	30,50	12,70	12,59	
	10	49,00	102,00	51,00	49,00	0,991	32,50	13,54	13,41	
	11	48,00	100,00	48,00	48,00	0,982	27,00	11,72	11,51	
	12	49,00	100,00	49,00	49,00	0,991	30,00	12,49	12,38	

Valor médio da resistência **11,80**

Desvio padrão 1,37

Amplitude 4,91

Bancada Litologia	Ensaio	D	L	W	De	F	P	Is	Is ₍₅₀₎	Obs.
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(KN)	(Mpa)	(Mpa)	
B1/P3 Granito (W_3)	1	49,00	101,00	49,00	49,00	0,991	18,50	7,71	7,64	
	2	49,00	100,00	50,00	49,00	0,991	23,00	9,58	9,49	
	3	49,00	98,00	49,00	49,00	0,991	27,00	11,25	11,14	
	4	48,00	99,00	50,00	48,00	0,982	36,00	15,63	15,34	

Valor médio da resistência **10,90**

Desvio padrão 2,85

Amplitude 7,71

Pelos resultados patentes no Quadro 28, relativos ao PLT (Point Load Test), na parte do W_{1-2} , na conversão do $Is_{(50)}$ em resistência à compressão uniaxial (ISRM, 1985, 2007), é devido um valor de cerca de 260 MPa, que não se enquadra no obtido pelo ensaio de Schmidt cerca de 83 MPa. Pela inexistente correspondência seria necessário proceder a nova recolha de amostras para novos ensaios a fim de aferir resultados.

3.3.4. ENSAIOS DE PERFURABILIDADE

Para além dos ensaios anteriores e com vista a relacionar as propriedades afectas a resistência e à dureza do material-rocha relacionadas com a perfuração, do conhecimento da taxa de penetração de uma ferramenta metálica na rocha perante distintos condicionantes como é a textura da rocha, a mineralogia, o tamanho do grão e a natural resistência da matriz rochosa, foram realizados em laboratório dois ensaios para determinar o único índice de penetração na rocha analisado, o índice de Perfurabilidade DRI - "Drilling Rate Index" (Figura 50).

Os ensaios permitem obter dois parâmetros; o Valor J de Sievers (Sj) e o valor de "S" do ensaio de fragilidade ou friabilidade (S) ("Brittleness test").



Figura 50 – Ensaio de laboratório a) "Brittleness test"); b) Valor J de Sievers (Sj).

No Quadro 29 são apresentados os resultados dos ensaios de friabilidade (S_{20}) e de Sievers para obter o SJ.

Quadro 29 – Resultado dos ensaios de friabilidade e de Sievers índice "J".

Ensaio de "Brittleness"		Ensaio de Sievers	
N.º 1	43,254	N.º 1	0,744
N.º 2	43,254	N.º 2	0,849
N.º 3	42,460	N.º 3	0,751
S_{20}	43,0	Média	0,781
		SJ (mm)	7,81

Quadro 30 – Índice de Perfurabilidade-DRI para o maciço em estudo em Joane, Famalicão.

S₂₀	43,0	DRI	42,3
SJ	7,81		

No resultado obtido para o maciço granítico em estudo o Índice de perfurabilidade DRI, revela um valor médio baixo (Quadro 30), isto é, as características do granito conferem uma dificuldade técnica de resistência à perfuração praticamente inversa ao resultado DRI, isto é, haverá uma dificuldade média alta na da perfuração. Na prática este índice proporciona a possibilidade de escolha e adequação dos equipamentos e acessórios ao maciço rochoso analisado e a escolha do ciclo de afiação dos Bits.

3.4. DESVIOS DOS FUROS RESULTANTES DA PERFURAÇÃO

Na metodologia para abordagem deste tema é mantida uma linha de trabalho cujos itens a tratar são claramente perceptíveis, embora convictos de que por cada “troço” de furo executado, os factores intervenientes e passíveis de serem estudados são vários e cada um deles tem todas as probabilidades de vere o seu peso de influência variar, função das mais diversas perspectivas em análise.

Os estudos realizados neste complexo industrial compreenderam a execução de duas pegas de fogo na mesma bancada (Figura 51) sendo conhecidos os pormenores de execução e trajectória da totalidade dos furos função dos resultados da leitura do Boretrak, e do varrimento com equipamento Laser da frente da bancada, assim como das condições em que foram executados.

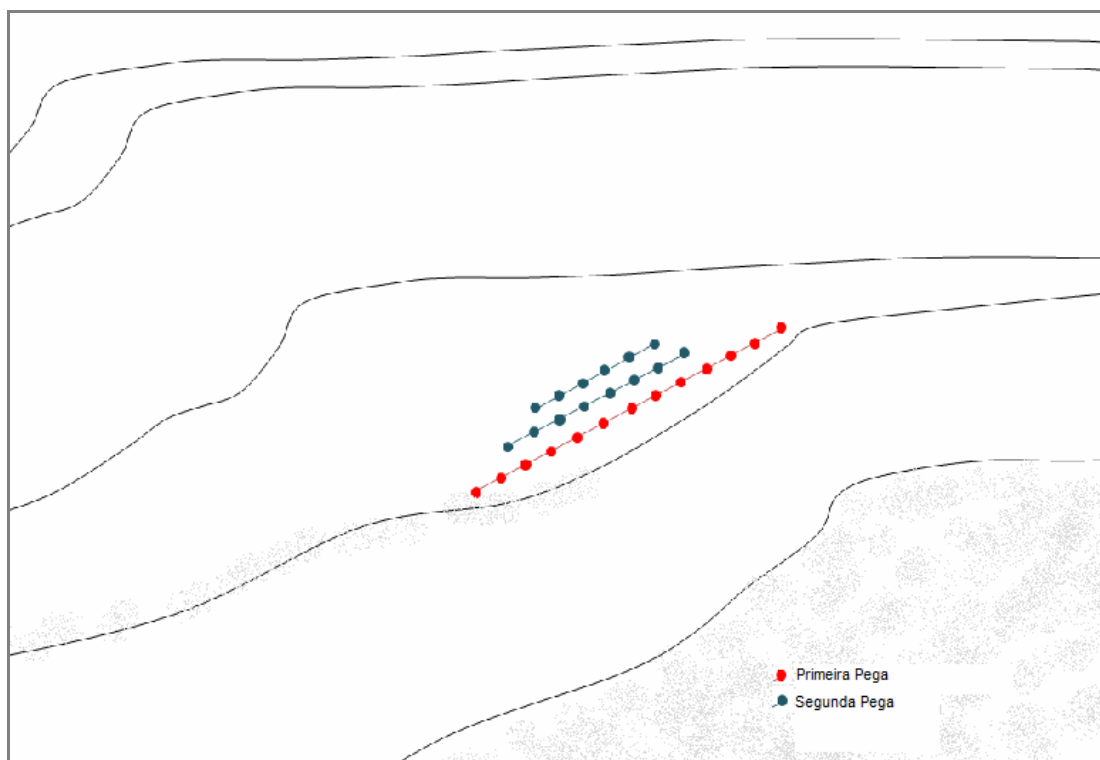


Figura 51 – Representação esquemática das pegas de fogo realizadas em bancada.

Esta análise aos desvios de perfuração foi efectuada numa perspectiva de iteração para uma proposta de implementação de correcções aos erros verificados nos desvios. Segue um procedimento de trabalho que compreende a análise de desvio por cada furo devido a erro no emboquilhamento e ao desvio por flexão.

Na primeira pega de fogo não houve intervenção da nossa parte na pretensão de correcção, foi realizado acompanhamento de trabalhos de preparação, desde o levantamento das discontinuidades na frente livre da bancada, à perfuração, ao carregamento com explosivos e ao seu rebentamento.

Na segunda pega de fogo (PF2) o primeiro furo (F1), foi realizado como habitualmente e seguida a mesma metodologia aplicada na furação da primeira pega (PF1). Após a perfuração desse primeiro furo, foi de imediato feita uma recolha de elementos com o Boretrak, para perceber o comportamento da perfuração e trajectória do furo. Esta iteração deve acontecer antes de prosseguir com a perfuração do restante diagrama de fogo, porque após análise aos elementos recolhidos é proposto uma correcção no posicionamento do emboquilhamento que permita um ajustamento do percurso do furo teórico.

Uma rigorosa execução do furo é fórmula fundamental para permitir alcançar um bom resultado. Na imagem da Figura 52 constatam-se diferentes emboquilhamentos, uns na rocha (d, e) e outros com mais ou menos material desagregado (b, c), que terão como consequência desvios da perfuração de diferentes grandezas.

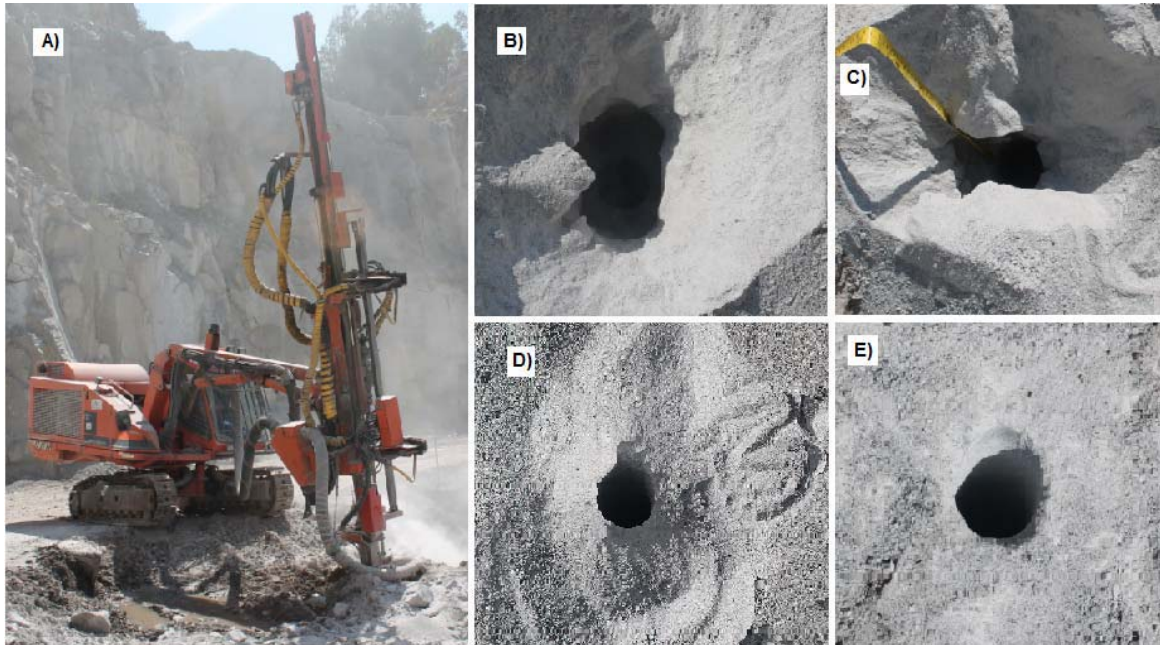


Figura 52 – Exemplos de emboquilhamentos na PF2: A) carro de perfuração; B) furo1; C) furo 4; D) furo 3; E) furo 2.

Para além das condições em que é executada a perfuração, é devida uma actuação dos intervenientes pautada pelo rigor, tendo em vista que só deste modo é possível existir mútua confiança no trabalho executado, de modo a que os resultados possam justificar acções e servir de alavanca para implementação de eventuais correcções, que só poderão ter o impacto pretendido caso as tarefas realizadas a montante, tenham sido executadas de acordo com o projecto.

3.4.1. DESVIOS OCORRIDOS PELO EMBOQUILHAMENTO

O conhecimento e análise destes desvios, será realizada nos seguintes planos de projecção:

- ✓ Projecção do desvio na direcção (X), desvio lateral, com a determinação do valor absoluto que ocorre nos desvios, assim como o ângulo de direcção lateral (+ ou -), se desvia para a direita (+) ou para a esquerda (-) segundo uma vertical teórica do furo.

- ✓ Projecção do desvio na inclinação (γ), desvio frontal, com a determinação do valor absoluto que ocorre nos desvios assim como o ângulo de inclinação frontal (+ ou -), se desvia para a frente (+) ou para a retaguarda (-) segundo uma perspectiva teórica do furo, que neste caso é de cerca de 10° , para a frente.

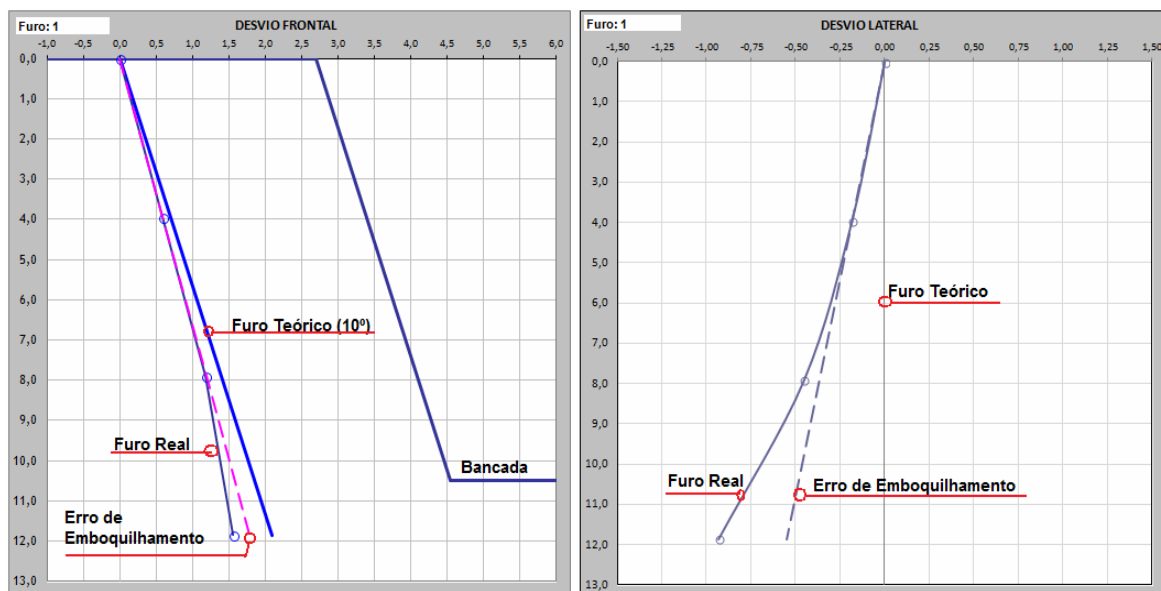


Figura 53 – Exemplo de desvios frontal e lateral considerados por erro de emboquilhamento. Verificado no furo 1, da PF1, BE1, da pedra da Secil em Famalicão, registado pelo Boretrak no dia 18/03/2013.

No caso em estudo foi considerado erro de emboquilhamento o resultado do valor medido pelo Boretrak no primeiro troço do furo. As leituras realizadas em 18/03/2013, na bancada de ensaio n.º 1, adiante designada BE1, e na pega de fogo n.º 1 adiante designada PF1, foi realizado de 4 em 4 metros em cada um dos furos. Na imagem da Figura 53 é perceptível verificar que a trajectória resultante do erro de emboquilhamento na superfície, provoca logo à partida um acréscimo de incerteza face à nova trajectória que irá percorrer, desajustando à partida todo um projecto estabelecido e conduzindo a resultados imprevistos, com reflexo na diminuição na qualidade pretendida.

3.4.2. DESVIOS OCORRIDOS PELA FLEXÃO

Também neste tipo de desvio, motivado pela flexão dos acessórios de perfuração em conjugação com a matriz rochosa, são consideradas as seguintes projecções:

- ✓ Projecção do desvio na direcção (X), desvio lateral, numa análise em toda a extensão do furo, com a determinação do valor os desvios no eixo do X (+ ou -), se desvia para a direita (+) ou para a esquerda (-) segundo uma vertical teórica do furo, com vista por detrás da bancada.
- ✓ Projecção do desvio na inclinação (Y), desvio frontal, com a determinação do valor absoluto que ocorre nos desvios assim como o ângulo de inclinação frontal (+ ou -), se desvia para a frente (+) ou para a retaguarda (-) segundo uma perspectiva teórica do furo, que neste caso é de cerca de 10° , para a frente.

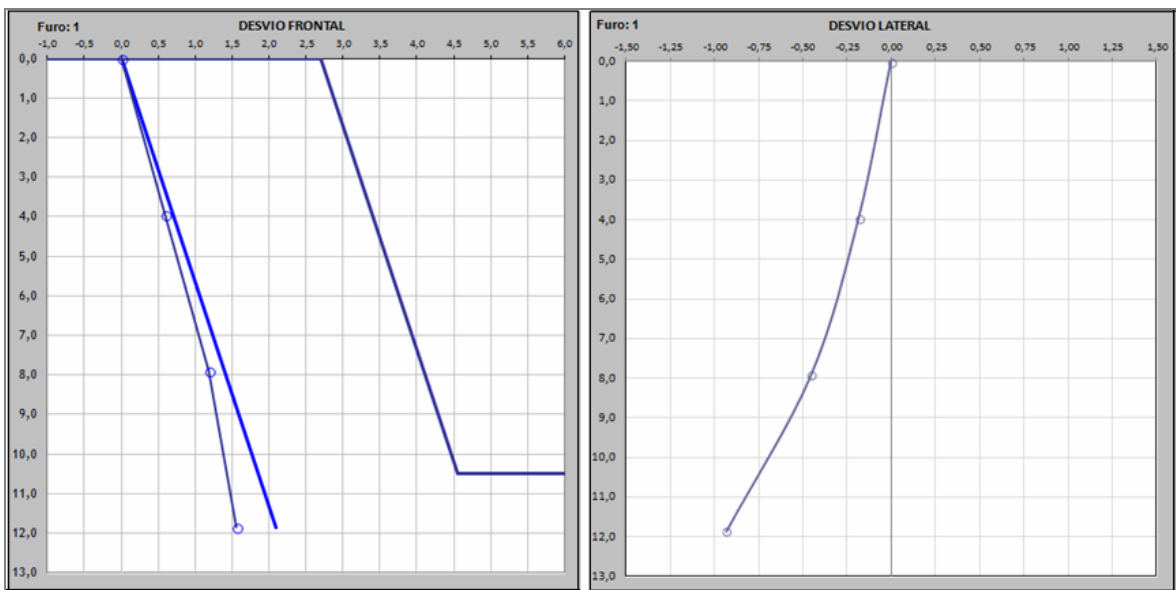


Figura 54 – Exemplo de desvios frontal e lateral considerados por erro de flexão. Verificado no furo 1, da PF1, BE1, da pedra da Secil em Famalicão, registado pelo Boretrak no dia 18/03/2013.

No exemplo da imagem da Figura 54, constata-se o desvio de direcção lateral por flexão para a direita (-), que ocorre em toda a trajectória do furo com maior significado mais próximo do fundo do furo, sendo aos cerca de 12 m, de aproximadamente 1,0 m, enquanto na projecção frontal o desvio manifesta-se para a retaguarda (-), em cerca de 0,5 m, relativo à perspectiva teórica do furo.

3.5. RESULTADOS OBTIDOS NO EMBOQUILHAMENTO

A avaliação realizada quer aos desvios ocorridos por erro devido ao emboquilhamento, quer aos desvios ocorridos por efeito da flexão, é composta por tratamentos estatísticos e técnicos com vista à obtenção de resultados fiáveis.

3.5.1. BREVE ANÁLISE CONJUNTA PELOS DOIS TIPOS DE ERROS.

Numa primeira análise conjunta da acção que é possível verificar resultante dos dois tipos de erros atrás mencionados, e observados nas trajectórias dos furos executados, é possível apontar possíveis causas para o comportamento da trajectória do furo: um desajustado posicionamento no que se refere ao emboquilhamento ao qual acresce o desvio por acção da flexão, factores por vezes exponenciais, promovendo maiores desvios no decorrer da trajectória, assim como resultará um mau posicionamento no fundo do furo.

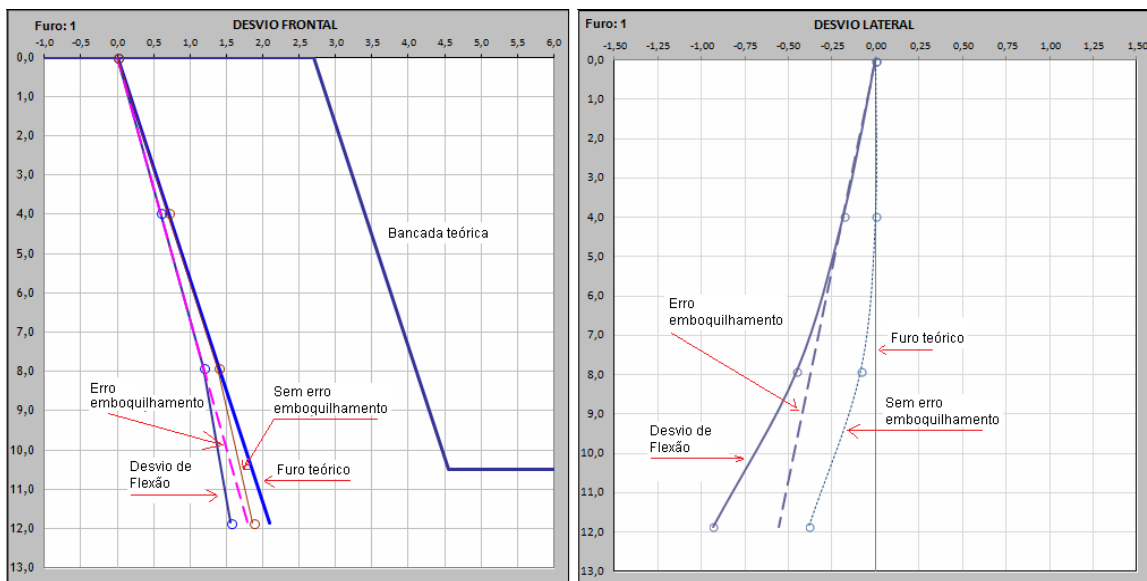


Figura 55 – Exemplo de desvios frontal e lateral considerados por erro de emboquilhamento e flexão. Furo 1, da PF1, BE1, da pedreira da Secil em Famalicão, registado pelo Boretrak no dia 18/03/2013.

Pelo que se pode observar na imagem da Figura 55, o desvio provocado pelo erro de emboquilhamento é o primeiro factor a estimular o desvio da perfuração e a influenciar o resultado final que se observa no furo 1 da PF1, BE1, com o desvio frontal e lateral perfeitamente evidenciados.

Para se perceber que impacto sofre a total trajectória do furo torna-se necessário descontar em absoluto o valor resultante do erro por este emboquilhamento, na realidade desconta-se na trajectória do furo a influência provocada pelo emboquilhamento e observa-se uma nova trajectória inicial que não sofre influência do emboquilhamento tanto para a perspectiva de direcção (X), como na perspectiva da inclinação (Y) e a partir de determinada profundidade surge a influência devida pela flexão nas duas perspectivas (X,Y).

Na imagem da Figura 56, evidenciados que estão os dois resultados, com erros nos desvios lateral (X, X') e frontal (Y, Y'), resta simular a execução do furo sem a influência do emboquilhamento e perceber o resultado que daqui é possível alcançar.

É de salientar que o cálculo para a determinação do valor do erro de emboquilhamento é alcançado pelos valores devolvidos no primeiro ponto de leitura do Boretrak, que neste caso foi aos 4 m, de profundidade.

Na imagem da Figura 56 verifica-se que no furo em análise, há uma continuidade crescente do desvio por flexão, embora nem sempre ocorra deste modo e com esta direcção, mais adiante compila-se informação que saliente estas ocorrências.

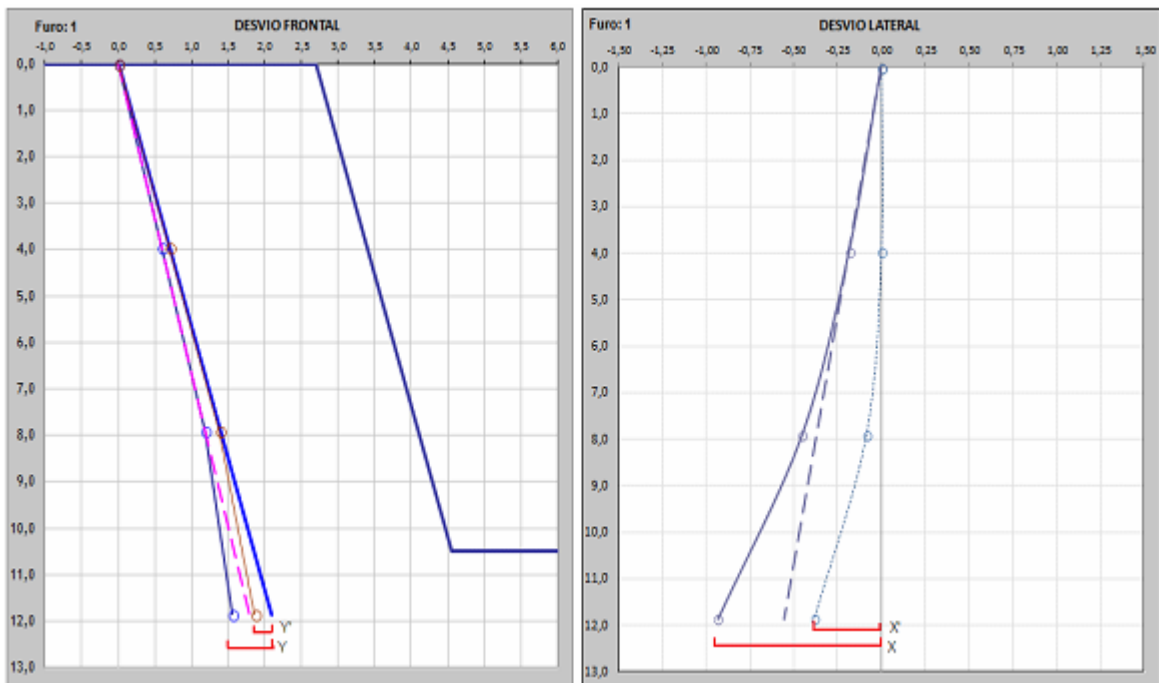


Figura 56 – Exemplo de desvios frontal e lateral considerados por erro de emboquilhamento e flexão. Furo 1, da PF1, BE1, da pedreira da Secil em Famalicão, registado pelo Boretrak no dia 18/03/2013.

A simulação de um furo (Figura 56) com a trajectória definida sem interferência dos valores do emboquilhamento (X', Y'), projecta-nos um furo mais alinhado com a concepção teórica, no caso do presente furo (furo 1, da PF1, BE1), no qual se regista o valor do erro do emboquilhamento no resultado final em termos de posicionamento do fundo do furo com a seguinte representatividade:

- ✓ 59% - Para o desvio lateral, afectando a direcção ($- X$);
- ✓ 26% - Para o desvio frontal, afectando a inclinação ($- Y$).

Existe uma certa proporcionalidade entre estes dois factores emboquilhamento e flexão, pelo que uma abordagem técnica adequada, permitirá um conhecimento mais alargado e aprofundado com vista a uma proposta de correcção. Na imagem da Figura 57 está projectado com vista em planta o mesmo furo que é analisado nas Figuras 55 e 56. Aqui com o intuito de perceber o posicionamento do final do furo, bem como perceber o erro a essa profundidade face ao teórico previsto. À distorção nesse posicionamento está logicamente associado, um aumento de valor relativo à frente livre (V) face ao previsto em projecto. Aponta-se uma elevada possibilidade de ineficácia relativa ao desempenho do explosivo a empregar no furo, devido ao aumento de volume do maciço rochoso que se apresenta necessário desmontar com o explosivo teoricamente previsto.

De igual modo é possível ocorrer uma redução do volume em certos casos originado pela proximidade de furos e aqui surgem outros problemas, eventualmente projecções, mais finos, mais vibrações etc.

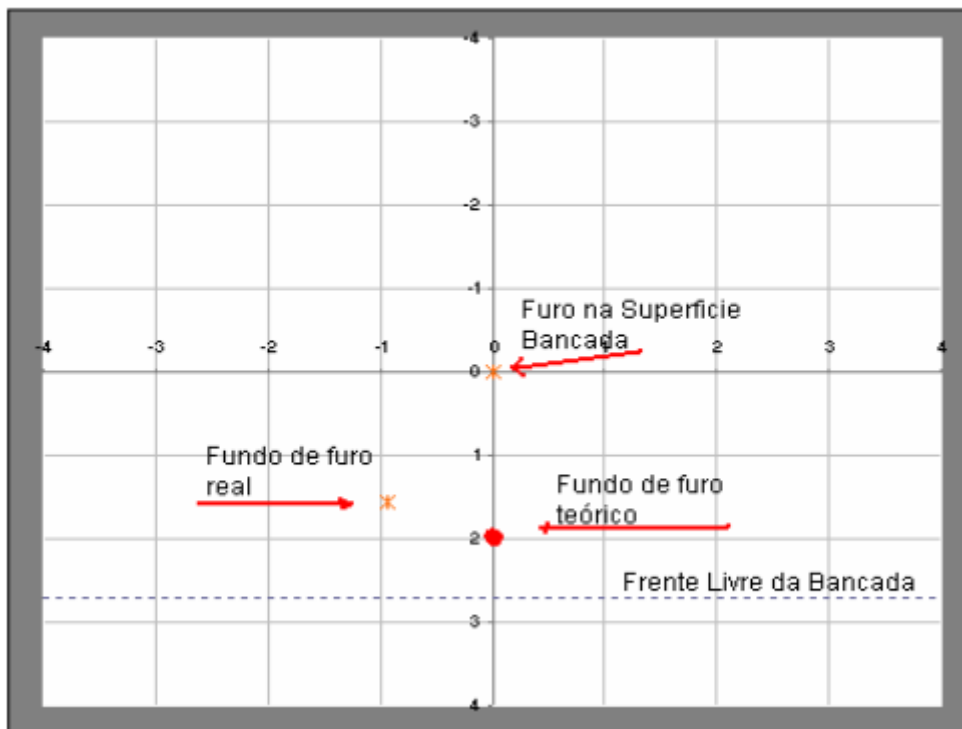


Figura 57 – Projeção em planta de desvio no Furo 1, da PF1, BE1, da pedreira da Secil em Famalicão, registado pelo Boretrak no dia 18/03/2013.

Percebe-se a influência que o erro devido por emboquilhamento que se potencia na superfície, provoca na execução do furo, contribuindo para uma desadequada perfuração. Este desajuste

poderá também incrementar outros desvios que estarão relacionados com a natureza do maciço rochoso nomeadamente do diaclasamento.

Ficamos pela redução do valor calculado para o que consideramos o desvio por erro de emboquilhamento, que merece atenção no modo como na superfície é realizado o posicionamento do equipamento, para além do modo como esse equipamento é operado.

3.5.2. EMBOQUILHAMENTO

O emboquilhamento como até aqui já foi referido é um item de elevada importância e reveste-se de aspectos que não são relativos apenas ao desvio que ocorre por via desse aspecto, mas sim na sua origem, isto é, que aspecto ou aspectos mais relevantes podem estar na origem dos desvios verificados por esta análise.

Para a sua percepção são monitorizados parâmetros ao longo do processo de execução das pegas de fogo, desde o seu início e que passam pelo levantamento e registo das condições da limpeza da bancada onde se irá realizar a perfuração, assim como da sua regularidade para a alocação do carro de perfuração.

3.5.3. LIMPEZA DA BANCADA

A limpeza da Bancada é um aspecto fundamental na execução da perfuração para uma requerida estabilidade da coluna do equipamento de perfuração no decorrer da perfuração, mesmo quando este equipamento esteja equipado com instrumentação de controlo e de monitorização.

A limpeza adequada da bancada começa a ser preparada com o necessário rigor da perfuração executada na bancada anterior superior, que deu origem a esta bancada.

A amplitude da dispersão dos desvios da perfuração, nomeadamente no fundo dos furos, promove irregularidades quer pelas diferenças de cotas quer pela ineficácia do explosivo perante áreas superiores que se afiguram intangíveis face às áreas expectáveis.

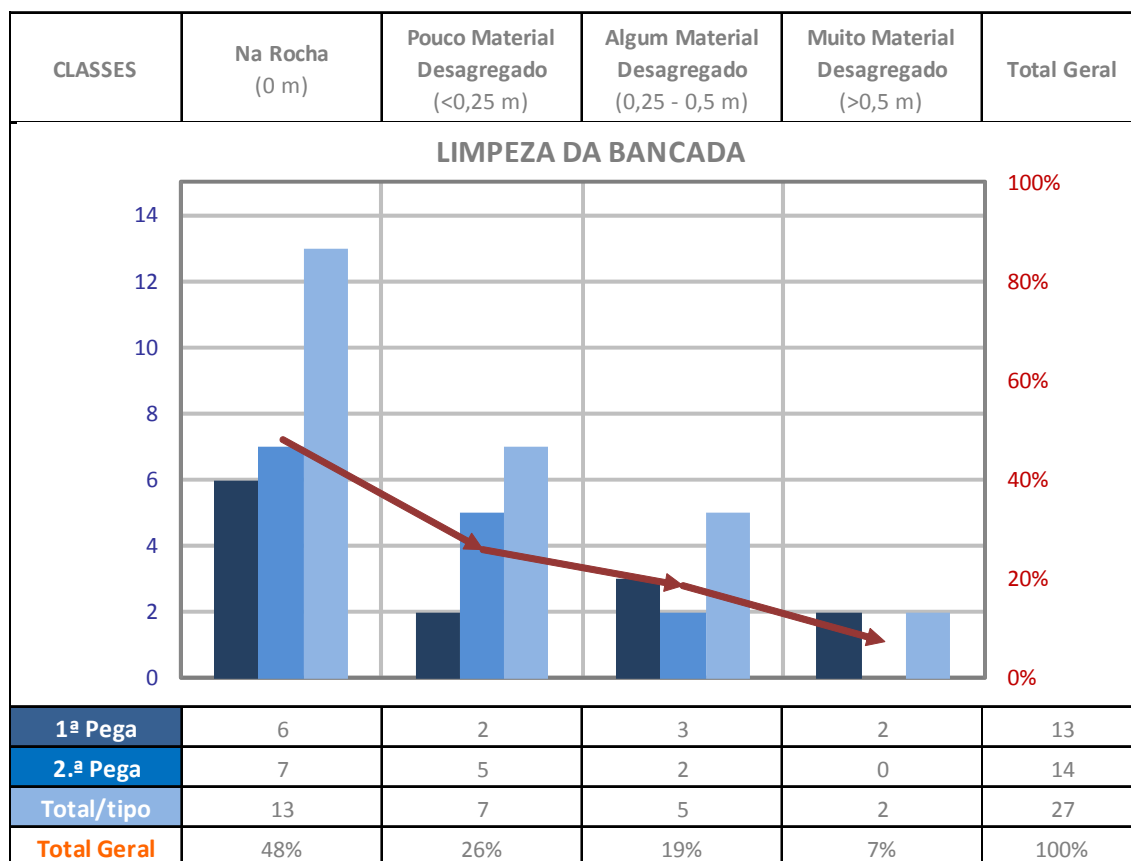


Figura 58 – Resumo do emboquilhamento-Limpeza da Bancada verificada nas PF1 e PF2.

Na imagem da Figura 58, estão reunidos os furos realizados nas pegas PF1 e PF2, onde é possível observar que cerca de 50% desses furos foram executados com ataque directo na rocha. Sendo ainda visível que ocorre decréscimo desde a melhor opção (Na Rocha) até à pior situação de emboquilhamento (Material muito Desagregado), e que aponta para cerca de 7% sobre o total das ocorrências nas respectivas classes.

Neste momento uma questão que se pode colocar é relativa ao peso que poderão ter estes cerca de 50% de furos que não emboquilham directamente na rocha, e se apresentam como condicionante elevada na qualidade de execução da furação.

Inclusive até que ponto têm consequências no resultado final de todo o processo, que em traços gerais passa pela qualidade do desmonte, das vibrações, das projecções, da necessidade de taqueio, de maior tempo em circulação do material desmontado no circuito de transformação até à saída do complexo industrial.

Para complementar a informação relativa à qualidade da furação executada, são abordados seguidamente outros parâmetros que contribuem para complementarizar um conhecimento mais alargado.

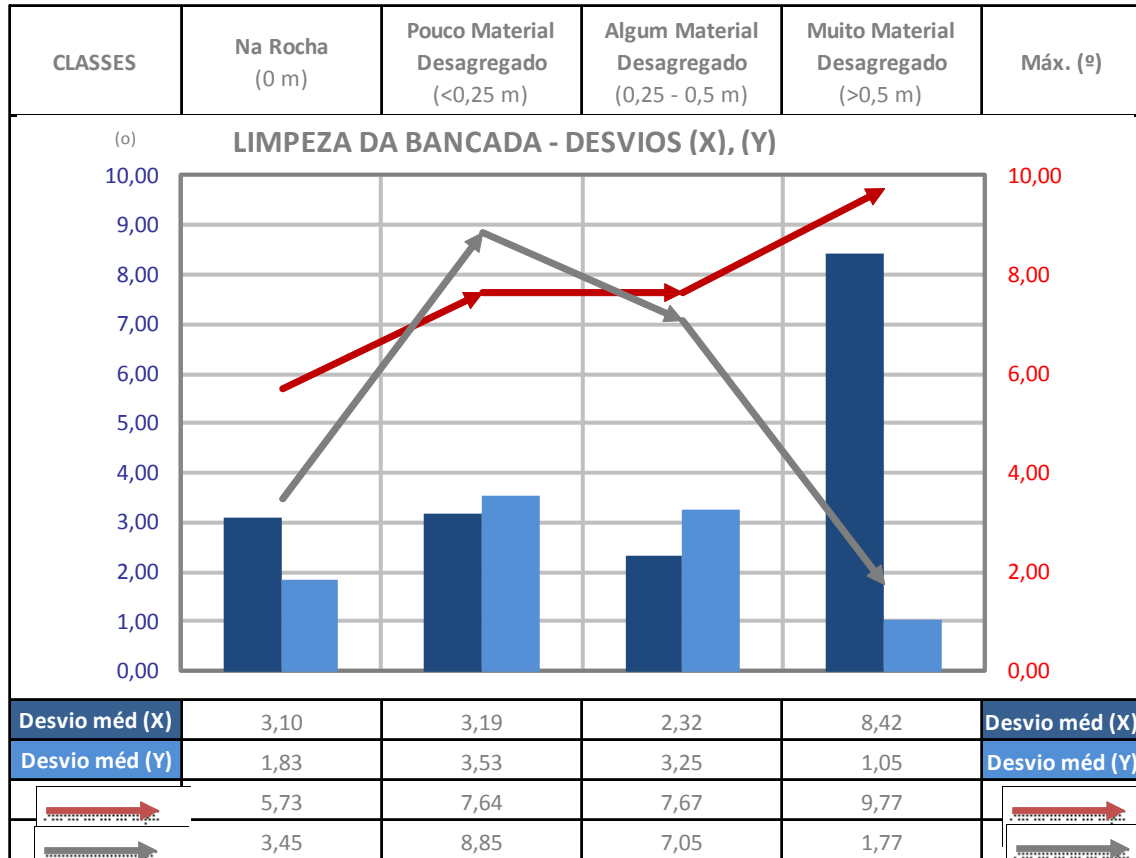


Figura 59 – Emboquilhamento-Limpeza da Bancada, resultados dos desvios em graus, das PF1, PF2.

Neste alinhamento de ideias numa abordagem ajustada ao conhecimento do desvio efectivo em estreita relação com as classes de limpeza da bancada e atendendo a que no gráfico da Figura 58, estão os furos distribuídos por classe de emboquilhamento, assim como o peso que cada classe representa no conjunto de dados registados nas duas pegas de fogo, no gráfico da Figura 59 estão representados quer no plano de direcção (X) quer no plano da inclinação (Y), os ângulos dos desvios médios por classe de emboquilhamento e também os ângulos máximos verificados em cada classe e plano considerados sempre em valor absoluto. O valor do ângulo médio de desvio permite de algum modo apontar comportamentos da perfuração em cada classe e por plano.

Neste caso pela observação do gráfico pode-se concluir que ocorrem desvios com maior valor no plano Lateral (X) que no plano Frontal (Y), com maior desvio quando piora a limpeza.

3.5.4. REGULARIDADE DA BANCADA

A regularidade com que se apresenta a Bancada é um outro aspecto medido e monitorizado. A bancada deve-se apresentar o mais regular possível para um posicionamento e estabilização adequados do equipamento de perfuração (carro e coluna) para uma apropriada execução da perfuração.

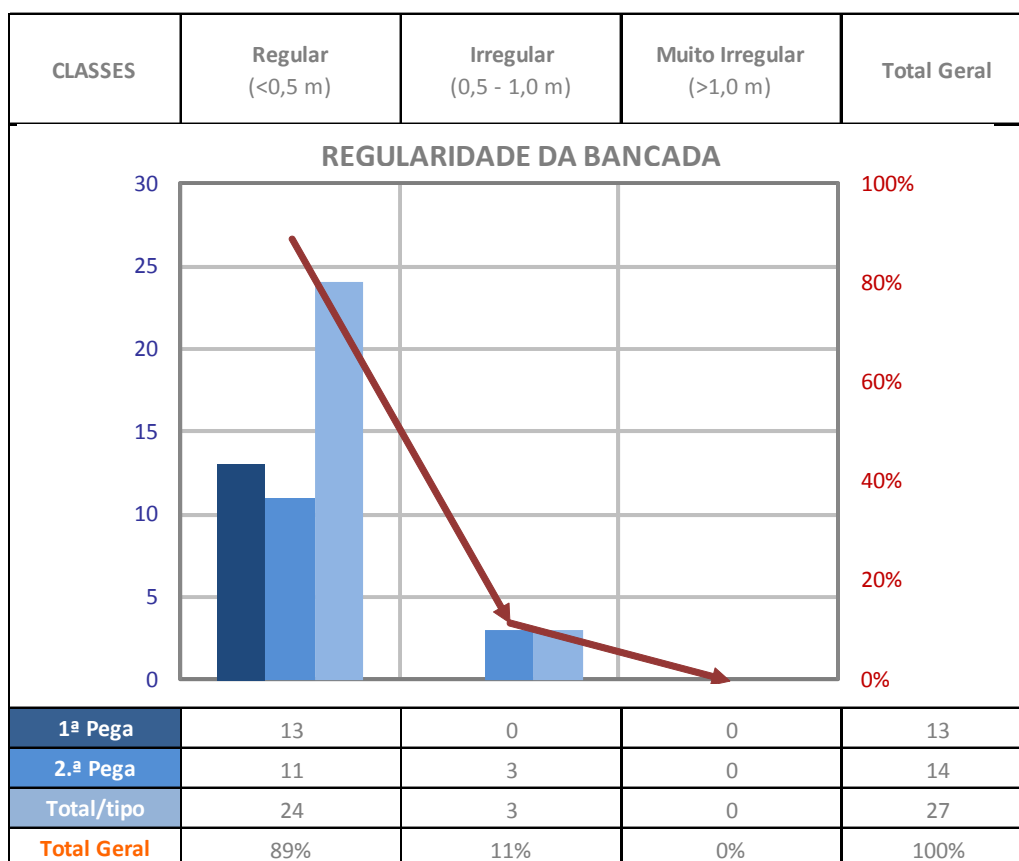


Figura 60 – Resumo da Regularidade da Bancada 1, das PF1 e PF2.

Este parâmetro está relacionado directamente com a promoção de desvios e potencialmente interligado com a limpeza de bancada já referida.

No gráfico da Figura 60 estão representados os dados recolhidos nas PF1 e PF2, com a afectação da condição em que se realizaram os furos, distribuídos por classes que vão desde Regular até muito irregular.

De acordo com os elementos recolhidos a bancada das pegas de fogo 1 e 2, apresentava uma classe de “Regular” na maioria dos furos, com valor residual em “Irregular” e inexistente na classe “Muito Irregular”.

No gráfico da Figura 61 o ângulo dos desvios médios associados à regularidade da bancada são mais evidentes no plano Lateral da direcção (X) na classe Regular, enquanto que na classe Irregular o desvio médio mais acentuado verifica-se no plano frontal, da inclinação (Y), com as tendências de valor máximo a acompanhar esta mesma orientação.

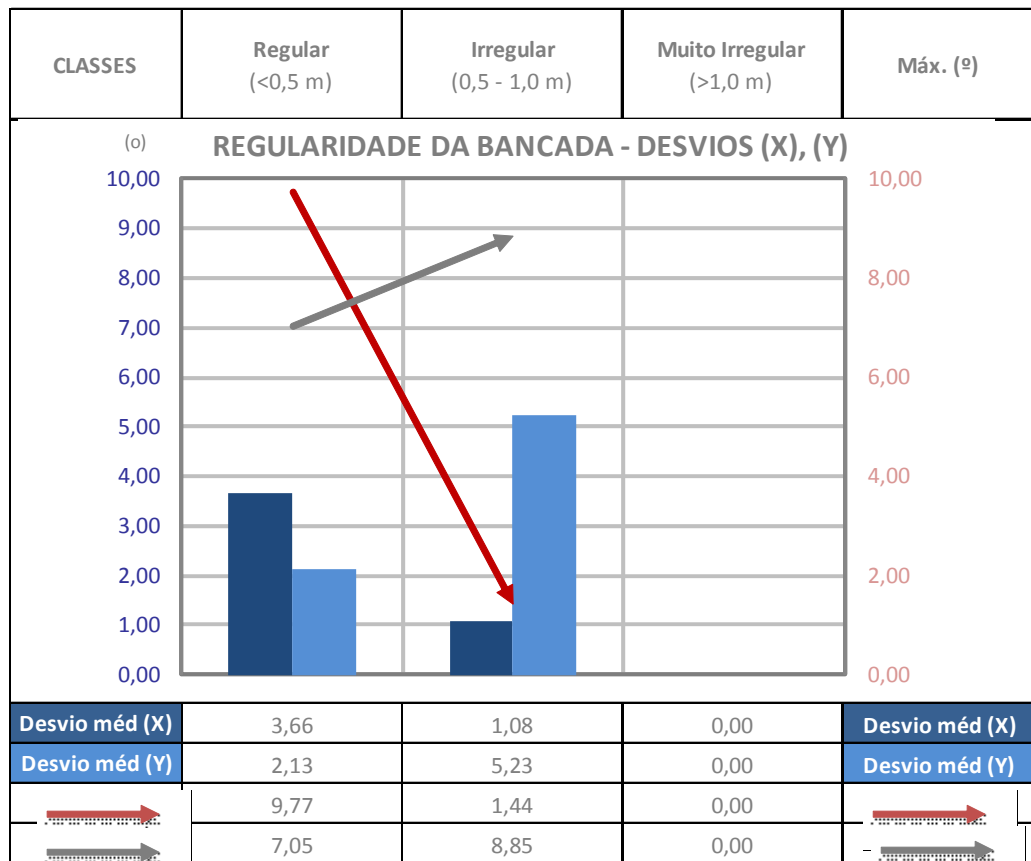


Figura 61 – Regularidade da Bancada, resultados dos desvios em graus, das PF1,PF2.

3.6. ANÁLISE AO RESULTADO DA PERFURAÇÃO

É evidente a importância das particularidades com que se reveste um correcto emboquilhamento na superfície e o prolongar dessas condições até ao fundo do furo.

Na equação dos desvios é importante separar e reduzir parcelas, ou melhor eliminar parcelas. Os desvios na perfuração (DP) são resultado de somatório de ocorrências:

$$DP = \sum e_D + e_R + e_L + e_F + e_P \quad [7]$$

(DP-desvios na perfuração; e-erro na Operação; na Regularidade, na Limpeza; na Flexão e Pontual)

Na imagem da Figura 62, estão espelhadas as trajectórias no plano da direcção (X) dos furos da BE1, PF1. Numa primeira análise a existência destes desvios remete para um necessário estudo de pormenor de modo a trazer alguma luz ao “como, quando e porquê” destas evidências.

É agora possível considerar uma referência relativa à eficácia esperada no desmorte perante os resultados desta perfuração. É visível neste resultado que poucos são os espaçamentos (E) que se mantêm face ao previsto e para além deste aspecto é patente também a maioria dos furos a apresentar um incorrecto posicionamento no fundo do furo (H), com registos de reduzida furação e de excesso de furação.

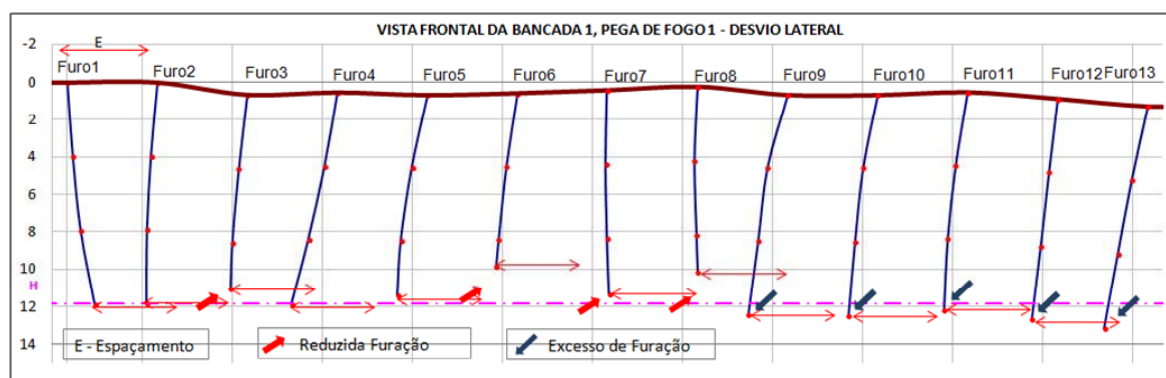


Figura 62 – Plano com projecção Lateral (X) dos furos na Bancada 1, Pega de Fogo 1.

Todos os parâmetros aludidos até aqui relativos à necessidade imperiosa de um correcto emboquilhamento nos itens mencionados, do posicionamento, da limpeza e da regularidade de bancada, com elevada influencia no resultado do desmorte, carecem de uma especial atenção e acompanhamento para os ajustes necessários.

Para uma melhor percepção da influência destes parâmetros pode ser observado na imagem da Figura 63, uma projecção dos furos executados na PF1 da BE1, com a projecção dos furos teóricos, dos furos reais e uma perspectiva de projecção de furos aos quais lhes foi retirado os valores considerados como sendo os devidos ao erro de emboquilhamento (azul tracejado).

Com esta perspectiva é possível realizar uma análise na evolução dos desvios, perceber que com esta correcção ocorre uma assinalável melhoria, que os espaçamentos entre furos consecutivos no fundo de furo se aproximam bastante mais ao projectado, os quais se verificam na superfície, mantendo no entanto as profundidades (cotas) da sua execução.

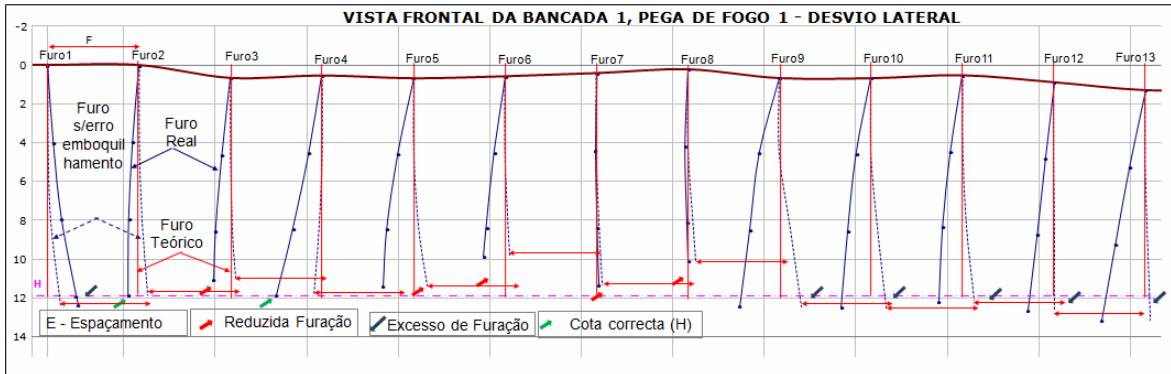


Figura 63 – Plano com projecção frontal (X) dos furos teórico, real, c/erro de emboquilhamento na Bancada 1, Pega de Fogo 1.

Parece evidente que só por esta análise pelo menos na contribuição do espaçamento (E), se obterá uma melhor e mais homogénea distribuição do explosivo pelo volume considerado do maciço rochoso a desmontar.

3.6.1. BREVE ANÁLISE AO DESMONTE

Resumindo o que até agora foi mencionado, os desvios que subsistem na furação são resultado aparente de um conjunto de acontecimentos que até certo estágio na execução dos furos podem ser reduzidos.

Estamos a referir os que dependem da acção externa que está ligada à operacionalidade e fiabilidade dos equipamentos e dos acessórios, sendo possível até que os resultados se aproximem do pretendido.

Na imagem da Figura 64, está reproduzida a resultante do desmonte da bancada 1 pega de fogo 1, com uma pretendida associação aos parâmetros mencionados do emboquilhamento e dos desvios que ocorreram.

Dos parâmetros apresentados foram associados os desvios efectivos que ocorreram na fase da perfuração.

Agora, ao relacionar estes dados com o resultado do desmonte, parece possível interpretar alguma relação entre estes, não sendo no entanto de fácil estudo, obrigando a uma criteriosa observação. O resultado parece possível segmentar conforme a imagem, na qual se constata fragmentos de maiores dimensões na fase1, fragmentos mais ajustados ao projecto na fase 2 e na fase 3 granulometria concentrada em maior calibre.

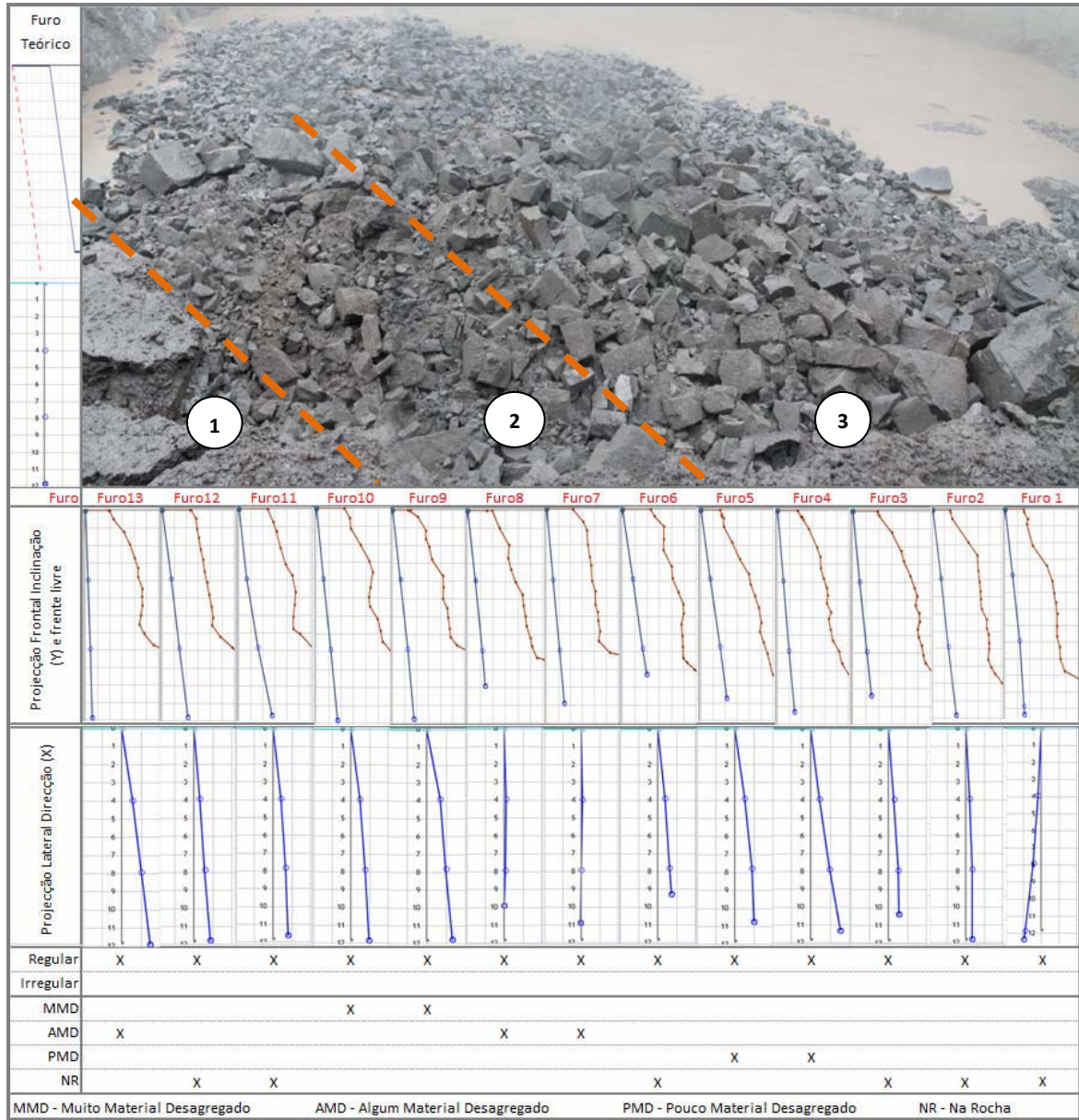


Figura 64 – Resultado da PF1, e respectivos dados de emboquilhamento e desvios.

Nesta pega de fogo foi usada uma temporização com sequência de rebentamento que acompanha praticamente na perpendicular o diaclasamento da família principal e que justifica a evolução da projecção dos fragmentos na disposição que está na imagem, “os furos primeiro a rebentar” foram os da seção 1, seguidos da seção 2 e por último a seção 3.

Para melhor percepção da sequência de rebentamento está esquematizado na imagem da Figura 65, um esquema de diagrama temporizado com os furos que compõem a pega de fogo n.º 1 da bancada 1. Neste diagrama foram usados os detonadores electrónicos da marca Unitronic,

configurados com retardo de 14 mms para a direita da iniciação e 17 mms nos dois furos à esquerda.

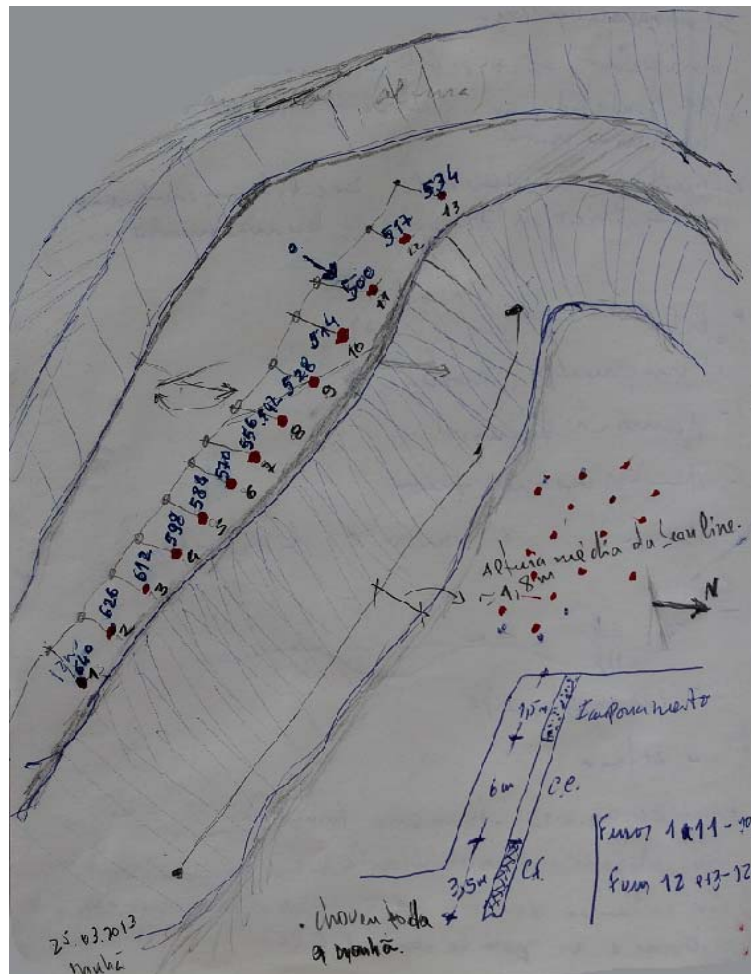


Figura 65 – Representação esquemática da PF1 e temporização dos detonadores electrónicos.

3.6.2. FUNDAMENTAÇÃO DA ANÁLISE AOS DESVIOS – INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS.

A análise que irá ser executada a partir daqui tem por objectivo concluir sobre os elementos recolhidos e apontar eventuais medidas correctivas no sentido de melhorar o desempenho da pega de fogo com a necessária evidência e conseqüências nos desvios que ocorrem na perfuração.

Para melhor percepção das medidas necessárias a implementar na geometria do diagrama de fogo com vista a essa melhoria, é necessário recorrer a demonstração no plano teórico, com a evolução dos desvios ocorridos num diagrama teórico.

Nas imagens das figuras seguintes Figura 66 e Figura 67 são apresentados dois ensaios teóricos com vista a uma melhor percepção sobre o que se pode considerar como desvio médio, quando

nem sempre esse resultado é obtido pelos valores da média entre os desvios, traduz resultados em consonância com o que na prática acontece.

Assim, no esquema da Figura 66 é apresentado um diagrama de fogo básico com a devida trajectória dos furos, nos quais se verifica que o desvio médio ocorrido no plano da direcção (X) é sempre o mesmo (1m), todos os furos desviaram na mesma direcção 1 m. Sendo que a sua área de acção, que está influenciada por determinada carga específica (Kg/m^3) relativa ao explosivo necessário para um adequado desempenho face à qualidade da fragmentação pretendida no desmonte, é a mesma na cota final dos furos e à superfície. Em termos médios o desvio ocorrido no fundo do furo é de 1 m.

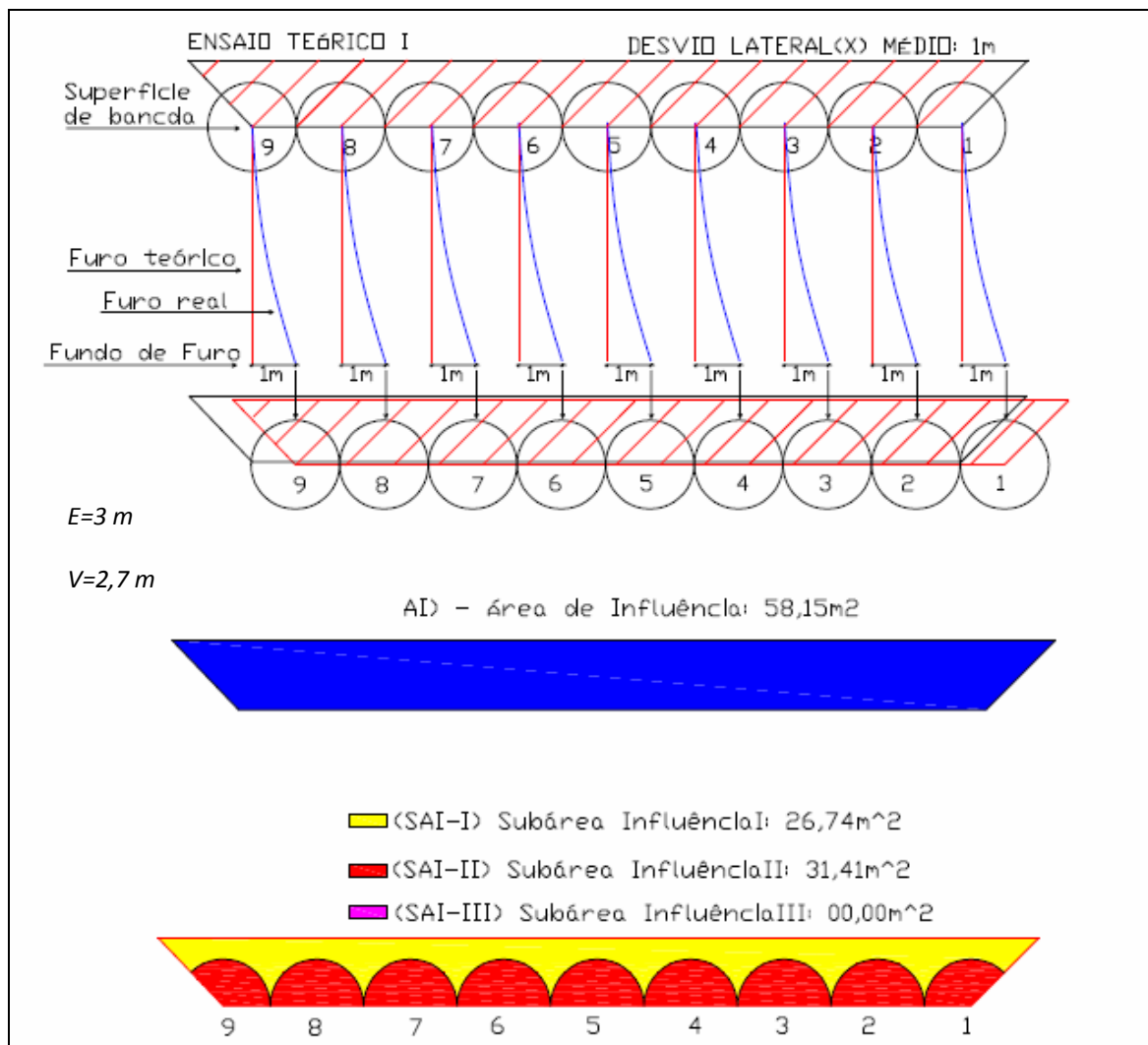


Figura 66 – Ensaio teórico I, área de influência com desvio médio (X) de direcção e resultados de cobertura de áreas.

Na Figura 67, apresenta-se um diagrama de fogo onde ocorrem desvios com diferentes amplitudes, que se traduzem num desvio médio (X) de direcção de 0,78 m, e que poderia pressupor um melhor resultado face ao ensaio da imagem da Figura 66.

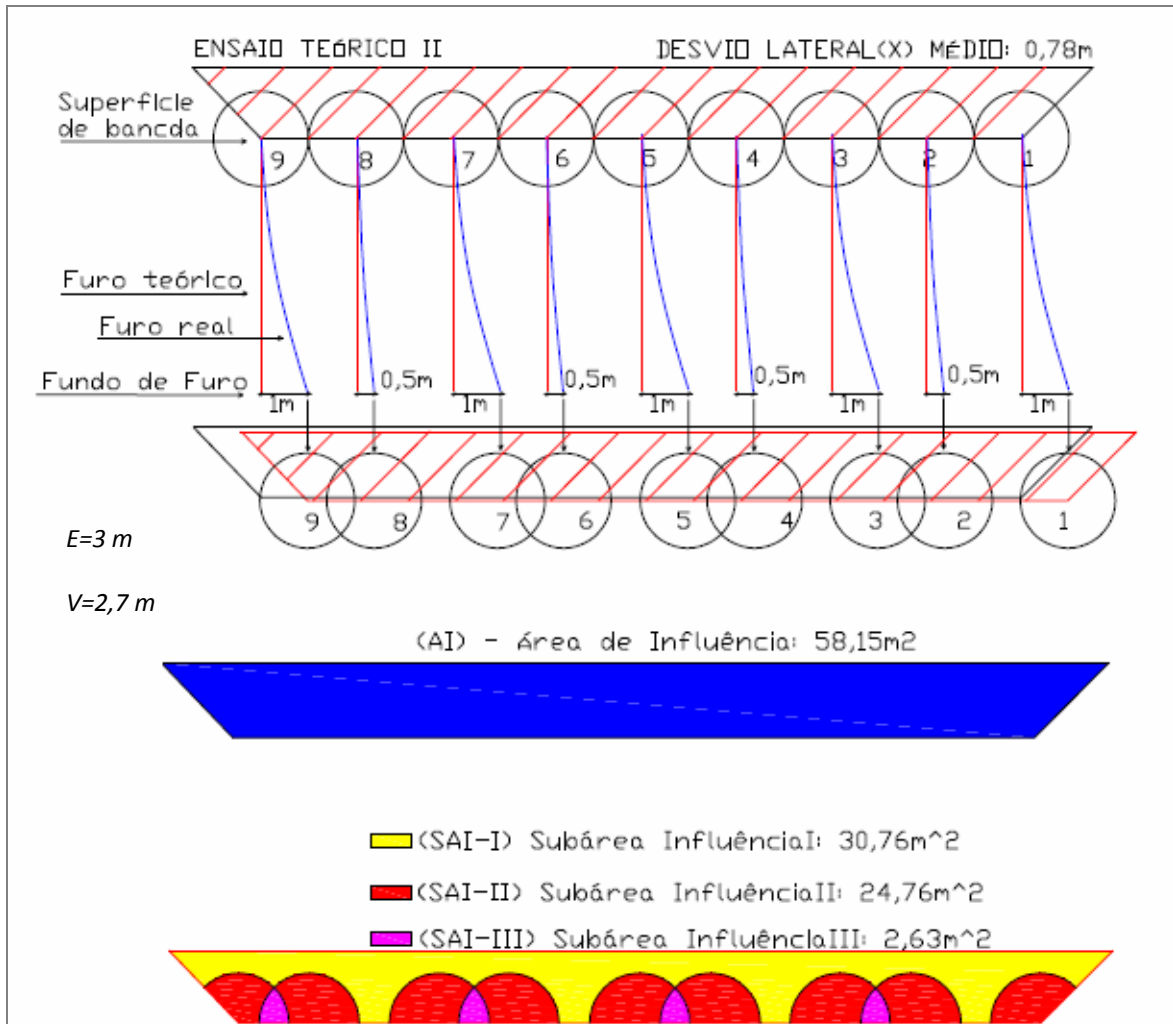


Figura 67 – Ensaio teórico II, área de influência com desvio médio (X) de direcção e resultados de cobertura de áreas.

O que aqui se apresenta é uma manutenção da área de influência onde ocorre uma deslocação conjunta dessa área relativa à superfície, de igual modo que aconteceu no ensaio I, com igual carga específica.

A diferença relativamente ao ensaio I centra-se nas subáreas de influência, porque ao ocorrerem desvios de diferentes amplitudes são criadas áreas de sobreposição de influência da carga específica em furos adjacentes, (exemplo nos conjuntos de furos 2 e 3, 4 e 5, 6 e 7, 8 e 9), criando ao mesmo tempo perda de acção da carga específica nas restantes.

Pela justificação apresentada o resultado expectável nestes dois exemplos aponta para uma pior curva granulométrica no exemplo da Figura 67 embora apresente menor desvio médio que o da Figura 66.

Também a nível da dispersão verificada pelo coeficiente de variação (C_v) devolve 0% para um desvio médio de 1 m no ensaio I, face a um C_v (Coeficiente de variação) de 32% para um desvio médio de 0,78 m no ensaio II. O resultado da dispersão (C_v), confirma esta teoria.

Quadro 31 – Resumo dos resultados dos Ensaios das figuras 67 e 68.

(m ²)	I	II	(II/I)
Área Influência	58,15	58,15	0%
Subárea I	26,74	30,76	15%
Subárea II	31,41	24,76	-21%
Subárea III	0	2,63	5%

Nos resultados apresentados no Quadro 31 encontram-se espelhados os aspectos importantes nesta análise. Num aspecto prático temos que no ensaio I a área de influência é repartida entre a chamada Subárea II, que é a área resultante de um raio concêntrico no furo determinado pela acção das cargas simultâneas que por colisão das ondas de choque no ponto médio entre os furos, produz esforços de tracção complementares ao pano axial superando a resistência à tracção da rocha criando fissuração e um plano de corte entre furos adjacentes.

Assim, o raio aqui considerado é igual a metade do espaçamento ($r = \frac{1}{2} \times E$).

Do ensaio I para o ensaio II verifica-se que para a mesma área de influência há uma diminuição da Subárea II, transferido valores para a Subárea I e para a Subárea III. A Subárea III representa a acção de sobreposição do explosivo, isto é, a carga específica aumenta na Subárea II e diminui na Subárea I. Pretende-se demonstrar que uma resultante do desvio médio de menor valor não é sinónimo de um expectável melhor resultado no desmonte, pelos motivos indicados no parágrafo anterior.

3.6.3. ANÁLISE À PRECISÃO E DISPERSÃO

É assim importante referir a necessidade de uma leitura dos resultados dos desvios da perfuração em valores absolutos, dado que os resultados são apresentados com variação (\pm), e não sendo convertidos pode até acontecer uma anulação de desvios, quando não corresponde a realidade.

Na componente dos desvios há dois parâmetros que podem ser conhecidos e servir de indicadores quanto há eficácia da perfuração, obtidos pelas leituras das trajectórias dos furos e

que podem apontar uma previsão quanto a granulometria resultante, sendo esses os parâmetros seguintes:

- ✓ **Precisão** – Resultado da perfuração, com a leitura no fundo dos furos à mesma cota, cujo resultado pretendido será ter essas posições no mesmo quadrante e numa área o mais resumida possível, no limite que seja um único ponto;
- ✓ **Dispersão** - Resultado da perfuração, com a leitura no fundo dos furos à mesma cota, onde as posições são consideradas dispersas pelos quadrantes ou por mais que um quadrante.

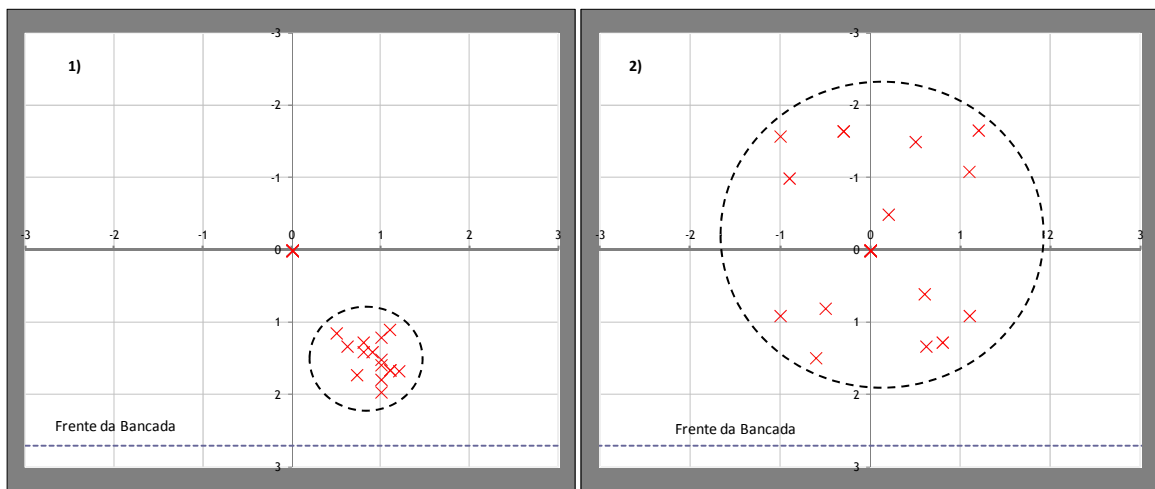


Figura 68 – Representação em planta das referências para os parâmetros 1) Precisão; 2) Dispersão.

Na Figura 68 são representados esquematicamente os conceitos para precisão (1), onde o fundo dos furos apontam na mesma direção, mantendo-se numa área de um quadrante apenas, pelo que se pode dizer que a distribuição da carga específica pelo maciço a desmontar é bastante aceitável com resultado granulométrico provável aproximado ao previsto.

A representação para a dispersão (2), não garante de modo algum a granulometria prevista, o explosivo ficará disperso pelos quatro quadrantes e a carga específica será reduzida.

Na imagem da Figura 69 está representado num quadro resumo a evolução da perfuração, conseguida através das leituras realizadas pelo Boretrak, e que permitem conhecer as trajetórias dos furos.

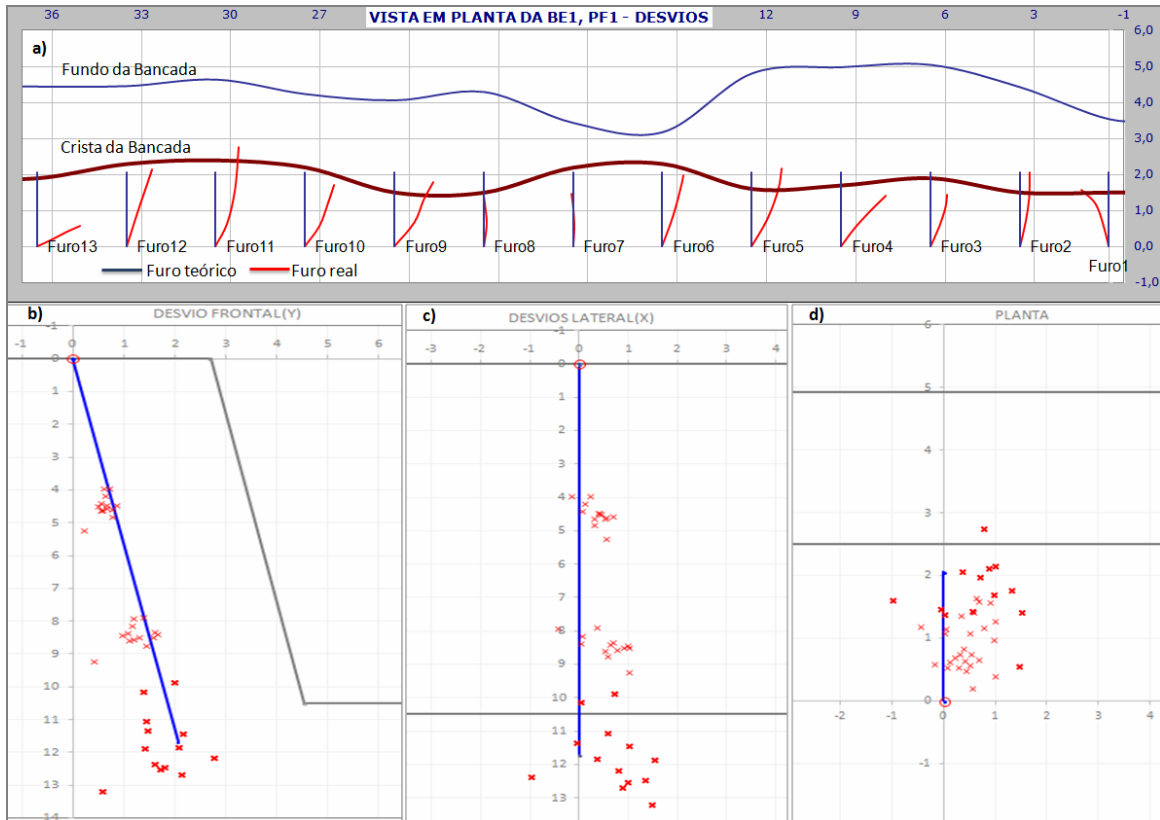


Figura 69 – Quadro resumo dos aspectos principais de desvios medidos na BE1, PF1: a)-vista em planta da bancada e evolução dos desvios; b)-vista no plano frontal (Y); c) vista Lateral (X); d)-vista em planta.

Neste quadro a imagem a) representa uma perspectiva de furo teórico face a execução prática realizada, onde se constata uma tendência na maioria dos furos de desviarem para a direita (frente de Bancada). No mesmo quadro a imagem b) representa os desvios devidos da inclinação do plano frontal, onde se verifica a tendência de ângulos inferiores ao teórico (10°), na imagem c) uma vista frontal com os desvios para a direita e na imagem d) em planta a partir do mesmo ponto com tendência dos furos com relativa dispersão pelos dois quadrantes posteriores.

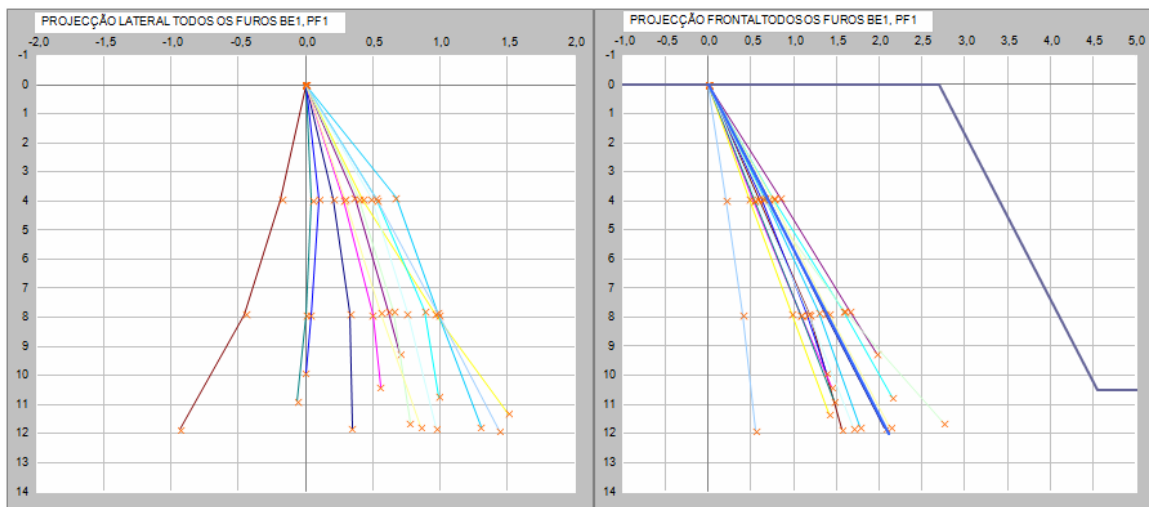


Figura 70 – Projeções Lateral (X) e Frontal (Y) de todos os furos da PF1, BE1.

Na Figura 70 são apresentadas as trajectórias dos furos onde é perceptível a tendência do desvio para direita no plano da direcção (X) isto e no plano da inclinação (Y) tendência de desvio para a retaguarda (-) com valor de ângulo inferior a 10° .

3.7. PROPOSTA DE CORRECÇÃO AOS DESVIOS

Com o conhecimento dos valores dos ângulos com que as perfurações foram realizadas, é possível estabelecer novos ângulos para uma correcção a implementar nos furos a realizar possibilitando alcançar o fundo do furo na posição desejada. Nesta perspectiva serão deduzidos os valores relativos aos erros devidos por emboquilhamento, mas considerando na equação os valores de desvios que ocorreram em cada um dos furos por acção da flexão.

Na imagem da Figura 71 é apresentada uma projecção dos furos da pega 1, mas agora com a projecção do emboquilhamento corrigido em particular para cada furo e a projecção da estimativa do furo final.

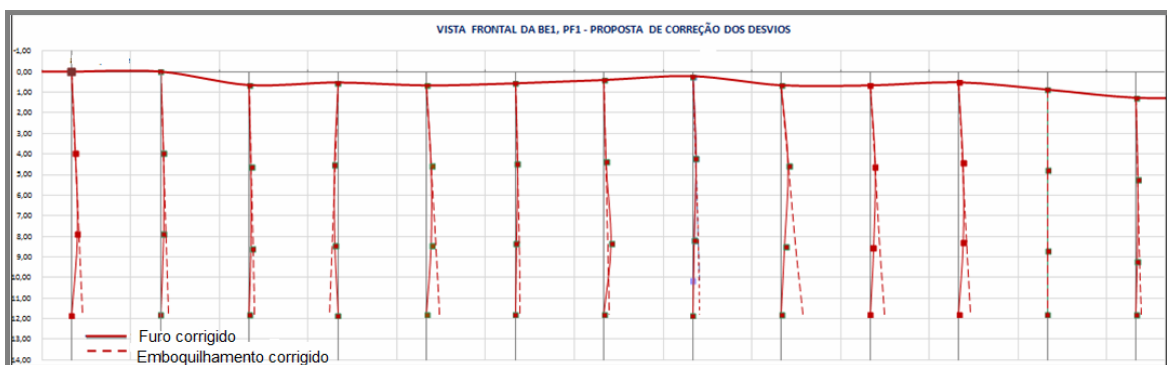


Figura 71 – Imagem com projecção da proposta de correcção dos ângulos (X,Y) no emboquilhamento dos furos.

Assim, em função dos resultados obtidos foi determinado um valor médio relativo ao ângulo do erro de emboquilhamento (X,Y), que ocorreu nos furos da pega de fogo 1.

Esse valor foi calculado pelos ângulos efectivos de emboquilhamento que ocorreram nesta perfuração. Na Figura 72 é apresentado o valor do ângulo médio por cada plano:

- ✓ No plano lateral (direcção) com vista por detrás da bancada, desvio médio de 5° para a esquerda no emboquilhamento, para um furo teórico de 0° ;
- ✓ No plano frontal (inclinação) com $8,8^\circ$ no emboquilhamento, para um furo teórico de 10° .

Desvios médios do ângulo de emboquilhamento (X,Y) obtidos nos furos da PF1, BE1

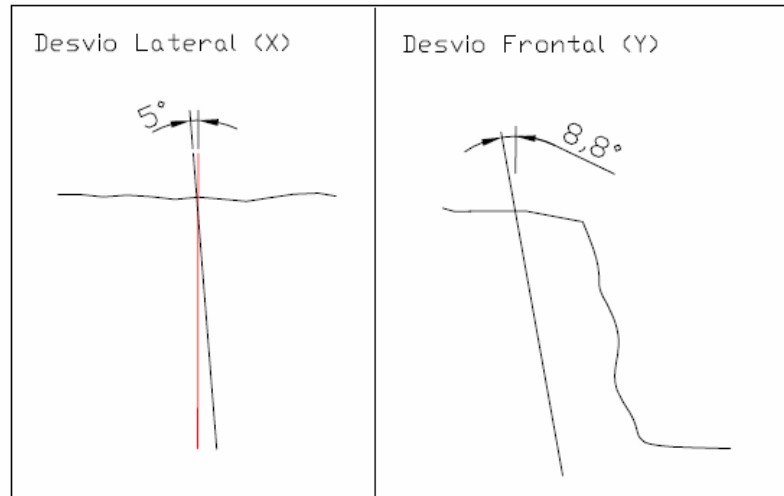


Figura 72 – Projecção (X,Y) com média de erros dos ângulos de emboquilhamento.

Com a determinação dos ângulos de emboquilhamento que potenciaram os desvios ocorridos, foram calculados ângulos de correcção para cada um dos furos nos dois planos (X,Y) com vista a eliminar o erro por emboquilhamento e perspectivar um ângulo de correcção considerando o erro latente da parte da flexão, permitindo atingir a posição correcta no fundo furo.

Proposta de correcção do ângulo médio de emboquilhamento (X,Y) dos furos da PF1, BE1

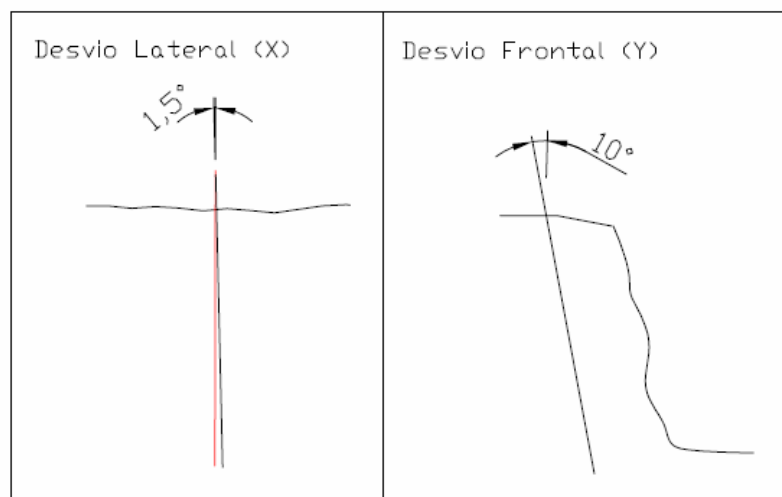


Figura 73 - Projecção da proposta de correcção dos ângulos médios (X,Y) no emboquilhamento, vista por trás da bancada.

Na imagem da Figura 73 são apresentados os ângulos médios a ter em conta no emboquilhamento com vista a uma redução efectiva dos desvios numa próxima perfuração.

O valor do desvio médio de todos os furos na pega de fogo 1 foi de cerca de 0,800 m no plano lateral (X), com os desvios a ocorrerem para direita (+) e de 0,300 m no plano inclinação (Y) a ocorrerem no sentido da retaguarda (-) do posicionamento dos 10° da coluna de perfuração.

3.7.1. IMPLEMENTAÇÃO DA PROPOSTA DE CORREÇÃO DOS DESVIOS NA PERFURAÇÃO

Com os resultados obtidos na pega de fogo 1 da bancada 1, já tratados nos pontos anteriores, passou-se para a fase de implementação da proposta de correcção aos desvios detectados na perfuração anterior, com uma abordagem de execução bastante diferente face à anterior pega de fogo.



Figura 74 – Fases dos trabalhos de preparação da bancada para pega de fogo 2: a) geometria diagrama de fogo; b) varrimento com tecnologia laser da frente livre; c) regularização da superfície; d) Início da perfuração.

A metodologia de trabalho foi adaptada às distintas necessidades de execução e no terreno em simultâneo num trabalho conjunto foram mantidos elementos relativos à execução da

perfuração, elementos para leituras com o Boretrak e tratamento com tecnologia laser da frente da bancada, assim como para a monitorização e acompanhamento dos trabalhos.

3.7.2. EQUIPAMENTOS E ACESSÓRIOS

A nível de acessórios de perfuração directamente ligados ao carro de perfuração, foi usado na perfuração das duas pegos o mesmo Bit, um Bit marca Robit, com botões semibalísticos, com afiação recente, e varas marca Mitsubishi (T45), com 3,60 m (Figura 75).



Figura 75 – Acessórios de perfuração – Bit usado nos trabalhos.

Para além dos equipamentos da perfuração, foram aplicados outros equipamentos, nomeadamente o Boretrak e uma câmara com recolha de leituras por Laser. O uso da tecnologia laser para varrimento da frente livre, permite uma rigorosa caracterização do relevo da frente da bancada em toda a sua extensão, promovendo condições de observação únicas que permitem elaborar um layout de diagrama de fogo ajustado ao contorno.

Esse varrimento laser permite potenciar o valor de V , ajustado ao relevo do talude. Na Figura 76 são apresentados os equipamentos e acessórios directamente ligados à monitorização dos trabalhos de perfuração no maciço e da sua envolvente, que foram usados neste trabalho.

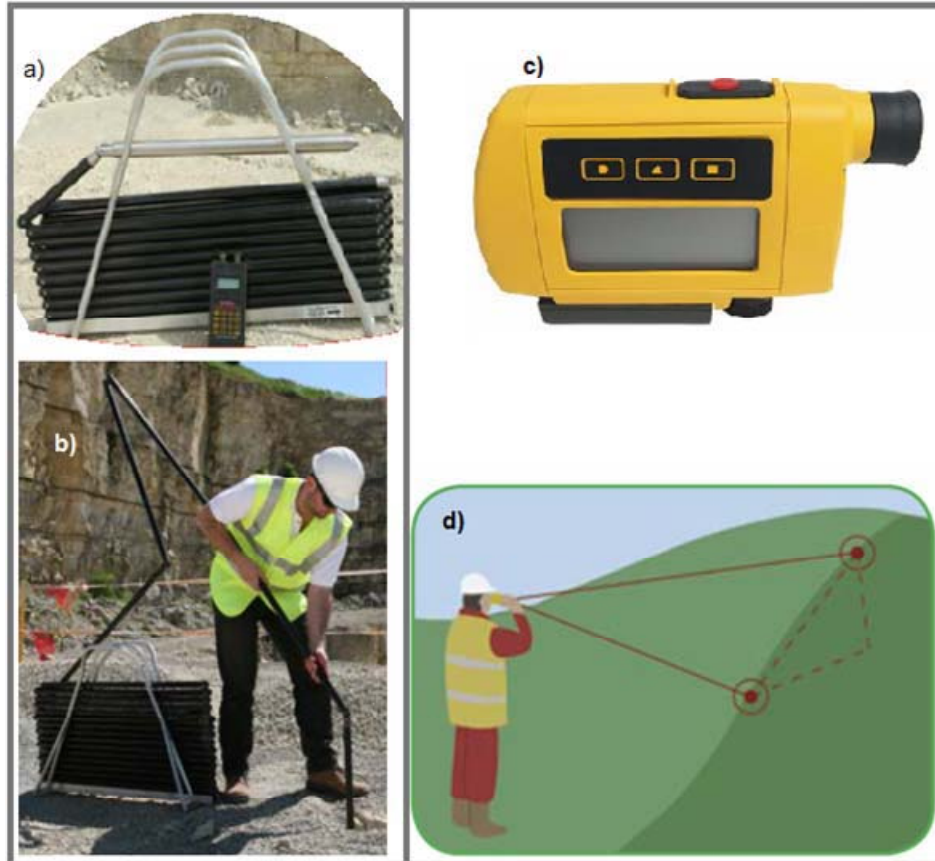


Figura 76 – Equipamentos de monitorização de desvios: a) Boretrak; b) aplicação do Boretrak; c) Câmara Laser; d) aplicação da câmara Laser, leitura de gradientes.

A utilização destes equipamentos é imprescindível para uma necessária e continua caracterização/monitorização dos desvios na perfuração. Estes equipamentos complementam-se, o Boretrak, Figura 76 a),b), realiza leituras de posicionamento com determinado espaçamento em profundidade nos furos no interior do maciço rochoso. A câmara de leitura laser Figura 76 c),d), efectua um registo de dados pelo varrimento laser no exterior da frente livre da bancada. O conjugar destas duas leituras permite um conhecimento correcto sobre parâmetros que são importantes e influenciam o resultado do desmorte.

Na Figura 78, estão conjugados os dados relativos a estes dois equipamentos, com as leituras realizadas com o equipamento laser da frente da bancada, (BE1, PF1) nas quais foi implantada uma resultante em função dos dados recolhidos, uma frente de bancada média, uma projecção

de dados recolhidos com o Boretrak e projecção de furo médio, podendo rapidamente concluir dum desajustamento inerente e dum provável mau resultado granulométrico, já mencionado anteriormente. Para uma adequada percepção dos resultados, foram reduzidas ao mesmo ponto as leituras do Boretrak nos planos Lateral e Frontal, reproduzidas na imagem da Figura 77.

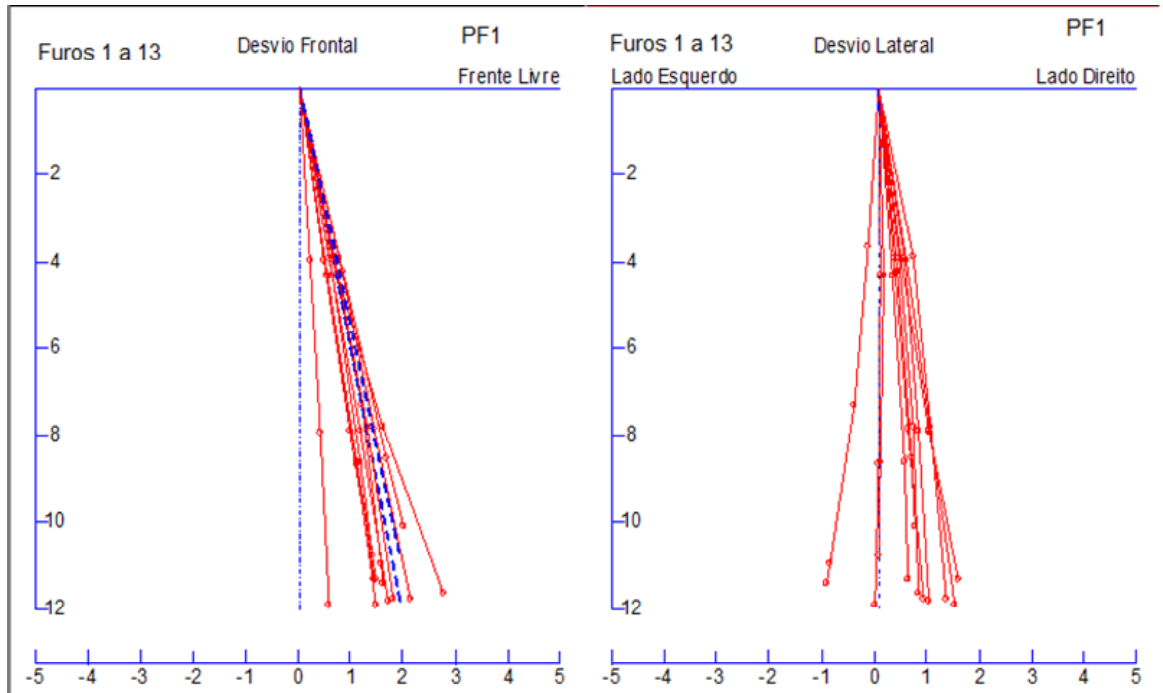


Figura 77 – Representação das leituras do Boretrak nos furos da Pega de fogo 1.

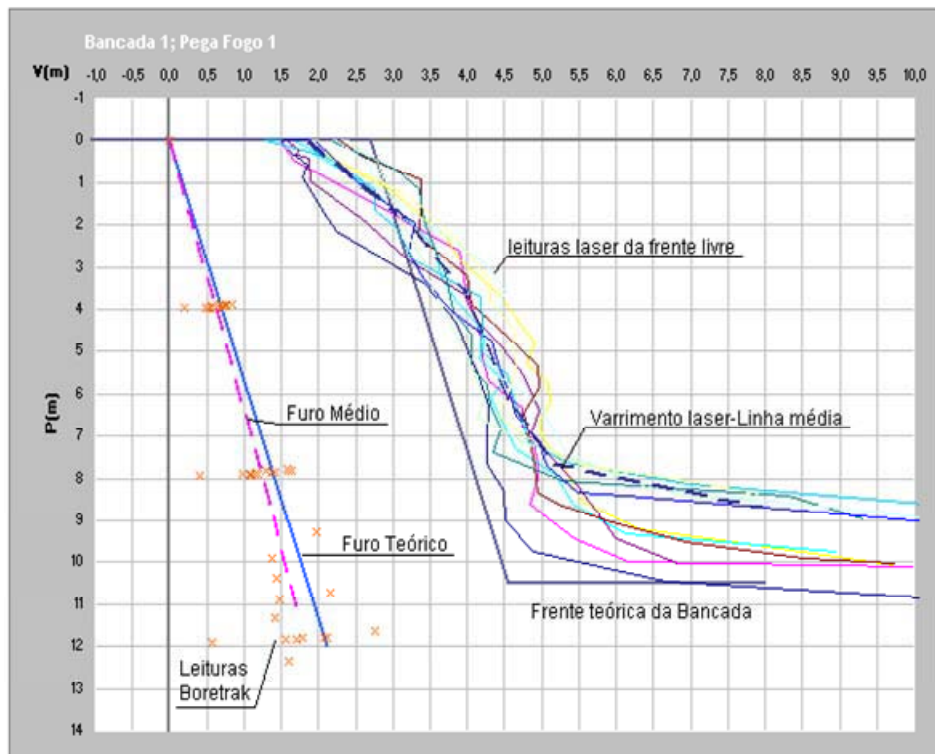


Figura 78 – Leituras Boretrak, associadas às leituras laser da bancada BE1; PF1.

A conjugação desses dois grupos de elementos irá permitir fazer o enquadramento das alterações a implementar.

3.8. DESCRIÇÃO DOS TRABALHOS

Após levantamento do perfil da bancada da pega de fogo 2 com recurso ao equipamento laser, foi definido o posicionamento dos furos com base nesses perfis. Assim que concluída a marcação da pega procedeu-se ao início da perfuração.

O posicionamento da coluna do equipamento de perfuração foi monitorizado, com o auxílio de uma bússola, foi registada a direcção e a inclinação da coluna de perfuração imediatamente após estabilização da mesma. Desta forma garantimos um rigoroso posicionamento do equipamento Boretrak, para a obtenção de leituras fiáveis de desvio.

Na Figura 79, estão representadas as fases deste procedimento, desde o posicionamento da coluna com auxílio do inclinómetro digital do Roc (direcção $0,3^\circ$ e inclinação $10,3^\circ$), até à medição dos desvios de perfuração, com o boretrak posicionado numa direcção perpendicular à direcção da furação executada (N 50° E).



Figura 79 – Envoltente do furo 1, a) emboquilhamento; b) leitura Boretrak; c) furo 1 da PF1, BE1.

A metodologia adaptada na perfuração foi a seguinte, o primeiro furo foi realizado pelo operador sem qualquer intervenção nossa.

De referir que o furo foi executado em cerca de 18 minutos, a que correspondeu uma velocidade útil de perfuração na ordem dos 74m/h, contudo metade do tempo no ciclo da perfuração dedicado a outras tarefas, como mudança de varas, encravamentos e retirada de varas (Quadro 32).

Quadro 32 - Rendimento da perfuração no furo1 da PF2.

Avaliação de Rendimentos e Velocidades da Perfuração			
Tempo Total	Tempo útil Furação	Vel. Útil Perfuração	Rendimento Perfuração
(seg)	(seg)	(m/h)	(%)
1035	532	73,8	51%

Após a execução do furo 1 numa zona da bancada regular e emboquilhamento com “Pouco Material Desagregado”, foi realizada de imediato a leitura dos desvios da perfuração (Figura 80). Realizada a leitura com o Boretrak e feita a descarga de dados em terminal informático, chegou-se à seguinte conclusão representada na imagem da Figura 80.

No resultado da análise a este furo verifica-se no plano lateral praticamente a inexistência de desvio, e no plano frontal um desvio para a retaguarda em cerca de 0,5 m, no fundo do furo. Após a execução deste furo implementou-se a medida de correcção já estabelecida pelos resultados da pega anterior. Desta forma os restantes furos foram executados com um emboquilhamento de 1,5° para direita (+).

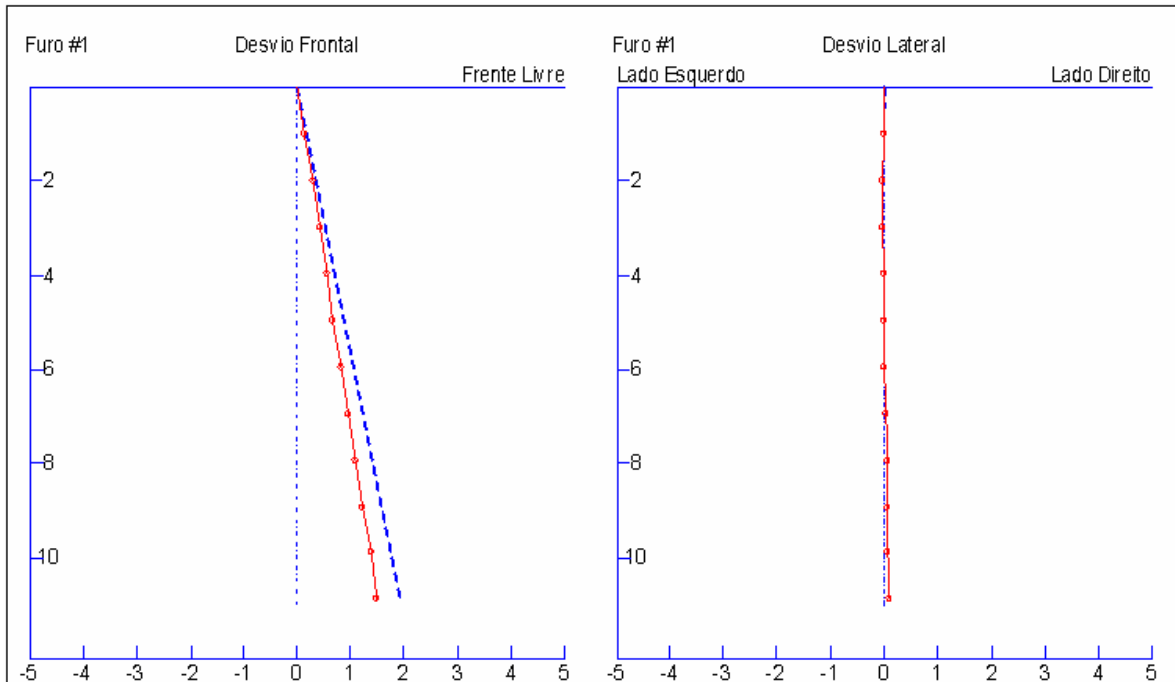


Figura 80 – Representação das leituras do Boretrak no furo1 da PF2.

Foram executados 14 furos, 8 na primeira fiada, 6 na segunda fiada, e realizadas as leituras de 1 em 1 m dos desvios de perfuração com o Boretrak, em todos os furos. Para uma adequada percepção dos resultados, foram projectadas a partir do mesmo ponto as leituras do Boretrak nos planos Lateral e Frontal. Na Figura 81, o desvio Lateral apresenta uma tendência para o centro teórico do furo, enquanto que no plano frontal mantêm-se a tendência dos desvios para a retaguarda.

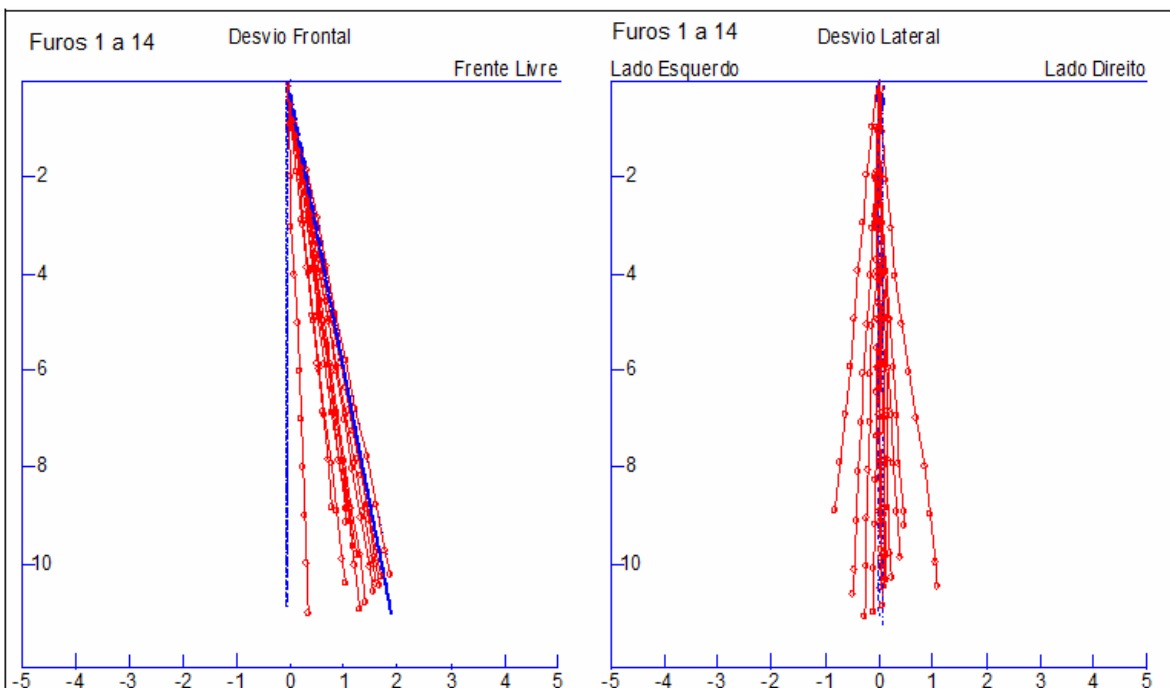


Figura 81 – Representação das leituras do Boretrak nos furos da Pega de fogo 2.

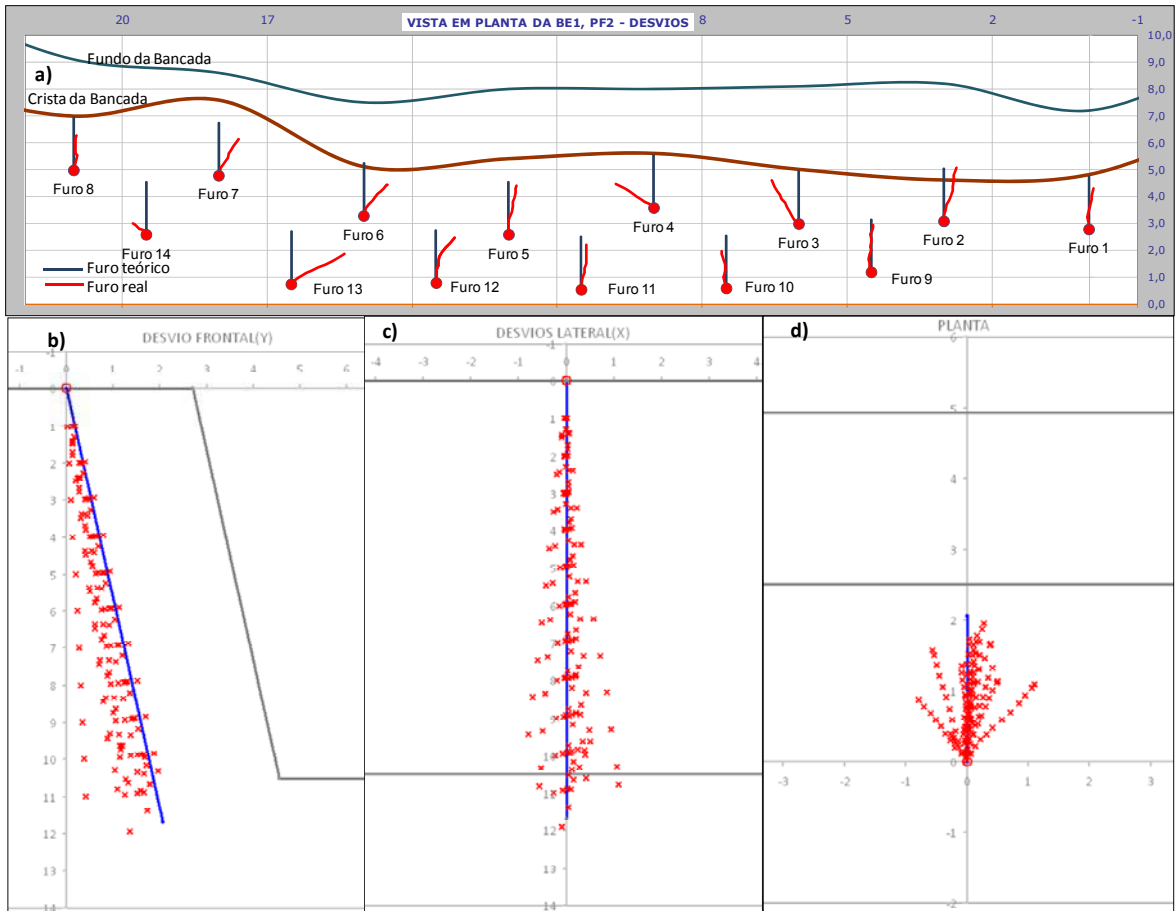


Figura 84 – Quadro resumo dos aspectos principais de desvios medidos na BE1, PF2: a)-vista em planta da bancada e evolução dos desvios; b)-vista no plano frontal (Y); c) vista Lateral (X); d)-vista em planta.

Na imagem da figura 84 pode-se observar, comparativamente a quadro idêntico patente na figura 69, a evolução da perfuração ao longo dos 14 furos na qual é perceptível uma diminuição da amplitude no desvio lateral (X) com aproximação ao furo teórico e a manutenção do desvio no plano frontal (Y). A actuação na correcção da direcção afigura-se uma opção a manter em futuras pegs, com possibilidade de alargamento a outras propostas de melhoria.

Numa relação directa dos elementos recolhidos, é importante também a análise visual do layout da área de leito do material desmontado na PF2, para avaliar da qualidade do desmonte. Na imagem da Figura 85, é possível constatar uma melhoria no volume geral da pilha de material desmontado, assim como uma granulometria mais reduzida apesar dos fragmentos de maior calibre nos extremos confinados da bancada.

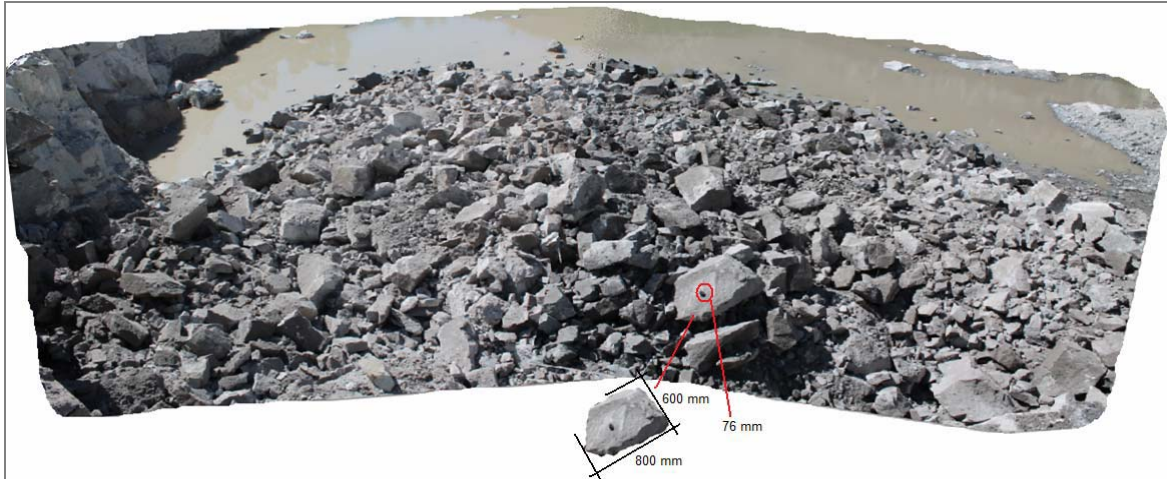


Figura 85 – Pilha de fragmentos resultantes da PF2. Pormenor fragmento com furo de 76 mm.

3.9. AVALIAÇÃO DE RESULTADOS

Em termos de resultados práticos, a implementação da proposta de correcção do desvio revelou um impacto significativamente positivo no emboquilhamento, como se poderá verificar na Figura 86, onde se comparam as duas pegas de fogo (PF1, PF2).

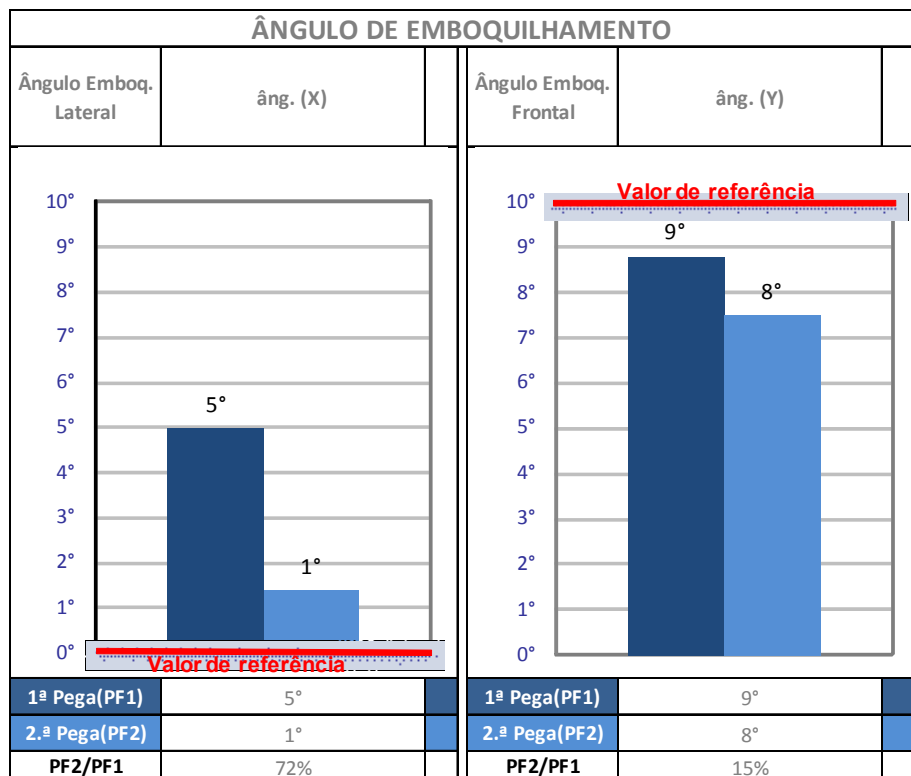


Figura 86 – Comparativo dos ângulos emboquilhamento PF1 e PF2.

Na Figura 86, estão projectados os furos no fundo da bancada. É evidente uma redução significativa no valor do desvio no plano da direcção (X) em cerca de 70%, dado que o valor ideal

deste ângulo aponta para 0°. No plano da inclinação (Y), os furos apresentam uma tendência de recuo relativamente ao ângulo desejado (10°).

Resumindo, temos uma melhoria significativa no plano Lateral (X) e um certo recuo no plano Frontal (Y). Para a avaliação ser mais consistente, serão analisados os parâmetros relativos à Precisão e à Dispersão das duas pegas. Pretende-se obter uma percepção da evolução entre as duas pegas, como tal fez-se uma análise estatística básica, nomeadamente das medidas de dispersão.

Na Figura 87, parece evidente a prerrogativa já apontada pelo indicativo de redução do valor médio de emboquilhamento. Existe uma maior precisão da PF2 relativo à PF1, dado apresentar maior quantidade de furos em área mais reduzida.

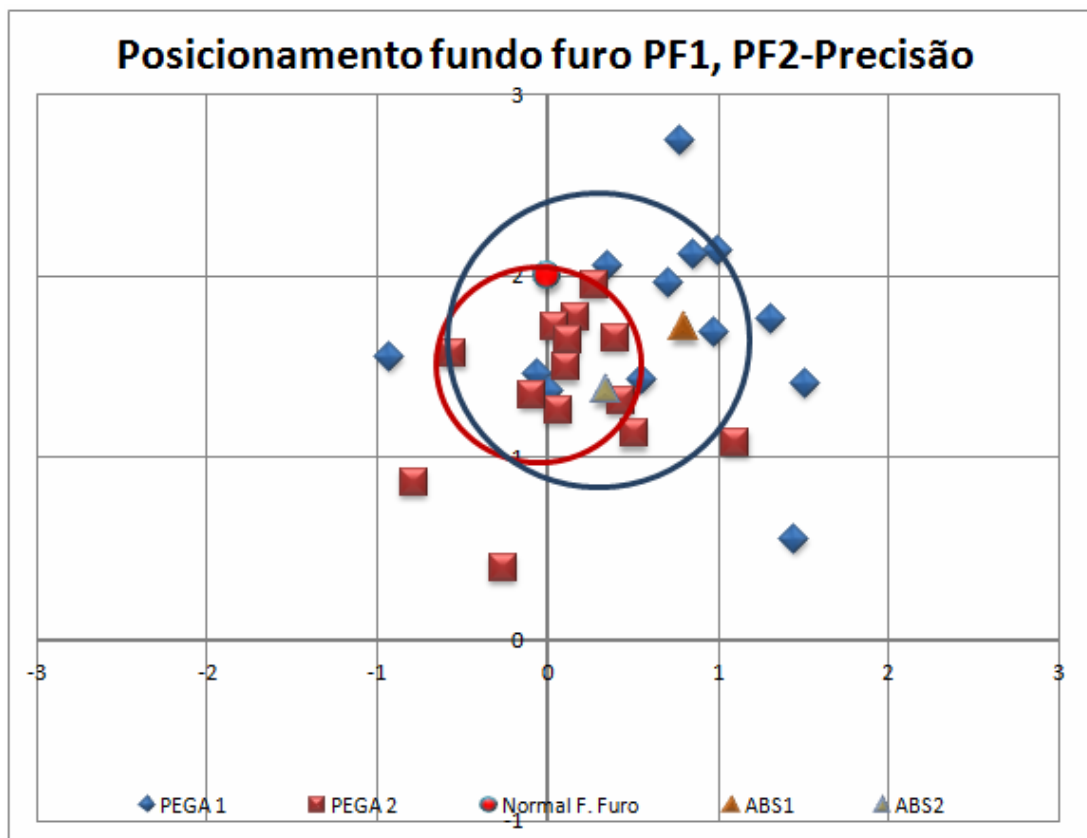


Figura 87 – Comparativo parâmetro Precisão das PF1 e PF2.

Relativamente à Dispersão (Figura 88) constata-se uma ligeira melhoria da PF2 na medida em que para além da redução da malha, há uma aproximação dos furos ao eixo vertical teórico do furo, enquanto que na PF1 há mais dispersão e conseqüente mais afastamento a esse eixo.

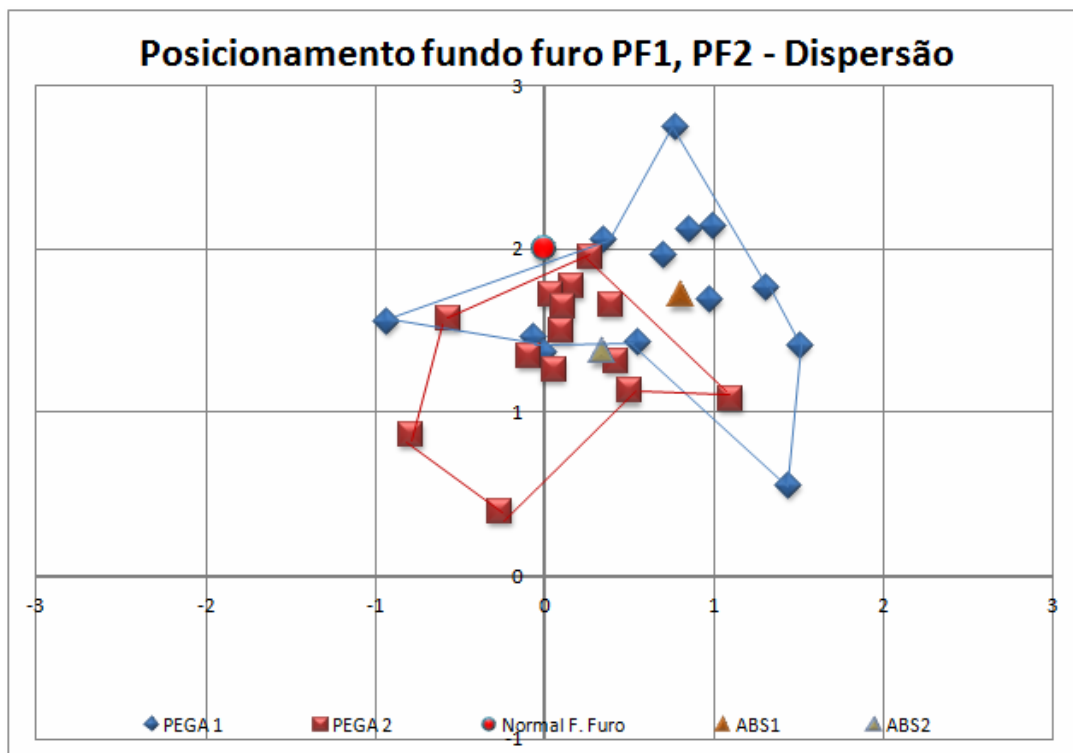


Figura 88 – Comparativo parâmetro Dispersão das PF1 e PF2.

Esta análise permite fazer uma reflexão relativamente à distribuição da carga específica pelo maciço. Quanto maior for a dispersão dos furos no maciço, mais a carga específica sofrerá variações nomeadamente de redução e ou de concentração, comprometendo a eficácia do diagrama de fogo e com limitação clara de desempenho no resultado do rebentamento.

No seguimento da análise à precisão e à dispersão foram os elementos estudados em termos estatísticos, tendo sido calculados os factores que estão relacionados com a dispersão e com a precisão, o Coeficiente de Variação (Cv) e o Desvio Padrão respectivamente (Quadro 33).

Quadro 33 – Indicadores estatísticos relativos às análises dos dados das PF1(X1) e PF2(X2).

Estatística	PF1 (X1)	PF2 (X2)
MÉDIA	0,81	0,35
VARIÂNCIA	0,21	0,09
DESV.PADRÃO	0,46	0,30
COEF.VARIAÇÃO	57%	86%

No Quadro 33, estão expressos os resultados obtidos, e numa imediata análise constata-se que o indicador de dispersão, o Coeficiente de Variação (Cv), aponta para um pior resultado com aumento de dispersão da PF1 para a PF2, de 57% para 86%, neste indicador quanto menor o resultado, menor é a dispersão, no limite 0% no mesmo ponto. Na precisão o Desvio Padrão, aponta para uma melhoria de 46% para 30%.

Ainda no campo da estatística, e dentro da análise das medidas amostrais de localização relativa, foram calculadas as seguintes medidas e apresentadas no gráfico da Figura 89.

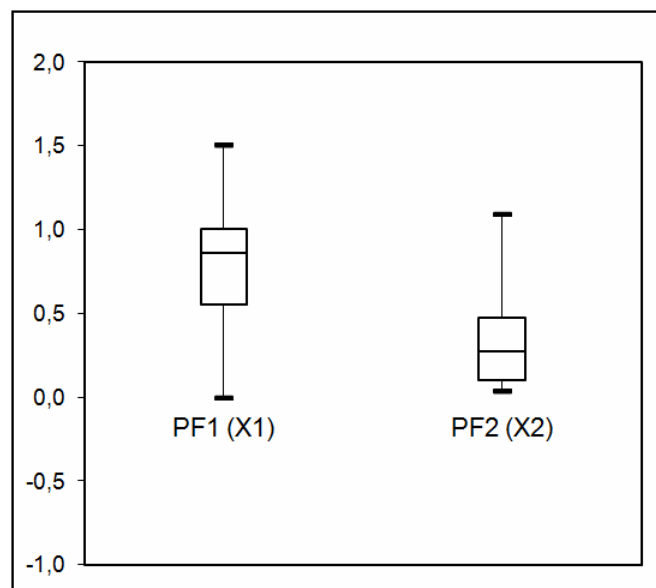


Figura 89 – Comparativo nos desvios laterais das PF1 (X1) e PF2 (X2).

Quadro 34 – Indicadores estatísticos para o gráfico da fig 89.

Estatística	PF1 (X1)	PF2 (X2)
1.º Quartil	0,554	0,101
Mínimo	0,001	0,038
2.º Quartil	0,855	0,268
Máximo	1,505	1,096
3.º Quartil	1,004	0,477
Amplitude	1,504	1,058

Em análise ao gráfico da Figura 89, importa referir o seguinte:

- ✓ A amplitude é menor em X2 que em X1;
- ✓ Em X1 os dados estão de igual modo dispersos nos valores mais elevados, como nos mais baixos, com uma ligeira maior dispersão nos de menor valor, que ficam no 1.º Quartil;

- ✓ Em X2 os valores mais baixos estão bastante concentrados, há uma clara reduzida dispersão, sendo mais dispersos os de maior valor;
- ✓ Em X1 os 50% dos dados do centro não são simétricos e com tendência de dispersão inferior;
- ✓ Em X2 os dados dos 50% do centro ficam enquadrados na parte do 1.º Quartil de X1, também não regista simetria nos dados e com dispersão na parte superior, onde os dados são de valor mais elevado.

- ✓ Por estas análises parece indicar que há uma significativa melhoria da PF1 para a PF2, há uma menor amplitude de valores nos desvios, os desvios de menor valor estão muito concentrados, embora se verifique dispersão nos de maior valor, não corroborados pelo resultado do Coeficiente de Variação.

- ✓ No seguimento da necessidade de se obter um indicador que preconize uma orientação sobre que previsão de qualidade da fragmentação poderá ocorrer num desmonte, foi seguida uma tentativa de conseguir que um indicador permita obter um conhecimento sobre a amplitude de dispersão da volumetria na curva granulométrica resultante, um indicador de dispersão volumétrica.


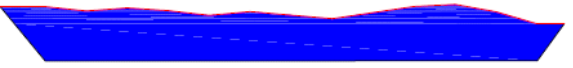
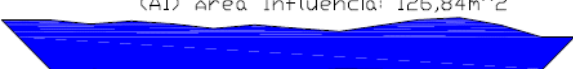
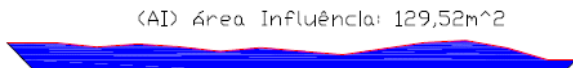
- ✓ Neste sentido foi o estudo orientado numa perspectiva mais prática em termos de abordagem e de metodologia. Assim, com a geometria dos diagramas de fogo das PF1 e PF2, para além dos elementos recolhidos pelos equipamentos Boretrak e da Câmara Laser de levantamento do perfil da bancada, foram determinadas áreas de influência dos diagramas de fogo em determinados níveis de estudo (Quadros 35 e 36). Essas áreas de influência foram determinadas por níveis, sendo que no nível A se considera o diagrama de fogo completamente teórico à superfície; no nível B o diagrama teórico à superfície com frente livre real; no nível C a implementação do diagrama real com frente livre real ao nível do limite inferior de tamponamento (h_0), quando o furo passa a ter explosivo; e o nível D com implementação de diagrama real na cota máxima de intercepção com todos os furos, mantendo a mesma frente livre de h_0 ;

- ✓ Devido às irregularidades existentes na parte superior do talude da bancada, a distância à frente livre, foi calculada pela média de $V.máx$, entre h_0 e a cota de fundo da bancada em cada furo da primeira fiada. Nestes níveis são comparadas as áreas de influência (m^2) os respectivos volumes e a distribuição da carga específica pelo volume do maciço a desmontar. No Quadro 35 estão dispostas as áreas de influências (AI) que foram avaliadas da pega de

fogo1. É visível um aumento de volume que será necessário desmontar quando se passa do diagrama teórico para a implementação real.


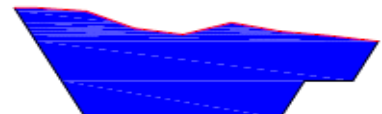
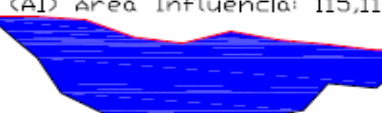
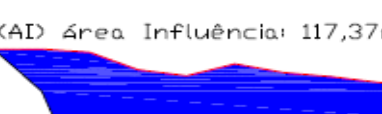
Quadro 35 – Evolução das Áreas de Influência em Profundidade BE1, PF1.

BANCADA 1, PEGA DE FOGO 1

P(m)	ÁREAS (m ²)	ÁREAS DE INFLUÊNCIA	Volume (m ³)	Carga Específica (kg/m ³)
A (0)	101	(AI) Área Influência: 101,25m ² 	907	0,49
B (0)	136	(AI) Área Influência: 136,49m ² 	1223	0,36
C (1,7)	127	(AI) Área Influência: 126,84m ² 	1180	0,36
D (9,3)	130	(AI) Área Influência: 129,52m ² 	1192	0,37

Quadro 36 – Evolução das Áreas de Influência em Profundidade BE1, PF2.

BANCADA 1, PEGA DE FOGO 2

P(m)	ÁREAS (m ²)	ÁREAS DE INFLUÊNCIA	Volume (m ³)	Carga Específica (kg/m ³)
A (0)	104	(AI) Área Influência: 103,28m ² 	938	0,51
B (0)	116	(AI) Área Influência: 115,70m ² 	1044	0,46
C (1,1)	115	(AI) Área Influência: 115,11m ² 	1041	0,46
D (8,9)	117	(AI) Área Influência: 117,37m ² 	1051	0,45









Na PF2 (Quadro 36) mantém-se a tendência de aumento das áreas de influência quando se passa do teórico para o diagrama real e em profundidade, com um consequente desajuste da carga específica na distribuição do explosivo pelo maciço.

Como é possível observar na comparação do valor da carga específica entre estas duas pegas de fogo, regista-se uma melhoria da pega 1 para a pega 2, devido a um progresso em termos de precisão e de dispersão, devido à diminuição em absoluto do valor dos desvios ocorridos.

No Quadro 37 foi reunida a informação relativa às pegas de fogo 1 e 2, distribuída pelas áreas em análise, onde se verifica a evolução positiva do resultado da pega de fogo 1 para a pega de fogo 2.

A subárea II (SAII), área mais adstrita dos cilindros de comoção, preponderante num bom desempenho, a relação ajusta-se para um confinamento necessário.

Quadro 37 – Evolução das Áreas de Influência, relação Áreas de Influência (%) para as PF1 e PF2.

EVOLUÇÃO SUBÁREAS (m ²)		SAI	SAII	SAIII	AI	RELAÇÃO AI (%)	
1:A		57,70	43,55	-	101,25	35%	1:B/1:A
1:B		92,71	43,78	-	136,49	25%	1:C/1:A
1:C		82,89	43,74	0,21	126,84	28%	1:D/1:A
1:D		87,42	39,99	2,11	129,52		
2:A		38,52	64,76	-	103,28	11%	2:B/2:A
2:B		50,94	64,76	-	115,70	14%	2:C/2:A
2:C		52,50	59,86	2,75	115,11	14%	2:D/2:A
2:D		57,11	55,16	5,10	117,37		

AI-Área de Influência; SAI-SubáreaI; SAII-SubáreaII; SAIII-SubáreaIII 1: - Pega de Fogo 1; 2: - Pega de Fogo 2.

O resultado da Relação da área de Influência com a carga específica, foi determinado entre cada nível e o respectivo diagrama teórico.

A evolução que se regista favorável a um melhor desempenho nas áreas da pega de fogo 2, traduz uma melhoria devido à implementação da correcção proposta para a PF2. A evolução reduzida e praticamente sem variações na PF2, indica uma estabilização de área nos níveis estudados com manutenção controlada da carga específica (Quadro 37).

Na PF2 em relação à PF1 verifica-se um ligeiro aumento no valor de área de sobreposição (SAIII) em cerca de 2%, isto é, desvios a convergir entre si.

Em resumo na PF2 o valor da SAII é praticamente em todos os níveis superior ao da SAI e manifesta claramente uma menor dispersão do explosivo, devido a ter uma área a tratar mais

aproximada ao teórico do que o verificado na PF1, onde a carga específica do explosivo ficou mais reduzida, face ao volume ter aumentado.

Em forma de conclusão sobre que modelo tem condições que proporcione obter o IDV; pelas análises aos resultados até agora obtidos e em conjugação com a conceptualização teórica de diferentes modelos, aponta-se um caminho que passa pela análise das áreas do diagrama de fogo em determinadas cotas, e pela sua inter-relação com as chamadas áreas interiores à área de influência; SAI, SAII e SAIII, as quais se relembram;

- ✓ SAI – área envolvente de certo raio, mais próxima à mediatriz do furo;
- ✓ SAII – área que ficará além da SAI, até ao limite da AI;
- ✓ SAIII – áreas sobrepostas relativas às SAI (por aproximação dos furos).

No seguimento da análise aos resultados dos diagramas das pegas de fogo 1 e 2, foram simulados mais dois diagramas de fogo, apenas teóricos (Figura 90), com uma e duas fiadas de furos respectivamente, com o intuito de promover a recolha de elementos que permita maior abrangência na decisão sobre o pretendido IDV.

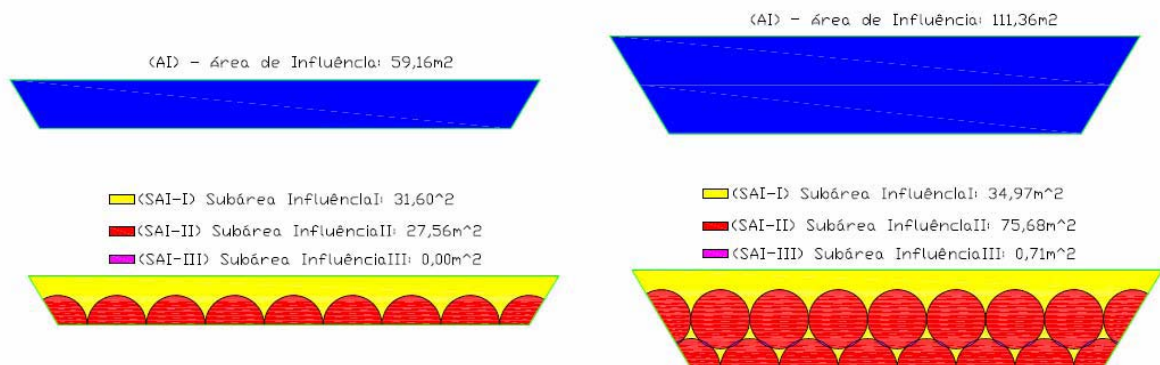


Figura 90 – Geometria e resultados de diagramas teóricos.

Quadro 38 – Relação e Evolução das Áreas de Influência para as PF1 e PF2, cálculo do “ÍDV”

EVOLUÇÃO DAS SUBÁREAS (m ²)		SAI	SAII	SAIII	AI	IDV	
1.ª Pega de Fogo	1:A		57,70	43,55	-	101,25	0,43
	1:B		92,71	43,78	-	136,49	0,32
	1:C		82,89	43,74	0,21	126,84	0,34
	1:D		87,42	39,99	2,11	129,52	0,31
2.ª Pega de Fogo	2:A		38,52	64,76	-	103,28	0,63
	2:B		50,94	64,76	-	115,70	0,56
	2:C		52,50	59,86	2,75	115,11	0,52
	2:D		57,11	55,16	5,10	117,37	0,47
Simul. 1		26,74	31,41	-	58,15	0,54	
Simul. 2		31,60	27,56	-	59,16	0,47	
Simul. 3		34,97	75,68	0,71	111,36	0,68	

AI-Área de Influência; SAI-SubáreaI; SAII-SubáreaII; SAIII-SubáreaIII Simul.-Simulação/pega 1, 2 e 3

No Quadro 38, foram lançados os dados das pegas de fogo 1 e 2 e dos diagramas teóricos criados para o efeito que só servem para atestar as decisões sobre os resultados práticos obtidos nas pegas de fogo reais. O valor de IDV foi alcançado pela relação obtida entre o valor da SAII-“Subárea II” face à AI-“Área de Influência” respectiva.

1:D	1:B	1:C	1:A	Simul. 2	2:D	2:C	Simul. 1	2:B	2:A	Simul. 3
0,31	0,32	0,34	0,43	0,47	0,47	0,52	0,54	0,56	0,63	0,68

Figura 91 – Resultado de simulação volumétrica de quatro diagramas de fogo.

Na imagem da Figura 91, estão dispostos por ordem crescente de valor (IDV) da esquerda para a direita, os resultados afectos aos diagramas reais 1 e 2 e aos teóricos das simulações 1, 2 e 3.

Pela análise dos resultados temos pior resultado de desmonte o diagrama da pega de fogo 1 com valores todos à esquerda, os mais baixos de IDV e os do diagrama 2 mais ao centro e à direita com valores superiores de IDV, conjuntamente com os diagramas das simulações, aos quais não se previam quaisquer desvios. É de salientar a posição que o nível 1:A do diagrama 1, que ocupa melhor posição relativamente aos outros 3 níveis do mesmo diagrama, é o que está na superfície, onde os desvios são inexistentes, apenas se consideram posições no diagrama.

Por estes indicadores pode-se dizer que um valor de IDV minimamente aceitável deverá posicionar-se a partir do diagrama da pega de fogo 2, a qual foi sujeita a correcção, isto é a partir de $IDV = 0,47$.

Para concluir a análise que até aqui foi feita no que toca aos resultados práticos em função dos desvios ocorridos, terá que ser obrigatoriamente analisada a questão da influência das descontinuidades registadas em cada painel. Esta análise de pormenor foi amplamente desenvolvida no âmbito da Dissertação de Mestrado da Eng.ª Catarina Dias (2013).

Assim, num âmbito de análise com carácter geral, é apresentada nas imagens das Figuras 92 a 95, as particularidades dos painéis estudados, o enquadramento das famílias de diaclases na geometria do diagrama de fogo com a perspectiva dos desvios ocorridos e projectados a partir de um mesmo ponto para melhor percepção da dispersão e precisão, assim como da sua amplitude.

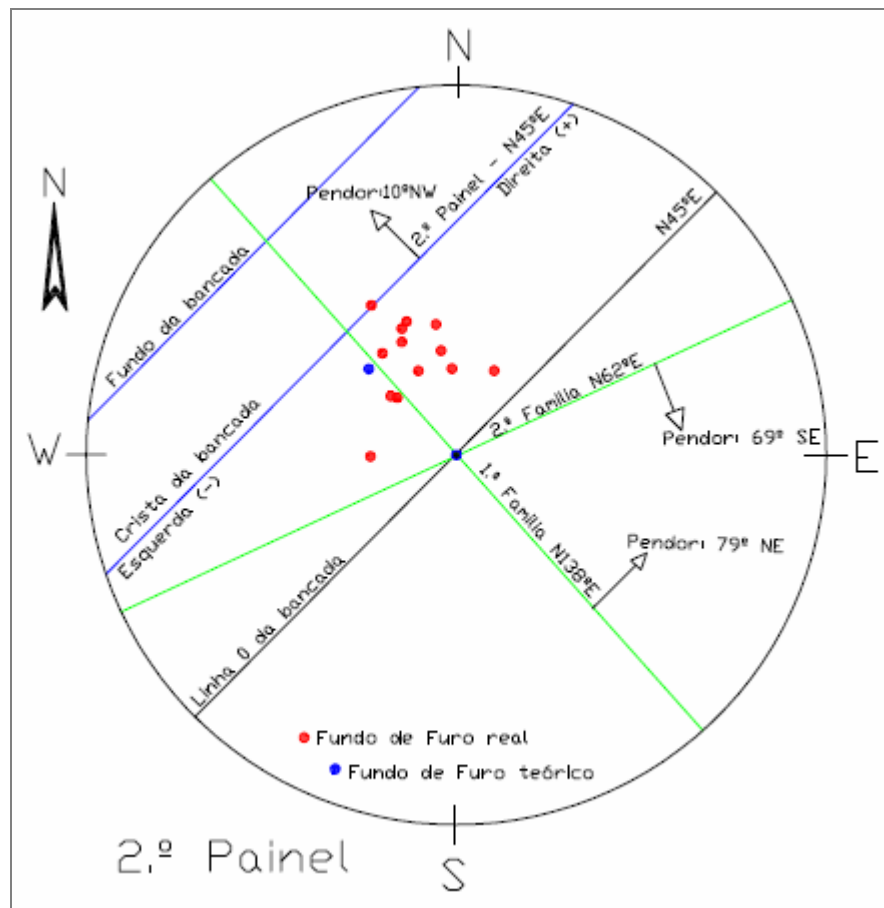


Figura 92 – Enquadramento geral da geometria do painel 2, com as famílias de descontinuidades.

Na nota explicativa do painel 2 (Figura 92) relativamente aos desvios, há dois aspectos principais a referir; que na generalidade os desvios ocorreram para a direita e que mais de metade dos furos ficaram aquém da inclinação inicialmente definida (10°) (Furo a azul).

Relativamente ao desvio para a direita, podemos dizer pela análise do painel, que parece existir uma forte relação com a influência que a 1.ª família de descontinuidades pode ter tido. A direcção da família que se apresenta paralela à posição da coluna de perfuração e a respectiva inclinação com tendência subvertical que ocorre no mesmo sentido dos desvios, apresenta condições para acomodar o conjunto varas e bit e conduzir pelos seus planos a trajectória do furo (Figura 93).

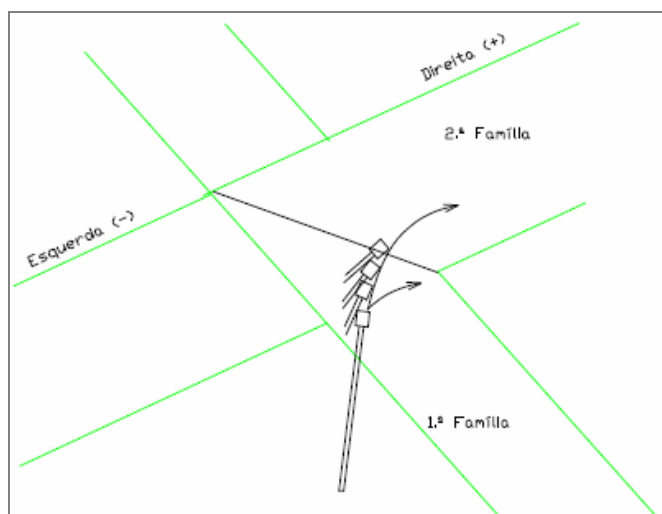


Figura 93 – Pormenor de projecção da possível trajectória do bit face às famílias no painel.

Quanto à inclinação não ter sido atingida, será ainda de considerar a influência da 2.ª família, menos representativa mas importante e dependendo da cota a que ocorre ao ser atingida pelo bit de perfuração poderá através do seu plano perpendicular ao avanço do bit, oferecer resistência que debilite a capacidade deste ultrapassar com a linearidade necessária esse obstáculo natural (Figura 93).

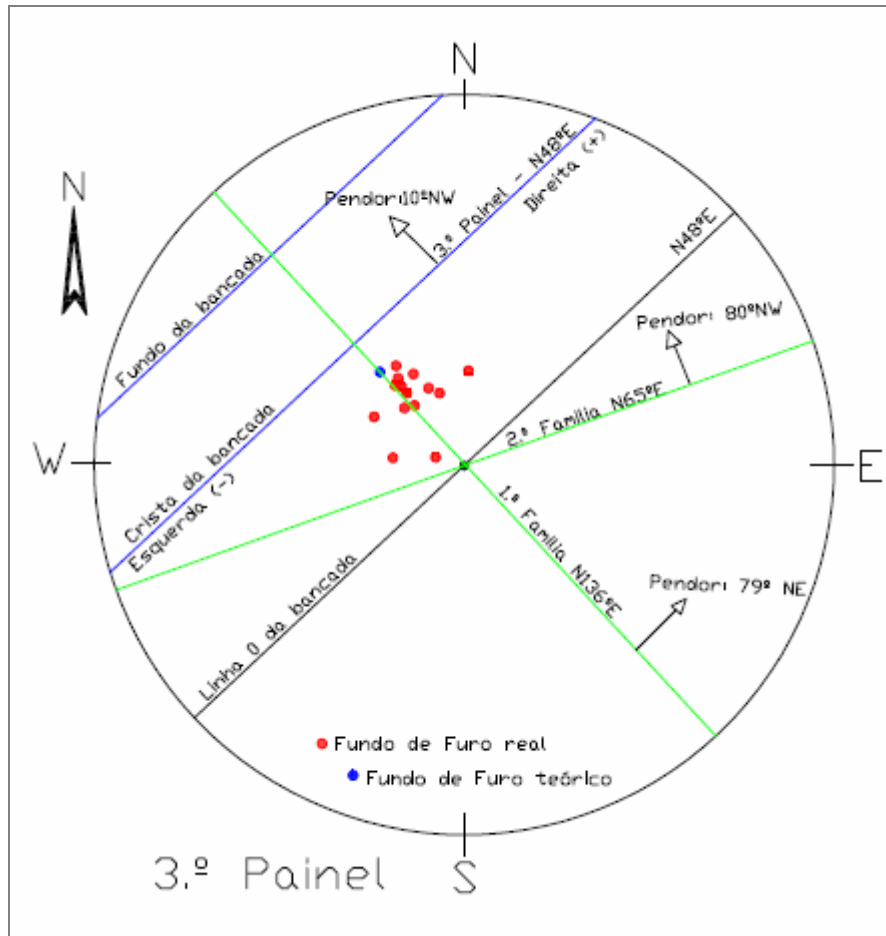


Figura 94 – Enquadramento geral da geometria do painel 3, com as famílias de descontinuidades.

No painel 3 (Figura 94) é notório um acentuado melhoramento geral, na dispersão, na precisão e na amplitude. Manifestam-se ainda desvios embora na maior parte, mais ajustados ao objectivo.

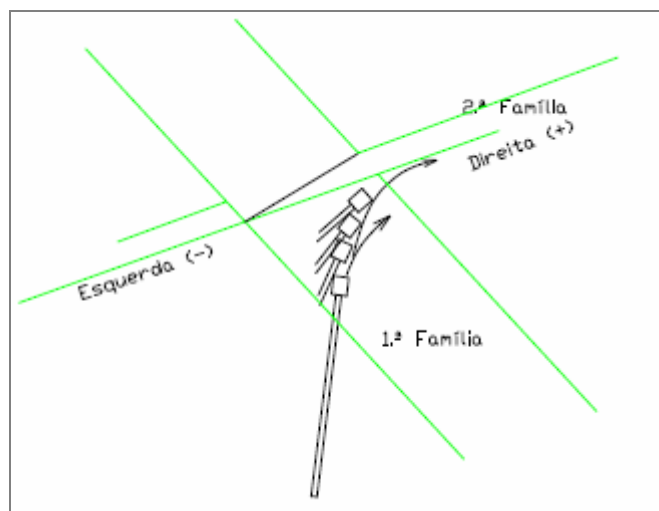


Figura 95 – Pormenor de projecção de possível trajectória do bit face às famílias no painel.

Verifica-se no painel 3 a manutenção de uma família principal com possibilidade de influenciar a trajectória do furo com desvio para a direita e a segunda família a concluir a não progressão da linearidade do furo. As duas famílias principais conjugadas com outras, potenciam outras trajectórias e criam corredores de mais fácil progressão para o bit de furação (Figura 95). A melhoria verificada no plano lateral referenciada no gráfico da figura 86, é confirmada na evolução positiva representada no esquema da figura 94.

CAPÍTULO IV



Topografia, Geologia, Pedreira de Curviã, V. N. Famalicão, Portugal

4. CONCLUSÕES

4.1. CONCLUSÕES

4.2. PROPOSTAS FUTURAS

4. CONCLUSÕES

4.1. CONCLUSÕES

Numa perspectiva de viabilidade empresarial, é necessário maximizar recursos e minimizar custos, tendo presente que deverá existir uma relação Custo/Benefício consistente. Foi trabalhado nesta dissertação o conhecimento do maciço rochoso, a sua interacção com o que é possível controlar, como o equipamento de perfuração, acessórios de perfuração, entre outros. Nesta base, foi possível propor correcções para atingir o objectivo de minimizar os desvios de perfuração e ainda apontar um indicador quantitativo de volumetria, “IDV – Índice de Dispersão Volumétrica” que consubstancie projecções a nível de qualidade da fragmentação resultante do desmonte.

Com os objectivos bem traçados, com base nos quais se direccionou os trabalhos de campo, foi possível obter conclusões e evidenciar potenciais indicadores para futuras análises.

Como principais conclusões:

- É muito importante a determinação de um índice que permita uma análise prévia do resultado do desmonte em termos de resultado granulométrico. Um índice baseado na uniforme distribuição do explosivo no volume de maciço a desmontar, representa uma mais-valia assinalável.
- O índice permite de forma quantitativa, avaliar o que se poderá esperar em termos de resultados, através da análise das áreas de influência que existem num determinado diagrama de fogo. Quando se verifica a ocorrência de desvios na perfuração, com alteração da trajectória e do posicionamento dos furos, a heterogénea distribuição dos explosivos pelo maciço, proporcionando condições para a obtenção de curvas granulométricas com desequilíbrios relativamente às percentagens de materiais muito grossos e muito finos.

- Revela-se bastante útil, a definição de um índice que proporcione de modo expedito, uma projecção da distribuição volumétrica do explosivo com consequências directas no resultado que se pode obter num desmonte, em termos granulométricos.
- A correcção implementada na pega 2 permitiu uma diminuição global dos desvios de perfuração.
- É fundamental a caracterização do maciço rochoso segundo os parâmetros definidos pela ISRM (1978, 1981), para conhecimento adequado das descontinuidades e singularidades detectadas nas faces expostas dos taludes do maciço rochoso, recorrendo a métodos práticos e eficientes, com sistematização das análises integradas num método expedito que é a técnica da amostragem linear.
- Ficou evidente neste trabalho que um adequado conhecimento das características do maciço rochoso, nomeadamente a nível da sua compartimentação, permite avançar em determinados momentos com expectáveis comportamentos em termos de resultados do desmonte a realizar.
- Os equipamentos e acessórios usados são de facto importantes para uma rigorosa perfuração, contudo outros factores como as condições da bancada (limpeza e regularidade) influenciam determinantemente os resultados obtidos. Consciencializar os operadores dessa importância é fundamental. Por muito fiáveis que sejam os equipamentos, a forma como são operados é muito relevante. Bons equipamentos, operados por bons manobreadores contribuem para o sucesso da operação.
- Com o equipamento Boretrak usado neste estudo, percebe-se perfeitamente que é necessário conhecer com exactidão a posição de emboquilhamento da coluna de perfuração, relativamente à direcção e inclinação para uma medição rigorosa dos desvios.
- A medição dos desvios de perfuração, possibilita que em tempo útil, ajustar o diagrama, tanto ao nível de concentrações de carga como, em casos limites, anular e repetir furos, que apesar de representarem mais custos à partida, acabam por produzir benefícios no resultado final do desmonte.
- As cotas correctas dos furos e menores desvios contribuem para uma estabilização de taludes, mantêm distância à frente uniforme no perfil frontal da bancada, promovem um melhor emboquilhamento a nível da limpeza e da regularidade na bancada inferior, logo menor variação das áreas de influência, nivelamento de idênticas concentrações de carga,

homogeneidade da carga específica no maciço, melhor harmonia na dinâmica entre furos adjacentes, por isso melhores resultados finais.

- O conhecimento prévio da compartimentação do maciço rochoso, assim como as propriedades intrínsecas à matriz rochosa, permite-nos propor correcções na direcção do emboquilhamento, com o intuito de reduzir os desvios de perfuração e aumentar o rigor do posicionamento do furo no fundo da bancada.
- O controlo do diagrama de fogo desde a sua concepção até à execução é fundamental. Ao investir inicialmente na sistematização de procedimentos, no conhecimento da matriz e da fracturação do maciço e as suas reacções aos equipamentos e acessórios em certas zonas, ou sob determinadas condições de operação, proporcionam um poder de decisão, com conhecimento de causa.
- É essencial perceber a interactividade entre o diagrama e o maciço rochoso, quando se pretende obter um bom resultado operacional na primeira fase do ciclo de tratamento industrial no âmbito da produção de agregados, com implicações nos custos unitários do produto final.
- Por fim, uma investigação só se afigura credível quando os intervenientes correspondem aos desafios. É importante uma equipa de trabalho informada, motivada, coesa e pró-activa.

4.2. PERSPECTIVAS FUTURAS

- No seguimento desta investigação será importante avançar numa outra vertente que passa por intervir a nível da selecção de equipamentos/acessórios. Os estudos já realizados neste campo nomeadamente por Ramos (2008), Fonseca (2008), Fonseca et al. 2010) e Galiza (2013), Fonseca, L. (2008) em maciços graníticos idênticos ao do presente, são uma mais-valia em conhecimento prévio de comportamentos aferidos por inúmeros ensaios realizados.
- O carro de perfuração, necessita de contribuir de forma inequívoca para uma linearidade constante na perspectiva de projecto quando se executa o furo. A eliminação do erro de emboquilhamento é um passo que é necessário dar a curto prazo, de outro modo as variáveis de projecto continuam a ser muitas e difíceis de controlar.
- O estudo de painéis como método expedito num maciço rochoso parece ser uma boa opção, deverá no entanto ser distribuído por zonas do maciço que se afigurem representativas, potenciando o conhecimento do maciço através deste tipo de estudos.
- Adoptar equipamentos que proporcionem em tempo útil uma informação capaz de habilitar uma tomada de decisão com vista a minimizar impactos negativos a jusante na restante operação, que poderá passar pela possibilidade do equipamento de furação transmitir informação sobre a trajectória no momento que executa o furo.

CAPÍTULO V

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Harhi A.A., 2001. A field index to determine the strength characteristics of crushed aggregate. Bull. Eng. Geol. Env., 60: 193-200.
- Aydin A. & Basu A., 2005. The Schmidt hammer in rock material characterization. Engineering Geology, 81: 1-14.
- ASTM – American Society for Testing and Materials, 2001. Standard test method for determination of rock hardness by rebound hammer. Designation D5873-00. ASTM Standards on disc: 04-08.
- Bieniawski Z.T., 1989. Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. Interscience, John Wiley & Sons, New York, 272 pp.
- Bieniawski, Z.T., 1975. The point load test in geotechnical practice. Engineering Geology, pp. 1-11.
- Baddeley M.C., Curtis A. & Wood R., 2004. An introduction to prior information derived from probabilistic judgments: elicitation of knowledge, cognitive bias and herding. In: Curtis A. & Wood R. (eds), Geological prior information, informing science and engineering. Geological Society, London, Special Publications, 239: 15-27.
- Bock, H. (2006). Common ground in engineering geology, soil mechanics and rock mechanics: past, present and future. Bull. Eng. Geol. Env., 65: 209-216.
- Brady, B. H. G. & Brown, E. T., 2004. Rock mechanics for underground mining, 3rd Edition, George Allen & Unwin, London. 527 pp.
- Broch E. & Franklin J.A., 1972. The point load strength test. J. Rock Mech. Min. Sci, 9: 669-697.
- Brown E.T., 1991. Da teoria à prática em mecânica das rochas. Ingenium, Revista da Ordem dos Engenheiros, Ano IV (48): 9-29.
- 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.
- Chaminé H.I., 2010. A técnica de amostragem linear em estudos geológico-estruturais e de geoengenharia de maciços rochosos (Sumário da Lição). Relatório do sumário da Lição elaborado para efeitos de prestação de provas públicas para obtenção do título académico de Agregado, no ramo de Geociências (Mecânica das Rochas), pela Universidade de Aveiro. 69 pp., 1 anexo.
- 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.

- CFCCF – Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow, 1996. Rock fractures and fluid flow: contemporary understanding and applications. National Research Council, National Academy Press, 568 pp.
- Deere D.U., Hendron A.J., Patton F.D. & Cording E.J., 1967. Design of surface and near surface construction in rock. In: C. Fairhurst, (ed.), Failure and breakage of rock, proceedings 8th U.S. symposium rock mechanics. Soc. Min. Engrs, Am. Inst. Min. Metall. Petrol. Engrs. pp. 237-302.
- Dinis da Gama C., 1996. The concept of rock mass fragmentability. In: Franklin J.A. & Katsabanis T. (eds.), Measurement of Blast Fragmentation, Balkema, Rotterdam. pp. 209-214.
- 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., 1971. Optimização do arranque de rochas com explosivos. Memória MI-4, Departamento de Engenharia de Minas, Universidade de Luanda. (Tese de Doutoramento).
- Ferrer M. & González de Vallejo L., 2007. Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos. Publicaciones ITGE, Madrid.
- Ferrer, M. & González de Vallejo, L. [eds.], 1999, Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos. Publicaciones ITGE, Madrid. 81 pp, 41 fotografías.
- Fonseca, L. (2008). Interacção e avaliação entre o maciço rochoso e as tecnologias de perfuração: consequências técnico-económicas. Instituto Superior de Engenharia do Porto, ISEP. (tese de mestrado).
- Fonseca L., Ramos L., Galiza A.C. & Chaminé H.I., 2010. Avaliação geomecânica de maciços rochosos fracturados e as tecnologias de perfuração: consequências técnico-económicas. In: 267 Gomes Correia A. et al. (eds), Actas do 12º Congresso Nacional de Geotecnia (Geotecnia e Desenvolvimento Sustentável), SPG/UM, Guimarães. pp. 279-288 (CD-Rom).
- Franklin J.A. & Dusseault M.B., 1991. Rock engineering applications. McGraw-Hill Publishing Company, New York. 431 pp.
- Galiza, A.C. (2013). Qualidade e optimização do desmonte de maciços rochosos em geotecnia mineira. Universidade de Aveiro. (tese de doutoramento).
- Galiza A.C., Ramos L., Fonseca L. & Chaminé H.I., 2011a. Geotecnia mineira de maciços rochosos fracturados para o controlo da qualidade do desmonte. Revista Ingenium, Ordem Engenheiros, 124 (Jul/Agos): 76-80.
- Galiza A.C., Ramos L., Fonseca L., Teixeira J. & Chaminé H.I., 2011b. O papel da geotecnia mineira na optimização do desmonte de maciços rochosos fraturados. Boletim de Minas, DGEG, Lisboa, 46(2): 103-120.
- Galiza A.C., Ramos L., Fonseca L. & Chaminé H.I., 2011c. Geomechanical control of jointed rock mass blasting by aligned drilling. In: Holmberg R. (ed.), Lisbon Conference Proceedings 2011, EFEE – European Federation of Explosives Engineers, pp. 271-280.

- Galiza A.C., Ramos L. & Chaminé H.I., 2008. Controlo da qualidade geotécnica do desmante do maciço rochoso através de uma perfuração alinhada. In: Actas do 11º Congresso Nacional de Geotecnia. Sociedade Portuguesa de Geotecnia / Univ. Coimbra. Volume 1, pp. 243-250.
- Goodman, R. (1993). Engineering geology: Rock in engineering construction. John Wiley & Sons, New York, 412 pp. Pp 8
- González de Vallejo, L. I.; Ferrer, M.; Ortuño, L. & Oteo, C. [coords.], 2002 Ingeniería geológica Prentice Hall, Madrid, 715 pp.
- González de Vallejo L.I. & Ferrer M., 2011. Geological engineering. CRC Press, Taylor-Francis group, 725 pp.
- Greco R. & Sorriso-Valvo M., 2005. Relationships between joint apparent separation, Schmidt hammer rebound value, and distance to faults, in rocky outcrops, Calabria, Southern Italy. Engineering Geology, 78: 309-320.
- 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): pp. 207-242
- Gunsallus K. L. & Kullhaway F.N., 1984. A comparative evaluation of rock strength measures. Int. J. RockMech. Min. Sci. & Geomech. Abstr, 21: 233-248.
- Hoek E., 2007. Practical rock engineering. RocScience: Hoek's Corner, 342 pp.
- Holmberg, R. [ed.], 2003. Explosives and blasting technique. Proceedings of the EFEE 2nd World Conference. Prague, A.A. Balkema, Taylor & Francis Group, 632 pp.
- Hudson J.A. & Harrison J.P., 2000. Engineering rock mechanics: an introduction to the principles. 2nd edition, Pergamon Press, 444 pp.
- Hudson J.A. & Priest S.D., 1983. Discontinuity frequency in rock masses. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 20: 73-89.
- IAEG – International Association Engineering Geology, 1981a. Recommended symbols for engineering geological mapping. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 24: 227-234.
- IAEG – International Association Engineering Geology, 1981b. Rock and soil description and classification for engineering geological
- ISRM – International Society for Rock Mechanics, 1978. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 15(6): 319-368.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics, 1981. Basic geotechnical description of rock masses. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 18: 85-110.
- ISRM – International Society for Rock Mechanics, 1985. Suggested method for determining point load strength. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 22: 51-60.

- ISRM – International Society for Rock Mechanics, 2007. The complete ISRM suggested methods for characterization, testing and monitoring: 1974-2006. In: Ulusay, R. & Hudson, J.A. (eds.), suggested methods prepared by the Commission on Testing Methods, ISRM. Ankara, Turkey. 628 pp.
- Jimeno, C.L. (1995). Drilling and blasting of rocks. Taylor & Francis, 400 pp.
- Katz O., Rechesa Z. & Roegiersc J.C., 2000. Evaluation of mechanical rock properties using Schmidt Hammer Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 37: 723-728.
- 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. & Geom. Abstr., 39: 395-399.
- Langefors U. & Kihlstrom B., 1978. The modern technique of rock blasting. 3rd revised edition. John Wiley and Sons Ltd, New York, 438 pp.
- Lisle R.J. & Leyshon P.R., 2004. Stereographic projection techniques for geologists and civil engineers. Second Edition, Cambridge University Press. 112 pp.
- 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 10º Congresso Nacional de Geotecnia. Sociedade Portuguesa de Geotecnia / Univ. Nova de Lisboa, 1, pp. 255-264.
- Miller R.P., 1965. Engineering classification and index properties for intact rock. University of Illinois. (PhD Thesis).
- Moodley L. & Cunningham C., 1996. Measuring the effect of blasting fragmentation on hard rock quarrying operations. In: Mohanty (ed.), Rock Fragmentation by Blasting, Balkema, Rotterdam, pp. 353-359.
- Nichols Jr T.C., 1980. Rebound, its nature and effect on engineering works. Quarterly Journal of Engineering Geology, 13: 133-152.
- Norbury D., 1986. The Point Load Test. Engineering Geology Special Publications. Geological Society, London, 2: 325-329.
- Palmstron, A. (1995). RMI: a rock mass characterization system for rock engineering purposes. University of Oslo, 400 p. (Tese de Doutoramento).
- 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.P., 1985. Caracterização geotécnica de maciços rochosos. Universidade Nova de Lisboa. (Tese de mestrado).
- Persson P.A., Holmberg R. & Lee J., 1993. Rock blasting and explosives engineering. CRC Press. 560 pp.

- Priest S.D., 1993. Discontinuity analysis for rock engineering. Chapman and Hall. London, 473 pp.
- Priest S.D. & Hudson J.A., 1981. Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 18: 183-197.
- Ramos L., 2008. Avaliação geotécnica e geomecânica de maciços rochosos fracturados para o controlo da qualidade do desmorte. Instituto Superior de Engenharia do Porto, ISEP. (tese de mestrado).
- Dias C., 2013. Influência dos parâmetros Geotécnicos na qualidade do desmorte de rocha: avaliação preliminar. Instituto Superior de Engenharia do Porto, ISEP. (tese de mestrado).
- Reid T.R. & Harrison J.P., 2000. A semiautomated methodology for discontinuity trace detection in digital images of rock mass exposures. Int. J. of Rock Mech. & Min. Scienc., 37: 1073-1089.
- 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, 24 pp. Doi 10.1029/2006TC002058
- Rocha M., 1981. Mecânica das rochas. LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 445 pp.
- Rocha M., 1971. A mecânica das rochas. Geotecnia, Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia, Lisboa, 1: 7-27.
- Sandvik-Tamrock, 1999. Rock excavation handbook. Sandvik Tamrock Corp., 364 pp.
- Scesi L. & Gattinoni P., 2009. Water circulation in rocks. Springer, Dordrecht, 165 pp.
- Schmidt E., 1951. A non-destructive concrete tester. Concrete, 59 (8): 34-35.
- Sighal B.B. & Gupta R.P., 2010. Applied hydrogeology of fractured rocks. Springer-Verlag GmbH, 408 pp.
- Slob S., Hack R., van Knapen B. & Kemeny, 2004. Automated identification and characterisation of discontinuity sets in outcropping rock masses using 3D terrestrial laser scan survey techniques. In: Schubert S. (ed.) Proceedings ISRM Eurock'2004 & 53rd Geomechanics Colloquium. 5 pp.
- Teixeira J., Gomes A., Chaminé H.I. & Rocha F., 2007. Geomorfologia e morfotectónica de relevos quartzíticos: a megaestrutura de Caldas de S. Jorge – Águeda, NW de Portugal. Xeográfica, Revista de Xeografía, Territorio e Medio Ambiente, Universidade de Santiago de Compostela, 7: 107-133.
- Terzaghi R.D., 1965. Sources of errors in joint surveys. Geotechnique, 15: 287-304.

Sítios de internet consultados em Setembro de 2013

<http://mdl-laser.com/en/rodded-boretrak--15121>

<http://mdl-laser.com/en/15118.aspx>

