



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Estudo da influência da carga específica na fragmentação de rocha granítica no desmorte em bancada

Ângelo Miguel Vieira da Silva



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Estudo da influência da carga específica na fragmentação de rocha granítica no desmonte em bancada

Ângelo Miguel Vieira da Silva

Nº 1021070

Projecto apresentado ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente, realizada sob a orientação do Engenheiro António Rodrigues Vieira, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP e do Engenheiro José Augusto de Abreu Peixoto Fernandes, Professor Coordenador do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.

Júri

Presidente

Dedico esta tese aos meus pais por todo o apoio que sempre me deram nesta fase da minha vida e à minha irmã que me incentivou a prosseguir para o mestrado.

Agradecimentos

São devidos agradecimentos em especial aos meus dois orientadores que me acompanharam durante o desenvolvimento deste estudo.

Ao Eng.º António Vieira que me possibilitou a recolha de dados na pedreira “Bouça do Menino” e planificou os trabalhos necessários a realizar.

Ao Eng.º José Fernandes que me acompanhou no desenvolvimento do estudo e no tratamento dos dados recolhidos.

Agradeço ao meu colega de curso o Eng.º Rui Teotónio pela ajuda na recolha de alguns dados na exploração e ao Eng.º Carlos Correia pela troca de ideias sobre o programa informático Wipfrag.

Agradeço também ao Sr. Francisco Brito, responsável pela exploração, pela sua disponibilidade e pela forma como me explicou o funcionamento das operações realizadas.

Agradeço aos meus pais pelo apoio que me deram sempre em todas as escolhas que fiz nesta fase da minha vida.

De referir o agradecimento especial a todos os professores que tive neste curso, já que foi com base nos seus ensinamentos que foi possível elaborar este estudo e a todos os meus colegas de cursos pela troca de ideias e conhecimentos que permitiram o seu enriquecimento.

Palavras-chave

Maçiços rochosos graníticos, carga específica, fragmentação, pedreiras de agregados

Resumo

Este trabalho pretende demonstrar a influência que a variação da carga específica, no desmonte de granito em bancada, tem sobre a qualidade da fragmentação do material produzido.

O estudo baseou-se na recolha de dados na exploração “Bouça do Menino”, propriedade da empresa Mota-Engil, SA em Cervães.

A frente Este da exploração foi escolhida para este estudo porque nesse sentido a fracturação natural do maciço encontra-se sempre paralela ou perpendicular relativamente à frente livre. Neste sentido o desmonte é mais favorável, além de reduzir a influência das descontinuidades naturais nos resultados das pegadas de fogo.

Para a elaboração da curva granulométrica do material “in-situ” foram analisadas características geológicas do maciço em especial a orientação das descontinuidades naturais.

Os rebentamentos analisados têm configurações de malha diferentes sendo este o factor que permite variar a carga específica, uma configuração que é tipicamente utilizada na exploração e duas configurações com a malha mais apertada e conseqüente aumento progressivo da carga específica utilizada.

Foram acompanhadas as operações relativas aos rebentamentos realizados nesse sentido e recolhidos dados para posterior tratamento.

As curvas granulométricas das pilhas de material resultante em cada rebentamento foram criadas utilizando a ferramenta informática Wipfrag, e serviram de base para análise e avaliação da fragmentação obtida.

Os parâmetros registados foram tratados estatisticamente e compilados para servirem de comparação neste estudo.

Keywords

Granitic rock mass, specific charge, fragmentation, aggregate quarry

Abstract

This paper aims to demonstrate the influence that the variation of the specific charge, in the rock blasting of granite countertop, has on the quality of the fragmentation of the material produced.

The study was based on collecting data from “Bouça do Menino” exploration, owned by Mota-Engil, SA in Cervães.

The East front of the exploration was chosen for this study because in that direction the natural fracturing of the massif is always parallel or perpendicular to the free front.

In this direction the quarry is more favourable, and reduces the influence of natural discontinuities in the results of the blasts.

For the developing of the granulometry curve of the “in-situ ”material there were analyzed geological features of the massif in particular the orientation of natural discontinuities.

The blasts that were analyzed have different mesh configurations and this is the factor which permits to vary the specific charge, a configuration that is typically used on the exploration and two configurations with the mesh tighter and consequent progressive increase of specific charge used.

The operations on the blasts made in this direction were followed and data was collected for later treatment.

The granulometry curves of muck pile of resulting material in each blast were created using the software tool Wipfrag, and served as a basis for analysis and assessment of the fragmentation obtained.

The parameters recorded were statistically analyzed and compiled to serve as a comparison in this study.

Índice

Agradecimentos	IX
Palavras chave	XI
Resumo	XI
Keywords	XIII
Abstract	XIII
Índice	1
Índice de Anexos	6
Índice de Figuras	7
Índice de tabelas	9
Índice de equações.....	11
<i>Capítulo 1 – Introdução</i>	13
1 - Introdução.....	15
<i>Capítulo 2 – Descrição da exploração em estudo</i>	19
2 - Descrição da exploração em estudo	21
2.1 - Estado actual da pedreira “Bouça do Menino”	21
2.1.1 - Localização	21
2.1.2 - Caracterização da exploração	22
2.2 - Enquadramento geológico	23
2.2.1 - Cartografia regional	23
2.2.2 - Propriedades do maciço rochoso.....	24
2.3- Descrição do funcionamento da pedreira	25
2.3.1 - Método de lavra.....	25
2.3.2 - Orientação do desmonte	26
2.3.3 - Número de bancadas	26
<i>Capítulo 3 – Propriedades do maciço que influenciam a operação de desmonte</i>	29
3 - Propriedades do maciço rochosos que influenciam a operação de desmonte com explosivos	31
3.1 - Propriedades das rochas que constituem o maciço	32
3.1.1 - Densidade.....	32

3.1.2 - Resistências dinâmicas das rochas.....	32
3.1.3 - Porosidade	34
3.2 - Propriedades do maciço rochoso e influência no desmonte com explosivos	35
3.2.1 - Fracturação natural do maciço rochoso	35
3.2.2 - Carga específica.....	35
3.2.3 - Variação da relação Espaçamento/Distância à frente (E/V)	36
3.2.4 - Perfuração específica	36
3.2.5 - Inclinação dos furos	37
3.2.6 - Número de fiadas.....	37
3.2.7 - Sequência de iniciação	37
3.3 - Operação de perfuração	38
3.4 -Propriedades da rocha que afectam a perfuração	39
3.4.1 - Dureza	39
3.4.2 - Elasticidade	39
3.4.3 - Plasticidade	40
3.4.4 - Abrasividade.....	40
3.4.5 - Textura	41
3.4.6 - Estrutura.....	41
3.5 - Parâmetros do diagrama de fogo que influenciam a perfuração	41
3.5.1 - Altura da bancada (H)	41
3.5.2 - Diâmetro do furo.....	42
3.5.3 - Comprimento do furo	44
3.5.4 - Desvios de furação	44
3.5.5 - Estabilidade do furo	44
<i>Capítulo 4 – Explosivos utilizados na operação de desmonte</i>	<i>47</i>
4. Explosivos utilizados na operação de desmonte.....	49
4.1 – Classificação dos explosivos industriais	49
4.1.1 - Explosivos utilizados em minas e pedreiras.....	50

4.2 - Características dos explosivos.....	51
4.2.1 - ANFO	51
4.2.2 - “Slurries”	51
4.2.3 - Emulsões	52
4.2.4 - ANFO pesado.....	52
4.2.5 - Pólvora negra	53
4.3 - Selecção dos explosivos em função do trabalho a realizar.....	53
4.3.1 - Velocidade de detonação.....	54
4.3.2 - Força de um explosivo	54
4.3.3 - Sensibilidade do explosivo	54
4.3.4 - Impedância de um explosivo.....	55
4.4 - Interação explosivo - rocha	55
4.4.1 - Fragmentabilidade das rochas	55
4.4.2 - Principais fórmulas sobre fragmentabilidade actualmente aceites	56
4.5 - Transferência de energia e efeitos produzidos.....	60
4.5.1 - Transferência de Energia.....	60
4.5.2 - Efeitos da detonação.....	60
4.6 - Mecanismos de desmonte de rocha com explosivos	61
4.6.1 - Trituração da rocha	62
4.6.2 - Fracturação radial.	63
4.6.3 - Reflexão da onda de choque.....	63
4.6.4 - Extensão e abertura das fracturas radiais.....	64
4.6.5 - Fracturação por libertação de carga	65
4.6.6 - Fracturação por cisalhamento	65
4.6.7 - Rotura por flexão.	66
4.6.8 - Rotura por colisão.	66
4.7 - Parâmetros típicos de um diagrama de fogo teórico	66
4.7.1 - Determinação da distância à frente - $V_{m\acute{a}x}$	69

4.7.2 - Distância prática à frente (V):	70
4.7.3 - Subfuração (U):	71
4.7.4 - Comprimento do furo:	72
4.7.5 - Espaçamento entre furos (E):.....	72
4.7.6 - Perfuração específica (b):.....	72
4.7.7 - Altura da Carga de Fundo (hb):.....	73
4.7.8 - Carga de Fundo (Qb):	73
4.7.9 - Número de Cartuchos:	73
4.7.10 - Carga de fundo (Qb) (real):	73
4.7.11 - Altura da Carga de fundo (hb) (real):	73
4.7.12 - Tamponamento (h0):	73
4.7.13 -Altura da Carga de Coluna (hc):	73
4.7.14 - Concentração da Carga de Coluna (lc):	73
4.7.15 - Carga de Coluna (Qc):.....	73
4.7.16 - Número de Cartuchos:	74
4.7.17 - Altura da Carga de Coluna (hc) (real):.....	74
4.7.18 - Carga de Coluna (Qc) (real):	74
4.7.19 - Espaçamento entre cartuchos de Carga de Coluna (Δh):	74
4.7.20 - Carga específica (q):	74
4.8 - Parâmetros de um diagrama de fogo teórico da exploração “Bouça do Menino” em Cervães	74
4.9 - Procedimentos de carga dos explosivos	75
<i>Capitulo 5 – Previsão da fragmentação resultante e origens do sobredimensionamento</i>	<i>77</i>
5 - Previsão da fragmentação resultante e origens do sobredimensionamento.....	79
5.1 - Previsão da fragmentação.....	79
5.1.1 - Modelo de Larsson.....	79
5.1.2 - Modelo SVEDEFO (Swedish Detonic Research Foundation)	80
5.2 - Sobredimensionamento no desmonte	80

5.2.1 Designação de “oversize”	81
5.2.2 “Oversize” e tamanho médio dos fragmentos.....	81
5.2.3 Implicações do “oversize”	82
5.2.4 Identificação da origem do “oversize”	82
5.3 Origens do sobredimensionamento no desmonte	83
5.4 Causas geológicas do aparecimento de material “oversize”	84
5.4.1 Grandes blocos criados na periferia da área a desmontar.	84
5.4.2 Grandes blocos criados por conglomerados.....	85
5.4.3 Falhas.....	85
5.4.4 Diques intrusivos e camadas de material.....	85
5.4.5 Juntas e descontinuidades estruturais.....	85
5.5 Causas devidas a práticas de perfuração e parâmetros geométricos do rebentamento.	86
5.6 Causas Humanas	86
5.6.1 Motivação.....	86
5.6.2 Formação e educação	86
5.7 - Modelação com programas informáticos	87
<i>Capítulo 6 – Controlo e avaliação da fragmentação prevista</i>	<i>89</i>
6 - Controlo e avaliação da fragmentação prevista	91
6.1 - Distribuição do tamanho dos fragmentos	91
6.2 - Avaliação da fragmentação.....	92
6.3 - Influência da fragmentação resultante no consumo de energia da operação de britagem	93
<i>Capítulo 7 – Características dos rebentamentos com explosivos estudados</i>	<i>97</i>
7 - Características dos rebentamentos realizados	99
7.1 - Parâmetros utilizados nos diagramas de fogo realizados.....	99
7.2 – Temporização padrão dos rebentamentos	106
7.3 - Rendimento da perfuração dos diferentes rebentamentos.....	107
<i>Capítulo 8 – Análise da fragmentação</i>	<i>109</i>
8 - Análise da fragmentação.....	111

8.1 - Introdução	111
8.2 - Análise da fracturação “in-situ”	112
8.3 - Análise da fragmentação resultante dos diferentes rebentamentos	115
8.4 - Consumo energético de cada rebentamento	121
8.5 - Custos dos rebentamentos	124
8.6 - Comparações dos resultados obtidos	129
8.6.1 - Comparação entre graus de alteração sem mudança na malha	130
8.6.2 - Comparação com a carga específica	130
8.6.3 – Análise estatística dos resultados	131
<i>Capítulo 9 – Conclusões</i>	143
9 – Conclusões	145
<i>Referências bibliográficas</i>	149
- Referências bibliográficas	151

Índice de Anexos (Ver em CD-Rom)

Anexo 1 – Carta geológica de Portugal, Folha 5-C Barcelos
Anexo 2 – Determinação de tensão de rotura por compressão
Anexo 3 – Catálogo dos explosivos utilizados
Anexo 4 – Equipamento de perfuração
Anexo 5 – Determinação da curva granulométrica “in-situ”
Anexo 6 – Curvas granulométricas resultantes das pegas de fogo

Índice de Figuras

Figura 1 - Localização da pedreira “Bouça do Menino”. (Fonte http://www.mota-engil.pt/ (2009))	21
Figura 2 - Fotografia aérea da exploração “Bouça do Menino” (http://earth.google.com/intl/pt/ , 2010)	22
Figura 3 - Localização da área da exploração na Carta geológica de Portugal 5-C	23
Figura 4 - Identificação das bancadas na frente Este	26
Figura 5 - Granito são (bancada interior) e granito amarelo alterado (bancada superior)	27
Figura 6 - Inclinação da perfuração. Fonte (Gomes, Galiza & Vieira, 2000)	37
Figura 7 - Relação altura de bancada / Diâmetro do furo. (Adaptado de Gomes, Galiza & Vieira, 2000).	42
Figura 8 - Relação factor de fragmentabilidade (Kv) / índice ERQD. (Adaptado de Dey, 2003).	57
Figura 9 - Zona de influência de uma coluna de explosivo. (Adaptado de http://www.metsominerals.com.br , 2009)	61
Figura 10 - Zona triturada e zona fracturada do furo. (Adaptado de http://www.metsominerals.com.br , 2009)	62
Figura 11 - Efeitos da onda de choque. (Adaptado de http://www.metsominerals.com.br , 2009)	64
Figura 12 - Expansão dos gases. (Adaptado de http://www.metsominerals.com.br , 2009)	65
Figura 13 - Parâmetros do desmonte em bancada. (Adaptado de Gomes, Galiza & Vieira, 2000)	67
Figura 14 - Figura da distância à frente. (Adaptado de Gomes, Galiza & Vieira, 2000)	70
Figura 15 - Figura da subfuração. (Adaptado de Gomes, Galiza & Vieira, 2000)	71
Figura 16 - Figura do Espaçamento entre furos. (Adaptado de Gomes, Galiza & Vieira, 2000)	72
Figura 17 - Possíveis causas para a formação de pedras enormes, “oversize” (Adaptado de Narendrula & Singh, 2010)	83
Figura 18 - Frente de desmonte típica na produção de agregados. (Adaptado de Narendrula & Singh, 2010)	84
Figura 19 - Imagem tratada digitalmente. (http://www.metsominerals.com.br , 2009)	88
Figura 20 - Exemplo de uma curva de fragmentação. (Adaptado de Ouchterlony, 2003)	91
Figura 21 - Influência do aumento da carga específica na curva de fragmentação. (Adaptado de http://www.metsominerals.com.br , 2009)	92
Figura 22 - Esquema do rebentamento tipo 1 (20-03-2009)	100
Figura 23 - Esquema do rebentamento tipo 2 (28-05-2009)	101
Figura 24 - Esquema do rebentamento tipo 2 (19-08-2009)	102
Figura 25 - Esquema do rebentamento tipo A (24-06-2009)	103

Figura 26 - Esquema do rebentamento tipo A (19-03-2010)	104
Figura 27 - Esquema do rebentamento tipo B (09-09-2009)	105
Figura 28 – Plano de temporização padrão	106
Figura 29 - Equipamento de perfuração Furukawa HCR 1000 EDS.....	107
Figura 30 – “Scanlines” realizadas.....	113
Figura 31– Curva granulométrica do material “in situ”	113
Figura 32 – Curva granulométrica do material resultante do rebentamento realizado em 20-03-2009	115
Figura 33 – Curva granulométrica do material resultante do rebentamento realizado em 28-05-2009	116
Figura 34 - Curva granulométrica do material resultante do rebentamento realizado em 19-08-2009	117
Figura 35 - Curva granulométrica do material resultante do rebentamento realizado em 24-06-2009	118
Figura 36 - Curva granulométrica do material resultante do rebentamento realizado em 19-03-2010	119
Figura 37 - Curva granulométrica do material resultante do rebentamento realizado em 09-09-2009	120
Figura 38 - Curva “in situ” e curvas resultantes	129
Figura 39 – Dados estatísticos - Volume desmontado (m ³).....	132
Figura 40 – Dados estatísticos - Energia combustível (kcal/m ³) e explosivos (kcal/m ³)	133
Figura 41 – Dados estatísticos - carga específica e custo total por m ³ desmontado.....	133
Figura 42 – Dados estatísticos - Custo da fragmentação secundária em €/m ³ desmontado	133
Figura 43 – Carga específica (kg/m ³) versus Área (m ²)	135
Figura 44 – Energia combustível (kcal/m ³) versus Área (m ²)	136
Figura 45 – Energia do explosivo (kcal/m ³) versus Área (m ²).....	137
Figura 46 – Custo total (€/m ³ desmontado) versus Área (m ²).....	138
Figura 47 – Custo da fragmentação secundária (€/m ³ desmontado) versus Área (m ²)	138
Figura 48 – Relação volume desmontado m ³ - energia explosivo/ m ³	139
Figura 49 – Relação custo da fragmentação secundária (€/m ³) – Carga específica (kg/m ³)	139
Figura 50 – Relação custo da fragmentação secundária (€/m ³) – Custo total(€/m ³)	140
Figura 51 – Relação custo da fragmentação secundária (€/m ³) – Energia do explosivo/m ³	140
Figura 52 – Relação custo da fragmentação secundária (€/m ³) – Energia do combustível/m ³	141
Figura 53 - Relação custo da fragmentação secundária (€/m ³) – Volume desmontado	141

Índice de tabelas

Tabela 1 - Força e tensão de rotura média do granito da exploração	24
Tabela 2 - Espaçamento, Parâmetros ISRM (1978, 1981). (Adaptado de Chaminé, 2009)	25
Tabela 3 - Designação comercial dos explosivos civis em Portugal. (Adaptado de Daniel, 2000)...	53
Tabela 4 - Factor de alteração em função da resistência das fracturas (Adaptado de Dey, 2003) .	57
Tabela 5 - Principais fórmulas que consideram a fragmentabilidade. (Adaptado de Dey, 2003). ..	59
Tabela 6 - Características das Emulsões Emulex. (http://sec.no.sapo.pt/ ,2009).....	68
Tabela 7 - Características dos cartuchos Emulex. (http://sec.no.sapo.pt/ ,2009).....	69
Tabela 8 - Factor correctivo devido à inclinação do furo. (Adaptado de Gomes, Galiza & Vieira, 2000)	70
Tabela 9 - Factor correctivo da constante da rocha. (Adaptado de Gomes, Galiza & Vieira, 2000)	70
Tabela 10 - Escolha dos parâmetros para elaboração de uma pega típica da exploração “Bouça do Menino” em Cervães	75
Tabela 11 - Tipos de rebentamentos realizados	99
Tabela 12 - Parâmetros dos rebentamentos realizados	99
Tabela 13 - Parâmetros do rebentamento n.º1 com o plano tipo 1 (20-03-2009).....	100
Tabela 14 - Parâmetros do rebentamento n.º 2 com o plano tipo 2 (28-05-2009)	101
Tabela 15 - Parâmetros do rebentamento n.º 4 com o plano tipo 2 (19-08-2009)	102
Tabela 16 - Parâmetros do rebentamento n.º 3 com plano tipo A (24-06-2009).....	103
Tabela 17 - Parâmetros do rebentamento n.º 6 com plano tipo A (19-03-2010).....	104
Tabela 18 - Parâmetros do rebentamento n.º 5 com plano do tipo B (09-09-2009).....	105
Tabela 19 - Horas de perfuração e martelo realizadas pelo equipamento de perfuração	108
Tabela 20 - Relação entre os diâmetros equivalentes e a percentagem de passados.	114
Tabela 21 - Rebentamento realizado em 20-03-2009, D_{50} (m) e Fracção ≤ 750 mm.....	115
Tabela 22 - Rebentamento realizado em 28-05-2009, D_{50} (m) e Fracção ≤ 750 mm.....	116
Tabela 23 - Rebentamento realizado em 19-08-2009, D_{50} (m) e Fracção ≤ 750 mm.....	117
Tabela 24 - Rebentamento realizado em 24-06-2009, D_{50} (m) e Fracção ≤ 750 mm.....	118
Tabela 25 - Rebentamento realizado em 19-03-2010, D_{50} (m) e Fracção ≤ 750 mm.....	119
Tabela 26 - Rebentamento realizado em 09-09-2009, D_{50} (m) e Fracção ≤ 750 mm.....	120
Tabela 27 - Consumo energético do rebentamento n.º 1 com o plano tipo 1 (20-03-2009)	121
Tabela 28 - Consumo energético do rebentamento n.º 2 com o plano tipo 2 (28-05-2009)	121
Tabela 29 - Consumo energético do rebentamento n.º 4 com o plano tipo 2 (19-08-2009)	122
Tabela 30 - Consumo energético do rebentamento n.º 3 com plano tipo A (24-06-2009)	122
Tabela 31 - Consumo energético do rebentamento n.º 6 com plano tipo A (19-03-2010)	123

Tabela 32 - Consumo energético do rebentamento nº 5 com plano tipo B (09-09-2009)	123
Tabela 33 - Tabela resumo dos consumos dos rebentamentos considerados	124
Tabela 34 - Custo total da perfuração e explosivos por m ³ desmontado do plano tipo 1	124
Tabela 35 - Custo total da perfuração e explosivos por m ³ desmontado do primeiro plano tipo 2	125
Tabela 36 - Custo total da perfuração e explosivos por m ³ desmontado do plano A.....	125
Tabela 37 - Custo total da perfuração e explosivos por m ³ desmontado do segundo plano tipo 2	125
Tabela 38 - Custo total da perfuração e explosivos por m ³ desmontado do plano B.....	125
Tabela 39 - Custo total da perfuração e explosivos por m ³ desmontado do plano A.....	126
Tabela 40 - Custo total da fragmentação secundária do plano tipo 1	126
Tabela 41 - Custo total da fragmentação secundária do primeiro plano tipo 2	126
Tabela 42 - Custo total da fragmentação secundária do primeiro plano A	127
Tabela 43 - Custo total de fragmentação secundária do segundo plano tipo 2	127
Tabela 44 - Custo total da fragmentação secundária do primeiro plano B	127
Tabela 45 - Custo total da fragmentação secundária do primeiro plano A	127
Tabela 46 - Custo total dos rebentamentos por m ³ desmontado	128
Tabela 47 - D ₅₀ e fracção ≤ 750 mm da curva granulométrica “in situ” e dos rebentamentos	129
Tabela 48 - Comparação entre grau de alteração.....	130
Tabela 49 - Comparação da carga específica utilizada.....	131
Tabela 50 - Dados estatísticos básicos	131
Tabela 51 - Matriz de correlação (Pearson)	134
Tabela 52 - Energia gasta em combustível por metro cúbico desmontado	135
Tabela 53 - Energia gasta em explosivos por metro cúbico desmontado	136
Tabela 54 - Custo total (combustível+explosivo) e custo da fragmentação secundária.....	137

Índice de equações

Equação 1 - <i>Blasting Coeficiente</i> (BC).....	33
Equação 2 - Número de fracturas produzidas.....	33
Equação 3 - Factor de fragmentabilidade (C).....	56
Equação 4 - Fragmentabilidade S (Fraenkel 1954).....	57
Equação 5 - Carga total de um furo (Hansen, 1968)	58
Equação 6 - Carga total corrigida Hansen(1968).....	58
Equação 7 - (a) Distância à frente para a Dinamite ($V_{m\acute{a}x}$), (Olofsson, 1990).....	69
Equação 8 - (b) Distância à frente para a Emulsão ($V_{m\acute{a}x}$), (Olofsson, 1990).....	69
Equação 9 - (c) Distância à frente para o Anfo ($V_{m\acute{a}x}$), (Olofsson, 1990).....	69
Equação 10 - Distância à frente - $V_{m\acute{a}x}$	70
Equação 11 - Distância prática à frente (V).....	71
Equação 12 - Factor correctivo relativo aos desvios de furação.....	71
Equação 13 - Factor correctivo relativo aos desvios de furação para um diâmetro conhecido.....	71
Equação 14 - Subfuração.....	71
Equação 15 - Comprimento do furo.....	72
Equação 16 - Espaçamento entre furos	72
Equação 17 - Perfuração específica (b)	72
Equação 18 - Altura da Carga de Fundo (h_b)	73
Equação 19 - Carga de Fundo (Q_b).....	73
Equação 20 - Tamponeamento (h_0).....	73
Equação 21 - Altura da Carga de Coluna (h_c):.....	73
Equação 22 - Carga de Coluna (Q_c)	73
Equação 23 - Carga específica (q).....	74
Equação 24 - Carga específica (q).....	74
Equação 25 - Determinação do K50. Larsson (1973)	79
Equação 26 - Modelo SVEDEFO (Lopez Jimeno <i>et al.</i> , 1995).	80
Equação 27 - Lei de Kick	93
Equação 28 - Lei de Bond	94
Equação 29 - Lei de Charles.....	94
Equação 30 - Rendimento da perfuração (%)	108

Capítulo 1 – Introdução

1 - Introdução

Para o desmonte de rocha em bancada com recurso a explosivos ser eficaz, e para que a granulometria do material resultante seja aceitável para o fim a que se destina, as cargas explosivas devem ser distribuídas no interior do maciço a desmontar segundo uma geometria calculada para o efeito.

A carga específica é definida como o peso de explosivo em quilogramas utilizado para desmontar 1m^3 de rocha.

Para o desmonte em bancada de um certo volume de rocha, são possíveis inúmeras configurações para o diagrama de fogo, variando assim a carga específica para cada situação.

A carga específica depende de vários parâmetros utilizados na pega de fogo, tais como:

- Diâmetro de perfuração utilizado e concentração de carga permitida.
- Área desmontada por furo e relação E/V.
- Tipo de explosivo utilizado.
- Tipo de carregamento utilizado e grau de compactação.
- Distribuição das cargas no furo.

Entende-se por fragmentação de qualidade aquela que, para além de uma curva granulométrica adequada ao objectivo, se apresente com bom deslocamento e forma de espalhamento em relação ao maciço rochoso.

É considerada uma boa fragmentação aquela em que o material resultante do desmonte passa na boca do primário sem provocar encravamentos.

Quando submetido a uma operação de trituração, é considerada uma boa fragmentação aquela em que na pilha de material resultante do rebentamento não aparecem blocos de grande dimensão, habitualmente designados de "oversize" em percentagem superior a 10% do volume desmontado. A existência destes blocos obriga a operações de fragmentação secundária, sejam elas taqueio mecânico ou, em certos casos devido à excessiva dimensão dos mesmos, a uma operação de fragmentação secundária especial, normalmente com furos para colocação de uma carga explosiva no seu interior, o mais próximo possível do centro de gravidade da massa.

Estas operações são dispendiosas porque consomem material, horas de trabalho e desgastam equipamentos que inicialmente não estavam previstos. Devido ao perigo que apresentam as operações fragmentação secundária para os trabalhadores e equipamentos, poderão obrigar à paragem dos trabalhos para detonação desses grandes blocos.

O desmonte de rocha em bancada, com vista à produção de agregados é conseguido através de uma série de operações realizadas de modo sequencial tendo em vista o objectivo de exploração, o qual deverá ser tão rentável e seguro quanto possível.

De uma maneira simples, podemos dizer que depois de um estudo cuidadoso do maciço rochoso, e depois de determinados os parâmetros a aplicar no diagrama de fogo teórico, as operações a realizar seguem a seguinte ordem:

- Marcação dos furos e determinação da profundidade dos mesmos.
- Perfuração da bancada a desmontar.
- Carregamento dos furos com cargas explosivas.
- Rebentamento da bancada.
- Avaliação do resultado do desmonte.
- Carga e transporte do material para o britador primário.
- Operações de fragmentação secundária.
- Avaliação das operações e reformulação dos procedimentos se necessário.

O registo de todos os parâmetros das pegas de fogo realizadas, das condições geomecânicas do maciço rochoso antes e depois do desmonte e do valor económico de todos os consumíveis utilizados permite compreender como evolui a exploração. Com estes registos e a respectiva análise crítica é possível implementar alterações no processo produtivo no sentido de otimizar as operações.

Actualmente existem vários métodos para obter uma avaliação rápida da qualidade geral da fragmentação. São de destacar os meios informáticos que permitem obter uma curva granulométrica muito aproximada para uma rápida avaliação recorrendo apenas a imagens digitais da pilha de material obtida, tanto à superfície como no seu interior, apresentando um resultado médio de todas as fotografias analisadas.

O registo de todas as alterações do diagrama teórico em relação ao efectivamente aplicado na bancada como o posicionamento menos correcto dos furos, os desvios de furação, os furos encravados, a presença de água nos furos e o carregamento dos furos, permite descobrir as causas que mais influenciam a qualidade da fragmentação e/ou estão na origem dos grandes blocos, quando os comparamos com os resultados das pegas.

Mesmo que a implementação de alterações pareça economicamente pouco significativa, uma vez que poderá obrigar a mudanças no normal funcionamento das operações a realizar para obter apenas um ligeiro benefício, este benefício será significativo para os lucros globais quando consideramos a evolução da exploração com o passar do tempo.

Assim, e com base no conhecimento prévio das tradicionais operações de desmonte de rocha com explosivo, este estudo teve como principal objectivo verificar de que forma a modificação da carga específica influencia a qualidade geral da fragmentação obtida no desmonte de rocha granítica. Sendo o desmonte de rocha uma operação complexa e com resultados

dependentes de variáveis controláveis e variáveis incontroláveis, entender a forma como cada uma das variáveis controláveis contribui para alterações significativas no resultado do desmonte, só é possível se o estudo se dedicar apenas a uma das alterações. Este foi o caso de estudo realizado, sendo certo que a variação da carga específica foi obtida apenas pela variação da perfuração específica, modificando a relação espaçamento / distância à frente (E/V).

Para estudar o efeito foram analisadas as operações de desmonte realizadas na exploração “Bouça do Menino”, propriedade da empresa Mota-Engil SA em Cervães, com diferentes configurações da relação E/V, pelo que se optou pela seguinte metodologia:

- Recolha bibliográfica de estudos relacionados com o processo de desmonte de rocha com explosivos.
- Realização de um estudo sobre o enquadramento regional e geológico da exploração.
- Reflexão sobre as principais propriedades do maciço rochoso que influenciam a fragmentação.
- Reflexão sobre o tipo de explosivos existentes e da sua relação com a fragmentabilidade da rocha.
- Cálculo do modelo teórico de um diagrama de fogo.
- Reflexão sobre modelos de previsão da fragmentação resultante do desmonte de rocha com explosivos.
- Realização de um levantamento da fracturação natural do maciço na bancada central na frente da exploração considerada para este estudo.
- Tratamento dos dados da fracturação natural para elaboração da curva do material “in situ”.
- Acompanhamento das operações de perfuração em cada uma das pegadas registando o tempo de perfuração e o tempo de utilização do martelo no equipamento de perfuração, bem como aspectos relevantes como furos encravados e posicionamento do emboquilhamento.
- Acompanhamento das operações de carregamento de explosivos e desmonte das pegadas de fogo consideradas para este estudo, registando todos os dados necessários e aspectos relevantes como furos parcialmente ou mesmo não carregados.
- Registo do aspecto das pilhas resultantes depois de detonadas as bancadas com recurso a fotografias digitais, na qual deverá aparecer obrigatoriamente um objecto escala de dimensões conhecidas, tiradas à superfície e no interior do material desmontado.
- Tratamento das fotografias digitais obtidas nas pilhas usando a ferramenta informática Wipfrag 2.4 para obtenção das curvas granulométricas do material resultante em cada pega de fogo específica.

- Compilação de todos os dados recolhidos e tratamento estatístico dos resultados.
- Comparações e conclusões finais.

Capítulo 2 – Descrição da exploração em estudo

2 - Descrição da exploração em estudo

Os dados utilizados para a elaboração deste trabalho de projecto foram recolhidos na pedreira “Bouça do Menino”, pertencente à empresa Mota-Engil, SA. (<http://www.mota-engil.pt/>).

2.1 - Estado actual da pedreira “Bouça do Menino”

Esta pedreira encontra-se licenciada tendo sido a exploração objecto de Estudo de Impacto Ambiental apresentado à entidade licenciadora em Novembro de 1993. A área total de terreno propriedade da Mota-Engil é de 25,5 ha.

Os anexos afectos à pedreira são a instalação de britagem, o posto de transformação, o escritório, o laboratório, o armazém, o posto de abastecimento de combustíveis, a oficina de manutenção, o vestiário / balneário, a báscula para pesagem de camiões, o lavador de rodas, a ETAR separadora de hidrocarbonetos e a fossa séptica.

2.1.1 - Localização

A pedreira “Bouça do Menino” localiza-se na freguesia de Cervães, concelho de Vila Verde, distrito de Braga e dista 15 km de Barcelos, 15 km de Vila Verde e 18 km de Braga (figura 1).

O acesso à pedreira pode fazer-se a partir da Estrada Regional 205 (Vila Verde - Barcelos), à qual se acede em Prado, vindo de Braga. No sentido de Barcelos seguindo pela ER 205, na povoação de Cruto, toma-se a direcção de Cervães pela EM 541. Cerca de 800 m depois de passar a povoação de Cervães encontra-se o acesso à exploração (figura 2.).



Figura 1 - Localização da pedreira “Bouça do Menino”. (Fonte <http://www.mota-engil.pt/> (2009))

A figura 2 apresenta a fotografia aérea da exploração “Bouça do Menino”, onde estão delineados a vermelhos os limites da mesma. Na área à esquerda localizam-se o acesso à exploração, as instalações de britagem e anexos afectos à pedreira, na área central encontram-se as bancadas em exploração e na área à direita localizam-se os depósitos de terra vegetal para posterior recuperação paisagística do local.



Figura 2 - Fotografia aérea da exploração “Bouça do Menino” (<http://earth.google.com/intl/pt/>, 2010)

A pedreira encontra-se bem localizada e com bons acessos permitindo o fornecimento de agregados à região litoral do Minho, condição essencial para o sucesso deste tipo de indústria.

As principais ligações rodoviárias da pedreira “Bouça do Menino” com o exterior são asseguradas pela EM 541 e EN 205. Globalmente, estas vias garantem, face às distâncias dos principais pólos regionais, uma acessibilidade boa. (<http://www.mota-engil.pt/>).

2.1.2 - Caracterização da exploração

A pedreira “Bouça do Menino” foi adquirida pela Mota-Engil, SA em 1992 e já laborava com uma pequena instalação de britagem. Nessa altura as bancadas não estavam definidas pelo que houve necessidade de alterar o sentido e o tipo de desmonte de forma ajustada às características do maciço.

A remodelação da instalação de britagem e a montagem de uma unidade para o fabrico de areia dotou este centro de produção de uma grande versatilidade no que respeita ao tipo de agregados produzidos bem como de elevada capacidade de produção.

A pedreira, segundo o Ministério da Economia (<http://www.min-economia.pt/> (2009)),

está classificada como pedreira do tipo 2, funciona com 18 empregados e a sua produção está na ordem das 600.000 t/ano.

2.2 - Enquadramento geológico

2.2.1 - Cartografia regional

A área da exploração encontra-se localizada na carta geológica de Portugal 5-C referente a Barcelos (a carta completa, bem como a legenda da mesma constam do anexo 2).

A área onde se encontra implantada a exploração na carta geológica de Portugal está indicada a vermelho na figura 3.

A área abrangida pela pedreira “Bouça do Menino” situa-se num ponto de elevação denominado Serra da Gatanha ou de Busto, num festo que separa duas ribeiras afluentes do rio Cávado. Insere-se numa unidade de formações geológicas que correspondem aos afloramentos graníticos das montanhas do Noroeste de Portugal. Estes afloramentos têm uma dimensão importante sendo a rocha granítica largamente explorada em numerosas pedreiras.

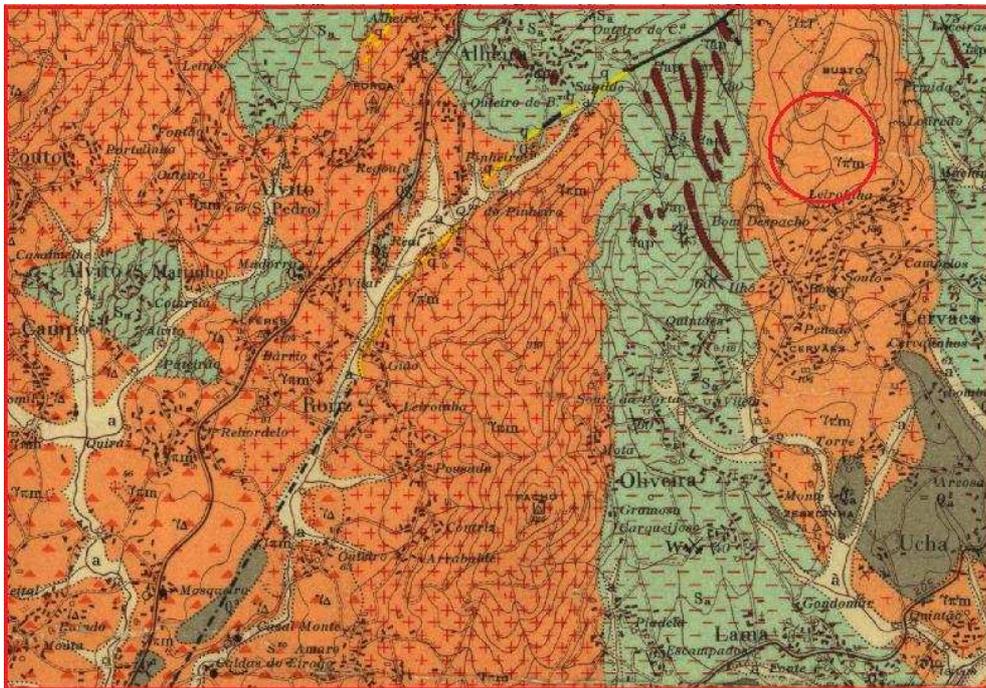


Figura 3 - Localização da área da exploração na Carta geológica de Portugal 5-C .

Não existe qualquer referência a monumentos geológicos na área da pedreira (jazidas fósseis ou outras formações geológicas de elevado valor científico) na bibliografia consultada e no trabalho de campo efectuado.

2.2.2 - Propriedades do maciço rochoso

A área na qual se encontra implementada a exploração é constituída por Granitos Monzoníticos predominantemente Biotíticos, não porfiroides de grão médio (anexo 1).

Embora o maciço granítico seja quase aflorante na zona da exploração, existem no entanto zonas com alguma espessura de solos resultantes da alteração do granito seguidas de granito alterado até uma profundidade que em alguns casos pode atingir os 20 m. Abaixo desta profundidade, o granito apresenta-se geralmente são, com pequenas intercalações de alteração associadas a zonas de fracturação mais intensa e permeável.

A designação W1 (rocha são) e W2 (rocha ligeiramente alterada) provêm da *Weathering Classification* revista por (Dearman, 1976).

As bancadas superiores, bancadas 1 e 2 da exploração, são constituídas por granito amarelo ligeiramente alterado (W2) onde é muito evidente a fracturação natural presente. A bancada 3, é constituída por granito “são” (W1) e em partes por granito ligeiramente alterado (W2). As bancadas seguintes em profundidade são constituídas por granito “são” (W1), e a presença das fracturas naturais é menos evidente.

As orientações das fracturas relativamente à frente livre apresentam-se sempre paralelas ou perpendiculares em relação às pegas de fogo consideradas, já que foi esta a orientação escolhida para o desenvolvimento da exploração.

As inclinações das fracturas relativamente à frente livre apresentam-se como sendo sub verticais (N78E e N169E) e horizontais.

O maciço rochoso apresenta grau de fracturação ou espaçamento (F2), estando as fracturas em média afastadas entre 60 a 200 cm (tabela 2).

A tensão de rotura média do granito é de 95,15 Mpa segundo o ensaio de determinação da tensão de rotura por compressão (ver anexo 2).

Tabela 1 - Força e tensão de rotura média do granito da exploração

Força de rotura (Mpa)	Força de rotura média (Mpa)	Tensão de rotura (Mpa)	Tensão de rotura média (Mpa)
1049,6	794,35	124,6	95,15
811,7		98,6	
984,0		117,9	
332,1		39,5	

A classificação do ISRM (1978, 1981) foi adoptada como referência para a classificação do espaçamento.

Na tabela 2 estão indicados os intervalos considerados para classificar o espaçamento entre as fracturas no maciço estudado.

Tabela 2 - Espaçamento, Parâmetros ISRM (1978, 1981). (Adaptado de Chaminé, 2009)

Intervalos (cm)	Símbolos		Designações	
> 200	F 1	F 1-2	muito afastadas	afastadas
60 - 200	F 2		afastadas	
20 - 60	F 3	F 3	medianamente afastadas	medianamente afastadas
Jun-20	F 4	F 4-5	próximas	próximas
< 6	F 5		muito próximas	

2.3- Descrição do funcionamento da pedreira

2.3.1 - Método de lavra

Como preparação para o desmonte, nas bancadas à superfície é necessário remover a cobertura de terra vegetal e solos resultantes da alteração do granito, de forma a expor o maciço a explorar.

A limpeza dos solos é realizada de modo faseado e de acordo com a sequência e ritmo do desmonte. As terras provenientes desta operação são carregadas e transportadas para um depósito temporário, para posterior utilização no processo da recuperação paisagística.

O método de lavra adoptado na exploração consiste no desmonte a céu aberto, com recurso a perfuração e explosivos. O desmonte é executado por degraus direitos de cima para baixo, com altura próxima dos 15 m e largura de modo a garantir a segurança dos equipamentos de carga e transporte. Os acessos às plataformas são executados na periferia dos degraus, por rampas de inclinação próxima dos 10 %.

Depois de efectuado o desmonte com os explosivos o material é carregado e transportado até ao britador primário.

Havendo espaço para manobras em segurança a carga para os *dumpers* é efectuada com uma pá carregadora de rodas. Quando o acesso ao material é difícil, por exiguidade da plataforma, é utilizada uma máquina escavadora com giratória para realizar a carga.

O material é carregado e transportado pelos *dumpers* para a instalação de britagem e armazenamento. Na instalação de britagem processa-se o material através de sucessivos estágios de fragmentação e classificação, sendo produzidas as diferentes granulometrias pretendidas.

Os materiais britados e classificados são armazenados em pilhas, separados por granulometria e tipo de produto. Nesta secção é ainda efectuada a lavagem de agregados. A expedição para os locais de consumo é realizada por camião.

2.3.2 - Orientação do desmonte

Os desmontes são normalmente realizados na direcção Este, embora por motivos de alargamento da exploração e para se retirar a cobertura de material alterado, de forma a chegar ao granito são, também possa orientar-se para Sul e para Norte.

A figura 4 apresenta a configuração das bancadas na direcção Este e a designação adoptada, encontrando-se cada bancada delimitada a vermelho para melhor compreensão.



Figura 4 - Identificação das bancadas na frente Este

2.3.3 - Número de bancadas

As bancadas em exploração na direcção Este são 5, sendo a bancada à superfície designada por bancada 1 aquela onde se encontra o material menos são (granito amarelo W2).

Na bancada 1 e 2 são explorados materiais de menor qualidade.

A separação dos graus de alteração é evidente na bancada 3 constituída por granito alternando entre azul e algum amarelo. A qualidade e características do material melhoram em profundidade.

O material das bancadas inferiores, por ter melhores características, fracturação e grau de alteração menos evidente e superior resistência à compressão, é considerado de maior qualidade e destina-se a na sua maioria à produção de agregados para obras específicas, sendo o seu valor comercial mais elevado.

A figura 5 pretende demonstrar as principais diferenças entre o tipo de granito explorado em bancadas à superfície e inferiores. O granito à superfície tem uma coloração amarelada, apresenta fracturação natural mais evidente e possui resistência à compressão mais baixa.



Figura 5 - Granito são (bancada interior) e granito amarelo alterado (bancada superior)

Capítulo 3 – Propriedades do maciço que influenciam a operação de desmonte

3 - Propriedades do maciço rochosos que influenciam a operação de desmonte com explosivos

Os materiais que constituem os maciços rochosos possuem certas características físicas, nomeadamente a sua matriz rochosa, a porosidade presente e as descontinuidades resultantes dos movimentos tectónicos e das tensões de campo, que são função da sua origem e dos processos geológicos que sobre eles actuaram. A influência destes processos sobre os maciços dá origem a uma litologia particular. A heterogeneidade do maciço é devida à diferente disseminação dos minerais policristalinos que constituem a matriz rochosa e também devida às descontinuidades naturais das rochas tais como falhas e fissuração.

O maciço considerado para a operação de desmonte, sendo uma estrutura geológica é afectado por um estado de tensão característico, que origina a formação de um grande número de descontinuidades estruturais tais como planos de estratificação, diaclasamento, fracturas, juntas, entre outras.

Segundo (Dey, 2003), várias classificações geotécnicas foram criadas para caracterizar o maciço rochoso em função das suas características sendo de destacar a Rock Quality Designacion - RQD (Deere *et al*, 1963), Q-Index NGIQ (Barton *et al*, 1974), Rock Mass Rating RMR (Bieniawski *et al*, 1974).

No contexto da perfuração e detonação estas classificações do maciço rochoso são principalmente úteis para avaliar a perfurabilidade, mas não são muito utilizadas na definição da aptidão da rocha ou maciço rochoso a ser desmontado, ou seja, na definição da fragmentabilidade.

As características principais a considerar quando se pretende adaptar o diagrama de fogo ao maciço são a existência de xistosidade e superfícies de descontinuidade e a posição destas relativamente à frente de desmonte, a orientação e importância das falhas que o atravessam, a cristalinidade dos seus componentes, a sua dureza média e expansibilidade.

A influência destes factores sobre os efeitos da pega de fogo e sobretudo sobre o consumo de explosivo, deve ser determinada experimentalmente e ajustada em função dos resultados obtidos.

No cálculo da pega de fogo é usual utilizar-se um factor médio do valor da carga específica a utilizar obtido a partir de relações empíricas e de dados experimentais em formações semelhantes.

3.1 - Propriedades das rochas que constituem o maciço

As características das rochas constituintes do maciço rochoso a desmontar deverão ser consideradas na elaboração do diagrama de fogo. Algumas características influenciam directamente a qualidade dos resultados obtidos e por isso deverá haver um bom conhecimento acerca delas. Para melhor compreensão serão descritas as características mais condicionantes para a operação.

O ajuste dos parâmetros do diagrama de fogo às características das rochas contribui para a optimização da operação de desmonte.

3.1.1 - Densidade

Normalmente as rochas apresentam uma boa correlação entre a densidade e a respectiva resistência. No geral, as rochas de baixa densidade deformam-se e rompem com maior facilidade sendo necessário um factor energético relativamente baixo para provocar a sua fragmentação.

Pelo contrário se a rocha tem maior densidade é necessário aplicar um factor energético maior para provocar uma fragmentação satisfatória. Este maior factor energético também é necessário para promover um bom afastamento da frente bem como um bom factor de empolamento do material (ITGE, 1994).

Considerando as rochas de alta densidade, e para que o impulso transmitido ao maciço por acção dos gases seja o adequado devem tomar-se as seguintes medidas (ITGE, 1994):

- Aumentar o diâmetro de perfuração, o que permite que a pressão dos gases produzidos no interior do furo aumente.
- Reduzir a malha de perfuração, mantendo os outros parâmetros da pega inalterados.
- Verificar a eficiência do tamponamento utilizado e se necessário utilizar outro material mais adequado como a brita calibrada 6/14, de forma a manter os gases dentro do furo por mais tempo, forçando-os a sair pela frente livre e não pela boca do furo.
- Utilizar explosivos mais energéticos.

3.1.2 - Resistências dinâmicas das rochas

Para determinar a aptidão das rochas ao desmonte com explosivos utilizam-se como parâmetros indicativos as resistências estáticas à compressão e à tracção. Com base no trabalho de Dey (2003), partindo destes parâmetros é possível definir o índice de fragmentabilidade (Hino, 1959).

Este autor propôs que a fragmentabilidade (*blastability*) designada por *Blasting Coeficiente* (BC) como sendo a relação entre a resistência à compressão (CS) e a resistência à tracção (TS) do maciço rochoso (Equação 1).

$$BC = \frac{CS}{TS}$$

Equação 1 - *Blasting Coeficiente* (BC)

Desta relação conclui-se que quanto maior o valor obtido, mais fácil será a fragmentação do material, uma vez que a fragilidade da rocha aumenta com o aumento daquele valor.

No caso da detonação se realizar na presença de uma face livre, as ondas de compressão avançam do furo para a face livre e são reflectidas na forma de ondas de tracção.

Quando as ondas de tracção ultrapassam a resistência à tracção da rocha criam-se novas fracturas, e o processo continua até a intensidade induzida pela onda de compressão se tornar demasiado fraca. A extensão das fracturas devidas à onda de tracção e o número de fracturas produzidas é dependente da resistência à tracção da rocha (σ_t), da amplitude (σ_a) e do comprimento (L) da onda compressiva.

O número de fracturas produzido devido a ondas de tracção reflectidas pode ser representado por (Hino, 1959):

$$n \leq \sigma_a / \sigma_t \quad \text{ou} \quad n \leq L / 2t$$

Equação 2 - Número de fracturas produzidas

Sendo: n = Número de fracturas produzidas

σ_a = Amplitude das ondas de compressão

σ_t = Resistência à tracção da rocha

L = Comprimento da onda compressiva

t = Tempo decorrido

Aquele autor também constatou que existe uma relação linear entre a resistência à compressão da rocha (σ_c) e a amplitude das ondas de compressão (σ_a) propagadas através da rocha o que implica que $\sigma_a = \sigma_c$ e, por conseguinte, $n = \sigma_c / \sigma_t$. Hino designou $(\sigma_c) / (\sigma_t)$, como sendo o coeficiente de fragmentabilidade.

Partindo do trabalho de Dey (2003), na abordagem a situações e problemas reais deverão ser consideradas as resistências, já que estas aumentam com o índice de carga segundo Rinehart (1958) e Person *et al* (1970), podendo chegar a valores 5 a 13 vezes superiores às resistências estáticas.

3.1.3 - Porosidade

Ao analisar a rocha de forma a determinar a porosidade presente há que ter em conta que existem dois tipos de porosidade. Um primeiro tipo refere-se à porosidade intergranular associada aos fenómenos envolvidos na sua formação e um segundo tipo referente a porosidade de dissolução ou de “post-formação”.

A porosidade intergranular apresenta uma distribuição no maciço rochoso que pode ser considerada uniforme e provoca dois efeitos, a atenuação da onda de choque e a diminuição da resistência dinâmica à compressão, que influenciam a adequação do diagrama de fogo teórico e a qualidade da operação de desmonte.

A energia da onda de choque é atenuada devido à não continuidade dentro de um meio sólido, a rocha, por atravessamento desta pelos poros, um meio gasoso.

A resistência dinâmica à compressão da rocha diminui devido à presença uniformemente disseminada dos poros, o que leva a um aumento da percentagem de material que é triturado com o rebentamento do explosivo e, conseqüentemente ao aumentando da percentagem de finos produzida (ITGE, 1994).

A porosidade de dissolução ou de “post-formação” tem a sua origem na dissolução de material por circulação de águas subterrâneas no interior do maciço que causam o aparecimento de cavidades. Este fenómeno é designado por carsificação e está mais associado com maciços calcários. Nas rochas de origem vulcânica também é frequente a presença de espaços ociosos que se formam durante a consolidação do magma que lhe deu origem.

Quando as cavidades presentes são atravessadas pelos furos a realizar na pega a qualidade da operação de desmonte é prejudicada, seja pelos problemas criados para a operação de perfuração ou, no caso da utilização de explosivos a granel ou bombeados, pela possibilidade de se verificarem situações pontuais de aumento de densidade de carga (kg/m) que podem originar problemas de sobre-escavação e situações perigosas como projecções (Gomes, Galiza & Vieira, 2000).

Quando as cavidades presentes não são intersectadas pelos furos a realizar na pega a qualidade da operação de desmonte diminui pela paragem prematura das fissuras em redor do furo por intersecção dos espaços ociosos, e a paragem do efeito de alargamento das fissuras

provocado pela presença dos gases que sofrem um decréscimo de pressão quando se escapam para os espaços vazios (Gomes, Galiza & Vieira, 2000).

3.2 - Propriedades do maciço rochoso e influência no desmonte com explosivos

3.2.1 - Fracturação natural do maciço rochoso

O conhecimento da atitude e continuidade das fracturas naturais e o espaçamento das diferentes famílias de fracturas, condiciona o sentido dos rebentamentos numa orientação favorável para a fase de perfuração e desmonte da pedra que quando correctamente orientado conduz a uma melhor fragmentação.

O diaclasamento natural do maciço rochoso terá mais ou menos influência nos calibres do material desmontado. Será de esperar que os calibres sejam menores quando a atitude do diaclasamento relativamente à frente livre é desfavorável, ou seja, quando as fracturas naturais têm uma inclinação que não permite o deslizamento de blocos no sentido da frente livre.

O desmonte faz-se mais facilmente quando a atitude do diaclasamento em relação à frente livre é favorável, beneficiando o deslizamento de blocos, maximizando o poder fragmentador dos explosivos mas dificultando a fragmentação, já que os blocos que deslizam separam-se pelas fracturas naturais. Quando o maciço rochoso se apresenta muito fracturado, muita da energia libertada pelo explosivo, especialmente a transmitida pelos gases, é perdida através das fracturas não provocando a fragmentação desejada já que esta será muito condicionada pela rede de fracturas.

O aumento da carga específica raramente resolve este problema, visto que o aumento desta poderá provocar projecções significativas.

O uso de furação de menor diâmetro, com conseqüente mudança do diagrama de fogo e menor área desmontada por furo, assegura uma melhor distribuição do explosivo no maciço rochoso, o que vai contribuir para uma melhoria da fragmentação.

3.2.2 - Carga específica

A carga específica (q) é definida como sendo a carga de explosivo, em quilograma, utilizada por metro cúbico de material desmontado.

O aumento da carga específica conduz a uma maior fragmentação. No entanto, um maior perigo de projecções e um maior espalhamento do material após o desmonte devem ser considerados.

O aumento da carga específica deve ser conseguido à custa do aumento da carga de coluna, já que a carga de fundo calculada é suficiente para realizar o trabalho de corte pretendido na soleira.

A carga específica calculada de forma teórica deverá ser ajustada face aos resultados obtidos nos rebentamentos em relação aos resultados esperados.

Neste trabalho o aumento da carga específica é conseguido por alteração da área desmontada por cada furo. Uma malha mais apertada, mantendo os restantes parâmetros inalterados, provoca o aumento da carga utilizada em quilos por metro cúbico desmontado.

3.2.3 - Variação da relação Espaçamento/Distância à frente (E/V)

Nos diagramas de fogo típicos é habitual uma relação $E/V = 1,25$, com bons resultados relativamente à fragmentação em pegas com rebentamento de fiadas múltiplas.

Contudo, segundo Gomes, Galiza & Vieira (2000), uma melhoria de fragmentação, se desejada, poderá ser obtida fazendo variar esta relação até $E/V = 8$, isto sem que a carga específica se altere, portanto, mantendo-se constante o produto $E \times V$. Se pelo contrário, quando se pretende uma fragmentação graúda, com uma grande percentagem de blocos com grandes dimensões destinados, por exemplo, a enrocamento em obras marítimas, a mesma relação deverá variar tornando-se mesmo menor do que 1, atingindo muitas vezes 0,5.

3.2.4 - Perfuração específica

A escolha do diâmetro do furo é a primeira fase de elaboração de um diagrama de fogo.

Geralmente, o custo de perfuração com grandes diâmetros é mais baixo por dm^3 de vazio criado do que nos pequenos diâmetros. Os explosivos utilizados nos grandes diâmetros são também de mais baixo custo que os utilizados nos furos de pequeno diâmetro.

Quanto maior o diâmetro, menor será a perfuração específica para uma mesma carga específica.

Destas considerações é fácil concluir que o uso de maiores diâmetros conduz a custos mais baixos de desmonte, se o volume a desmontar diariamente exigir um bom coeficiente de utilização do equipamento de perfuração capaz de permitir a realização desses furos de grande diâmetro.

No entanto esta economia poderá ser prejudicada, se a existência de calibres maiores, “oversize”, obrigarem a uma operação mais volumosa de fragmentação secundária ou mesmo de rebentamento secundário com custos muito altos e dificilmente controláveis.

3.2.5 - Inclinação dos furos

A perfuração inclinada, aproximadamente 1:3 reduz a quebra à retaguarda e também a possibilidade de blocos de grandes dimensões originários da cabeça da bancada.

A interacção entre furos devido à inclinação está ilustrada na figura 6.

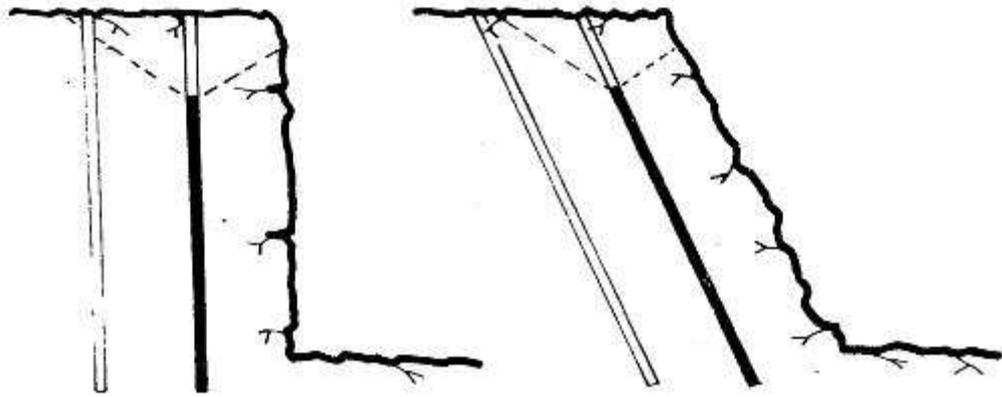


Figura 6 - Inclinação da perfuração. Fonte (Gomes, Galiza & Vieira, 2000)

3.2.6 - Número de fiadas

O número de fiadas de uma pega de fogo tem influência na distribuição dos tamanhos dos fragmentos produzidos. Se considerarmos que na primeira fiada há maior tendência ao aparecimento de grandes fragmentos, a utilização de várias fiadas poderá melhorar a qualidade da fragmentação geral obtida por diminuição deste efeito. A projecção da segunda fiada, quando o tempo de retardo é adequado, leva a que esta choque com o material da primeira promovendo assim ainda mais a fragmentação do material, este assunto é tratado de forma mais desenvolvida no subcapítulo 4.6.

Devido a efeitos de confinamento e atrito na superfície de corte o número de fiadas deverá ter um comprimento que não ultrapasse metade do comprimento da frente livre.

3.2.7 - Sequência de iniciação

É a sequência com que se dão os disparos em cada furo, controlada pela temporização dos detonadores.

A sequência ideal deverá ser calculada de forma teórica e por comparação entre os resultados obtidos em pegas semelhantes.

Se o intervalo de tempos for muito curto, não dará tempo de deslocamento à primeira fiada fazendo com que a segunda fiada se projecte na vertical.

Se o intervalo de tempos for mais longo, poderá dar lugar a projecções.

No caso de se detonarem mais do que um furo no mesmo tempo deverá ser considerada a carga cooperante e os efeitos produzidos, especialmente às vibrações impostas ao maciço.

3.3 - Operação de perfuração

Segundo Gomes, Galiza & Vieira (2000) existem diversas formas de perfurar a rocha, sendo que em pedreiras de granito para produção de agregados apenas é considerada a perfuração mecânica. A qualidade da perfuração tem um papel fundamental uma vez que é a primeira das operações que tem influência directa na adequação do diagrama teórico ao diagrama real tendo em conta o objectivo de toda a operação de redução de tamanho.

Para a perfuração são tidos em conta os principais componentes e parâmetros deste sistema, tal como se descrevem, em seguida:

- A própria perfuradora como sendo a fonte da energia mecânica;
- Os acessórios de perfuração (peças em aço) que funcionam como meio de transmissão da energia entre a perfuradora e o "bit", (varas, uniões e encabadouros);
- O próprio "bit" como sendo a ferramenta que aplica a energia mecânica transmitida pelos acessórios sobre a rocha.
- O fluido de limpeza utilizado que permite a evacuação das partículas de rocha desagregada até à superfície para o exterior do furo, seja este ar, água ou outro.

A perfuração aplicada ao desmonte em bancada consiste na realização de furos segundo uma malha predefinida de forma a distribuir as cargas de explosivo no interior do maciço que se pretende desmontar. A geometria e localização da perfuração foram previamente calculadas e adequadas ao diagrama teórico, tendo em conta a fragmentação pretendida para a operação.

A perfurabilidade de uma rocha (maior ou menor facilidade em executar a perfuração) está dependente de vários factores, mas o que mais a condiciona é a natureza da rocha e o tamanho dos grãos dos minerais nela contidos. Sendo assim, se a matriz da rocha é constituída por grãos de quartzo fino, a perfurabilidade é menor do que aquela que é constituída por grãos mais grosseiros. A perfurabilidade de uma rocha pode ser associada à resistência à compressão da mesma.

Outro factor que condiciona a perfuração é a estrutura do próprio maciço, pois há que ter em conta a presença de falhas, a sua atitude, a presença de água, entre outros.

Durante a operação de perfuração o processo de fragmentação acontece quando a pressão exercida no ponto de contacto da ferramenta de corte com a superfície da rocha é de grande intensidade, instalando um estado de tensão em redor desse ponto.

Dependendo do material a perfurar, quando a ferramenta entra em contacto com a rocha o tamanho dos fragmentos produzidos é variável, sendo que, quanto maiores os fragmentos libertados maior será o rendimento do processo e menor será o consumo de energia. A qualidade da perfuração e o desgaste induzido no equipamento de perfuração e acessórios estão dependentes da experiência do operador e do seu conhecimento e compreensão dos fenómenos envolvidos que influenciam a operação, tais como o posicionamento do equipamento para correcto emboquilhamento, atravessamento de diaclasamento e falhas, entre outros, e da sua capacidade de contrariá-los.

3.4 -Propriedades da rocha que afectam a perfuração

3.4.1 - Dureza

Na ciência dos materiais a dureza é a propriedade característica de um material sólido, que expressa a sua resistência a deformações permanentes e está directamente ligado a força de ligação dos átomos. Entende-se por dureza a resistência que uma superfície oferece à penetração por outro corpo de dureza superior, como na popular escala de Mohs para os minerais.

Nas rochas a dureza depende da composição mineralógica, do tamanho dos grãos constituintes, da porosidade existente, do grau de humidade, entre outros.

Quando se pretende perfurar um maciço para a operação de desmonte a dureza da rocha é o principal parâmetro a vencer.

3.4.2 - Elasticidade

A elasticidade exprime o comportamento de um corpo sólido, que se deforma ao ser submetido a uma acção externa e retoma a sua forma original quando essa acção externa é retirada.

A maioria dos minerais constituintes das rochas são afectados por um momento de elasticidade e são destruídos quando a pressão exercida excede este limite.

Dependendo do material e da temperatura, as tensões aplicadas são proporcionais às deformações produzidas. As propriedades elásticas das rochas são caracterizadas pelo módulo de elasticidade “E” e pelo coeficiente de Poisson “v”. O chamado módulo de elasticidade ou módulo

de Young é a relação entre o esforço aplicado e a deformação produzida no sentido desse esforço. Quanto maior esse módulo, maior a tensão necessária para o mesmo grau de deformação, e portanto mais rígido é o material. A relação linear entre essas grandezas é conhecida como lei de Hooke. O coeficiente de Poisson é a relação entre deformação transversal e a deformação axial.

Algumas características da rocha como a textura, a porosidade presente e a existência de xistosidade influenciam o módulo de elasticidade. A porosidade também influencia directamente a elasticidade da rocha havendo uma proporcionalidade entre estas duas características, ou seja, uma rocha mais porosa é mais elástica.

3.4.3 - Plasticidade

A deformação plástica acontece quando a tensão deixa de ser proporcional à deformação ocorrendo assim uma deformação não recuperável e permanente.

Para além de sofrerem uma deformação elástica algumas rochas apresentam deformações plásticas antes de ocorrer a sua destruição.

A composição mineralógica da rocha influencia a sua plasticidade. Quando estão presentes em grandes quantidades minerais como o quartzo, feldspato ou outros minerais duros a plasticidade da rocha diminui.

3.4.4 - Abrasividade

A abrasividade é a capacidade característica das rochas para desgastarem a superfície de contacto de um corpo mais duro quando este se movimenta. O conhecimento da abrasividade da rocha a perfurar serve como elemento condicionante para a previsão do afiamento das ferramentas de corte (bit).

A capacidade abrasiva das rochas é influenciada pelos seguintes factores:

- A forma dos grãos que constituem a rocha, sendo que os grãos redondos são menos abrasivos. O tamanho com que se apresentam, sendo que quanto mais fino for o grão maior a abrasividade. A dureza dos grãos pois quanto mais duro forem maiores será a abrasividade provocada.
- A heterogeneidade com que se apresenta a composição mineralógica da rocha. Em rochas heterogéneas o grau de abrasividade produzido nas ferramentas de corte pelas rochas é variável.
- A porosidade. Uma rocha mais porosa é menos abrasiva que uma mais densa.

3.4.5 - Textura

Entende-se por textura da rocha o aspecto da sua superfície, o tipo, a forma e tamanho dos grãos, a distribuição destes na matriz rochosa, a cor e a porosidade presente.

A perfuração é influenciada pela textura da rocha. As rochas com grãos lenticulares são mais difíceis de perfurar do que as que apresentam grãos redondos. As rochas porosas e as que apresentam menor densidade são mais facilmente perfuráveis.

3.4.6 - Estrutura

As propriedades estruturais dos maciços rochosos, tais como a xistosidade, planos de estratificação, juntas, diaclases e falhas, bem como a direcção e mergulho destas afectam a linearidade dos furos provocando desvios de furação, afectando também os rendimentos da operação de perfuração e a estabilidade da parede dos furos.

3.5 - Parâmetros do diagrama de fogo que influenciam a perfuração

3.5.1 - Altura da bancada (H)

A altura de bancada escolhida para um certo maciço rochoso tem uma grande influência na qualidade pretendida para o resultado das pegas de fogo, especialmente se considerarmos a rigidez do paralelepípedo de rocha situado na frente dos furos. A relação entre a altura da bancada (H) e a distância à frente (B) condiciona os resultados da pega, sendo que, segundo Ash (1977), quando esta relação é grande, o deslocamento e deformação da rocha é fácil em especial no centro da bancada. A relação óptima situa-se em valores de $H/B \geq 3$.

Sendo a relação $H/B=1$, a fragmentação obtida será grosseira e verificam-se problemas tais como sobre-escavação e aparecimento de irregularidades que prejudicam as operações de desmonte seguintes. Para uma relação $H/B=2$ estes problemas são minorados e desaparecem para relações de $H/B \geq 3$.

Quando a altura de bancada é pequena, qualquer variação na malha dos furos tem grande influência na qualidade final das pegas.

Quando se aumenta a altura de bancada mantendo a distância à frente, o espaçamento pode ser aumentado até um valor condicionado pelo próprio maciço e suas características sem que haja alteração na qualidade da fragmentação.

3.5.2 - Diâmetro do furo

O ábaco da figura 7 representa, em termos correntes, os diâmetros usualmente utilizados para diferentes alturas de bancada.

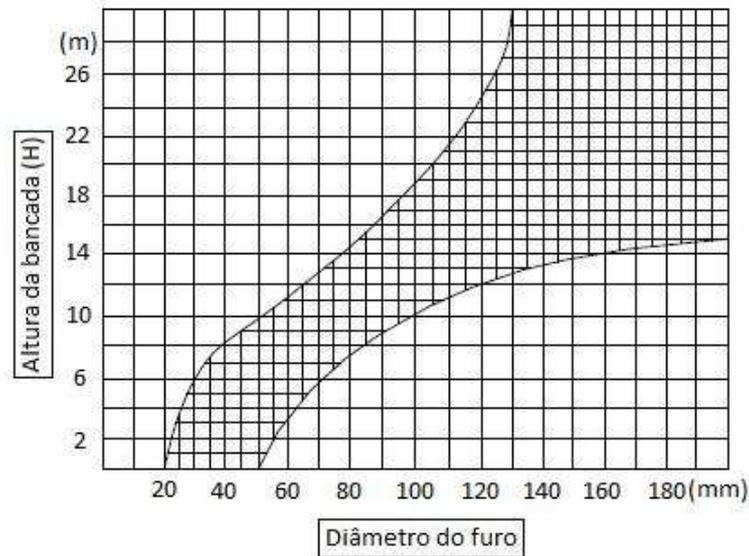


Figura 7 - Relação altura de bancada / Diâmetro do furo. (Adaptado de Gomes, Galiza & Vieira, 2000).

Segundo o ábaco da figura 7, para uma mesma altura de bancada existem diferentes diâmetros possíveis. Deverão ser considerados valores de diâmetro mais à esquerda para desmonte de material mais competente e valores de diâmetro mais à direita para material brando.

A perfuração é uma operação de elevados custos que afecta o custo total do desmonte, pelo que é vantajoso que os furos tenham o maior diâmetro possível o que possibilita realizar o desmonte de grandes volumes de rocha por furo realizado.

Embora esta perfuração seja a mais económica, existem diversos factores que condicionam e restringem a utilização destes grandes diâmetros. Podemos considerar como factores mais condicionantes na limitação do diâmetro utilizado a qualidade das superfícies resultantes, considerando que devido ao aumento do diâmetro há um conseqüente aumento do espaçamento entre furos que leva a superfícies irregulares pela presença de fracturas, os níveis de vibração impostos ao maciço por aumento da concentração de carga (kg/m), a fragmentação que se pretende obter geralmente com maiores calibres o que obriga a considerar a capacidade da pá do equipamento de remoção utilizado.

Como orientação para a escolha do diâmetro a utilizar é necessário considerar certos parâmetros como a produção pretendida, a altura prevista para as bancadas na exploração, a

qualidade da fragmentação pretendida, a estrutura geológica do maciço a desmontar e a dureza associada às rochas que o constituem, o tipo de explosivo a utilizar na operação e a existência de restrições ambientais no local da exploração.

Quando o diâmetro de perfuração é pequeno há um conseqüente aumento do custo total da operação, considerando os custos de perfuração, de explosivos e de acessórios de iniciação utilizados, além do seu carregamento demorar mais tempo e ser preciso utilizar mais mão-de-obra.

A principal vantagem da utilização de diâmetros pequenos é a melhor distribuição do explosivo dentro da rocha, o que, para o mesmo consumo específico melhora a fragmentação.

Quando se utilizam grandes diâmetros a fragmentação produzida pode ser inaceitável para o objectivo da operação. É normal aparecerem blocos de maior dimensão na pilha de material desmontado, "oversize", que não são admitidos na boca do britador primário. A área desmontada por furo aumenta com o aumento do diâmetro. Se o espaçamento utilizado é maior do que o espaçamento das famílias das descontinuidades, quando este é amplo, alguns dos blocos unitários não são intersectados pela furação. Estes blocos não sofrem directamente os efeitos dos explosivos sendo apenas fragmentados pelo choque entre os fragmentos e pela queda por acção da gravidade quando a bancada se movimenta. Quando esta situação acontece recomenda-se que o espaçamento entre furos seja menor que o espaçamento médio das fracturas do maciço, permitindo assim que um maior número de blocos unitários sejam atravessados pelo menos por um furo.

O comprimento usado para tamponamento na parte superior do furo aumenta com o aumento do diâmetro. O facto de nesta parte superior do furo não haver explosivo, pode por si só provoca o aparecimento de grandes blocos gerados pela fracturação natural.

Duas situações se apresentam para ultrapassar este problema:

- 1ª - Redução do comprimento parcial do furo destinado ao tamponamento, com conseqüente aumento das hipóteses de projecções pela boca do furo.
- 2ª - Perfuração de furos intermédios com o comprimento ligeiramente superior ao comprimento destinado ao tamponamento e utilização de pequenas cargas explosivas.

3.5.3 - Comprimento do furo

A escolha do comprimento de furo a realizar deve ser ajustada à altura da bancada, uma vez que o furo a realizar deverá ter um comprimento superior a esta. Este maior comprimento do furo em relação à altura de bancada é designado por subfuração e será melhor abordado quando for referida a elaboração do diagrama de fogo no capítulo 4.

3.5.4 - Desvios de furação

Sempre que se utilizam grandes alturas de bancada está presente o problema dos desvios de perfuração. O valor do desvio normalmente aumenta com o comprimento do furo a realizar. A minimização deste desvio poderá ser obtida pela utilização de equipamento de perfuração e acessórios adequados ao seu controlo.

No início da exploração em Cervães a altura de bancada utilizada estava na ordem dos 6 m de altura. Por influência de vários factores, tais como a evolução da exploração, maior produção, optimização das operações em função dos equipamentos disponíveis, entre outros, as bancadas passaram a ter uma altura na ordem dos 15 m.

O equipamento de perfuração e os acessórios foram substituídos por outros mais adequados a esta nova altura de bancada. As varas utilizadas passaram a ser do tipo T 45, uma vez que se verificava a existência de significativos desvios na furação com a utilização das varas do tipo T 35. Esta alteração do equipamento e dos acessórios diminuiu significativamente os desvios produzidos já que as varas T 45 possuem menor flexão.

Os desvios de furação afectam a qualidade da fragmentação da rocha além de aumentarem os riscos associados à operação, se considerarmos a geração de fortes vibrações no maciço, a eventualidade de projecções por diminuição da distância à frente e sobre-escavação por desvios na inclinação da última fiada. Os riscos provocados pelos desvios de perfuração devem-se ao facto da relação distância à frente/espacamento não ser constante nas diferentes cotas do furo, logo a distribuição das cargas de explosivo no interior do maciço não é uniforme e a carga específica em diferentes partes da bancada a desmontar é variável.

3.5.5 - Estabilidade do furo

Normalmente não são considerados os problemas de estabilidade dos furos porque o maciço a furar é de boa a média qualidade. Os problemas relacionados com a estabilidade devem ser considerados quando existe grande fracturação presente na bancada a desmontar com

preenchimento argiloso e infiltrações de água associadas à fracturação. O operador do equipamento de perfuração deverá ser cuidadoso de forma a não provocar desmoronamentos que podem obstruir o furo. Em situações especiais em que o risco de desmoronamento dos furos está presente é usual usar-se revestimento do interior dos furos com tubos de plástico.

As zonas superiores da bancada afectadas pelo rebentamento do explosivo da sub-furação anterior são geralmente uma zona instável e facilmente desmoronável.

Capítulo 4 – Explosivos utilizados na operação de desmonte

4. Explosivos utilizados na operação de desmonte

Neste capítulo serão abordadas algumas propriedades dos explosivos industriais, diferentes tipos e formas como se apresentam no mercado, além de características a considerar na escolha para uma dada operação. Será também abordada a interacção explosivo-rocha bem como os mecanismos teóricos de desmonte da rocha. No final do capítulo apresenta-se o diagrama de fogo teórico utilizado na Pedreira Bouça do Menino.

Os explosivos industriais para utilização em explorações a céu aberto possuem certas características que servem como indicadores da sua melhor ou pior aptidão para serem utilizados numa situação concreta. O maciço a desmontar, condiciona o tipo de explosivo a utilizar considerando que o tipo de rocha, o grau de facturação presente e a presença de água no maciço limitam a escolha do explosivo adequado. O explosivo a utilizar também poderá ser seleccionado pela economia, em termos de custos de toda a operação de desmonte, sendo dada a preferência a explosivos que embora sejam menos potentes se adaptam às situações reais e conseguem cumprir os objectivos da operação, tais como a qualidade da fragmentação prevista, e que com a sua utilização generalizada sejam economicamente mais vantajosos. Também deverá ser considerado sempre como parâmetro condicionante para a escolha do explosivo a utilizar a segurança da sua utilização no armazenamento, na sua aplicação ou na operação de desmonte em si.

Na maioria das situações reais verifica-se que vários tipos de explosivo diferentes são adequados à operação e cumprem os objectivos propostos, sendo o factor económico o mais condicionante para a escolha.

4.1 – Classificação dos explosivos industriais

Os explosivos industriais actualmente utilizados podem ser diferenciados em função da sua velocidade de detonação, em função dos efeitos que produzem no maciço rochoso ou da sua sensibilidade. Estas características podem condicionar a escolha de um explosivo para uma dada situação, em função dos resultados esperados para a operação de desmonte.

Com base na publicação de Daniel (2000) foram consideradas as seguintes classificações para os explosivos.

Em função da sua velocidade de detonação como pertencentes a um dos três seguintes grupos:

- Lentos ou propulsores - quando a sua velocidade de combustão é inferior a 1000 m/s;

- Rápidos - quando a velocidade de combustão é superior a 1000 m/Seg. mas inferior a 5000 m/s;
- Muito rápidos - quando a velocidade de combustão é superior a 5000 m/s.

Quando consideramos os efeitos produzidos no maciço a desmontar, os explosivos dividem-se em dois grupos:

- Fracturante - quando devido à velocidade da reacção o seu efeito é de destruição do meio que o envolve, fracturando-o em pequenos blocos;
- Deflagrante - quando devido à lentidão da reacção o seu efeito é de rotura pelas fracturas existentes ou tombamento.

Normalmente os explosivos deflagrantes apenas são utilizados em desmonte de rocha ornamental, sendo que em pedreiras de produção de agregados se pretende o efeito fracturante por efeito da energia disponibilizado pelos explosivos, para aumentar o efeito da redução de tamanho do material e reduzir custos das operações seguintes.

Quanto à sensibilidade, os explosivos classificam-se em:

- Sensíveis - quando por efeito de choque ou calor moderado o explosivo é activado;
- Pouco sensíveis - quando a iniciação só é possível com a utilização de um detonador.

4.1.1 - Explosivos utilizados em minas e pedreiras

As substâncias explosivas com possibilidade de utilização em minas e pedreiras dividem-se em pólvoras e explosivos, podendo apresentar-se a granel ou em cartuchos. São de uso comum:

Pólvoras:

- Pólvora negra.

Explosivos:

A Granel:

- Granulados (mistura de nitrato de amónio e gasóleo);
- Emulsões (dispersão em água de substâncias explosivas).

Encartuchados:

- Pulverulentos (mistura de nitrato de amónio e aditivos);
- Emulsões (dispersão em água de substâncias explosivas);
- Dinamites (compostos à base de nitroglicerina/nitroglicol);
- “Slurries”.

4.2 - Características dos explosivos

Segundo Gomes, Galiza & Vieira (2000) e Daniel (2000), as características dos explosivos industriais são as seguintes:

4.2.1 - ANFO

Este tipo de explosivo é constituído por nitrato de amónio (94%) e fuel (6%). Como não contém nitroglicerina é bastante insensível sendo usado para a sua iniciação a dinamite, a emulsão ou o cordão detonante.

Produz um grande volume de gases mas tem uma velocidade de detonação pequena.

Na presença de água alteram-se (dissolvem-se) e ficam inoperacionais, devendo haver especial cuidado quando são aplicados em terrenos húmidos.

É um explosivo bastante barato sendo muito utilizado especialmente nos desmontes a céu aberto de rochas brandas ou como carga de coluna em diferentes tipos de rocha.

A sensibilidade à iniciação e velocidade de detonação aumentam com o aumento do diâmetro da carga.

Poderá ser adicionado alumínio em percentagens entre 13% a 15% para aumentar a sua energia disponível.

4.2.2 - “Slurries”

Os “slurries” são constituídos por uma suspensão aquosa saturada de NA (Nitrato de amónio), contendo oxidantes, sensibilizantes, agentes espessantes e gelatinizantes para evitar a segregação dos produtos constituintes. Não contém substâncias explosivas mas após iniciação têm uma reacção explosiva.

Os “slurries” apresentam as seguintes vantagens:

- Excelente resistência à água;
- Elevado grau de segurança no transporte e manuseamento;

- Não produzem efeitos nocivos nos operadores;
- Os gases produzidos são muito pouco tóxicos;
- Alguns “slurries” podem substituir a dinamite na carga de fundo por terem força explosiva semelhante;
- A força explosiva e densidade podem ser ajustadas ao tipo de trabalho.

A iniciação é normalmente feita por detonadores. No entanto há “slurries” comercializados que só detonam com iniciadores “primer”.

4.2.3 - Emulsões

As emulsões apresentam-se sobre a forma de uma dispersão estável de um líquido imiscível noutro. Não é constituído por substâncias explosivas.

Devido à sua grande força de explosão poderá ser carregado a granel ou encartuchado, mesmo em pequenos diâmetros. Podem ter diferente força explosiva, segundo a gama constituinte do produto.

As emulsões apresentam as seguintes vantagens:

- Menor preço que um explosivo à base de nitroglicerina;
- Excelente resistência à água;
- Possibilidade de ter várias densidades compreendidas entre 1 e 1,45g/cm³;
- Elevadas velocidades de detonação com pouco efeito na variação do diâmetro do cartucho;
- Grande segurança no manuseamento e fabrico;
- Possibilidade de aplicação mecanizada e misturas com ANFO em diferentes combinações.

4.2.4 - ANFO pesado

São também explosivos de última geração e provêm da mistura, em diversas proporções, de emulsão com ANFO, a qual preenche os vazios no ANFO actuando como uma matriz energética. As suas características aproximam-se das dos seus constituintes e são, geralmente, fornecidos por camião sendo a sua mistura feita no local.

Quando comparado com o ANFO, este apresenta maior energia, melhor sensibilidade, grande resistência à água e possibilidade de variar a carga com variação de energia ao longo do furo.

4.2.5 - Pólvora negra

São designados explosivos deflagrantes por não produzirem onda de choque.

É um explosivo de baixa velocidade e pouca força explosiva. A característica principal é o grande volume de gases produzidos, pelo que é muito empregue em pedreiras de rocha ornamental.

A tabela 3 apresenta as designações comerciais de alguns explosivos civis comercializados em Portugal.

Tabela 3 - Designação comercial dos explosivos civis em Portugal. (Adaptado de Daniel, 2000)

Tipo	Composição base	Empresas produtoras		
		MAXAM-POR	SEC	Moura Silva & Filho
Gelatinosos	Nitroglicol ou Nitroglicerina		Gelatine Donarit 1	Goma
Pulverulentos	Nitrato de amónio sensibilizado			
Granulados	Nitrato de amónio e gasóleo	Valex Granulado	Austinite	Amonix
Emulsões	Solução aquosa de Nitrato de amónio, óleos e emulsionantes	Valex	Emulex Austimix	Jemulit

4.3 - Selecção dos explosivos em função do trabalho a realizar

A quantidade e o tipo de explosivo a utilizar numa pega de fogo depende das suas propriedades, das dimensões e posicionamento dos furos e do tipo de rocha a desmontar.

Seguidamente serão abordadas com pormenor algumas propriedades básicas dos explosivos que servem como orientação para escolha adequada de um explosivo para uma situação concreta (Gomes, Galiza & Vieira, 2000).

4.3.1 - Velocidade de detonação

É a velocidade a que se propaga a decomposição da coluna explosiva. A velocidade é expressa em m/s e aumenta com o confinamento da carga. A variação verificada na velocidade de detonação está dependente de vários factores.

Depende do diâmetro utilizado na furação, considerando que a velocidade de detonação da coluna explosiva aumenta com o aumento deste.

Dependendo do explosivo a utilizar há um diâmetro mínimo para que haja continuidade na reacção de decomposição, a que se dá o nome de diâmetro crítico.

As características do maciço rochoso, tais como a presença de água e a temperatura do meio ambiente, bem como o tipo de explosivo a utilizar também influenciam a velocidade de detonação.

A energia de activação utilizada deve ser adequada ao tipo de explosivo de forma a assegurar uma conveniente iniciação da detonação. Considerando a gama de explosivos industriais actualmente usados em operações de desmonte verifica-se que a velocidade de detonação varia entre os 1500 m/s e os 7000 m/s.

Tendo em conta a qualidade da fragmentação, a velocidade de detonação é uma das propriedades básicas dos explosivos a considerar quando se desmontam rochas duras. Um explosivo brisante produz uma melhor fragmentação, devido à maior velocidade de detonação.

4.3.2 - Força de um explosivo

É caracterizada pelo trabalho que um explosivo consegue realizar em condições normais de utilização.

O seu valor é expresso em unidades de peso ou volume relativamente ao trabalho realizado pelo explosivo de referência, a dinamite a 33% de nitroglicerina.

A eficiência de um explosivo não depende apenas do conhecimento da energia libertada, depende também da quantidade de energia que é transmitida à rocha e que provoca a fragmentação e a movimentação da bancada.

4.3.3 - Sensibilidade do explosivo

A sensibilidade do explosivo é a aptidão que este possui à respectiva activação pela detonação de outra carga próxima, avaliado pela distância máxima entre as duas cargas.

O conceito de sensibilidade também se aplica à segurança no manuseamento dos explosivos se considerarmos a sensibilidade ao choque e fricção e a sensibilidade ao calor e ao fogo.

4.3.4 - Impedância de um explosivo

A impedância é também uma propriedade bastante influente no processo de fragmentação, contribuindo para uma correcta escolha do explosivo a utilizar. O produto da velocidade de propagação das vibrações no maciço pela densidade da rocha deverá ser aproximadamente igual ao produto da velocidade de detonação pela densidade do explosivo. Isto é, a escolha do explosivo através da sua respectiva velocidade de detonação deverá satisfazer à condição de serem aproximadamente iguais a impedância do maciço e a impedância do explosivo.

A impedância de um explosivo é o produto da sua velocidade de detonação pela densidade de carga do explosivo. Quando se escolhe um explosivo para desmontar um maciço rochoso é normal usar o seguinte critério (Gomes, Galiza & Vieira, 2000):

- A impedância do explosivo a usar deverá ser a mais próxima da impedância acústica do maciço rochoso (produto da velocidade de propagação sísmica no maciço pela densidade da rocha que o constitui).

4.4 - Interação explosivo - rocha

4.4.1 - Fragmentabilidade das rochas

Na fragmentação da rocha por detonação o valor da carga específica utilizada deve ser analisado comparando a fragmentação resultante, as vibrações induzidas ao solo, a projecção da bancada, entre outras, de modo a obtermos as orientações para uma carga específica óptima tendo em conta as limitações exigidas para a operação. A optimização da carga específica utilizada tem como objectivo a redução dos custos subsequentes da operação de redução de tamanho, nas etapas seguintes de britagem e classificação.

O termo “fragmentabilidade” é utilizado para definir a susceptibilidade da rocha a ser desmontada por efeitos dos explosivos e relaciona-se com a carga específica utilizada.

Enquanto alguns autores tentaram correlacionar a “fragmentabilidade” com dados obtidos em laboratório e testes de campo sobre os parâmetros das rochas, outros tentaram relacioná-la com os parâmetros do diagrama de fogo e, outros ainda, tentaram estimá-la por aproximações com a taxa de perfuração ou comportamento efectivo das pegas de fogo no campo.

Com os crescentes avanços da capacidade computacional actualmente disponível, aumentam o número de estudos sobre “fragmentabilidade” utilizando algoritmos artificiais inteligentes.

Em seguida serão revistos alguns dos mais importantes estudos sobre determinação da “fragmentabilidade” e da carga específica utilizando parâmetros de cálculo do diagrama de fogo considerando as características geométricas do referido diagrama, as características da rocha e as propriedades dos explosivos.

As seguintes fórmulas e textos referentes a “fragmentabilidade” encontram-se no trabalho de Dey (2003).

4.4.2 - Principais fórmulas sobre fragmentabilidade actualmente aceites

O factor de fragmentabilidade (C) foi proposto por Langefors & Kihlstrom (1978) e representa a influência da rocha no mecanismo do rebentamento com explosivos.

Este factor pode ser definido como C_0 quando se refere à situação em que o material desmontado não é deslocado.

O valor do factor C inclui uma margem técnica para que a quebra do material seja satisfatória e é representada pela seguinte equação:

$$C = 1,2 * C_0$$

Equação 3 - Factor de fragmentabilidade (C)

Quando consideramos o desmonte de granito cristalino, C_0 tem um valor de 0,17 kg ANFO/m³ (valor obtido a partir de vários desmontes em granito cristalino com o explosivo). Para outros tipos de rocha este valor varia entre 0,18 a 0,35 kg ANFO/m³.

Na elaboração de um diagrama de fogo pode ser considerado o factor $C = 0,4$ kg ANFO/m³, mas a carga específica efectiva a utilizar deverá ser alterada tendo em conta a fracturação e projecção pretendida para o material. Esta alteração poderá ser efectuada de forma geométrica ou utilizando um valor de afectação fixo.

Os seguintes procedimentos para a utilização prática do factor C (kg /m³) por alteração geométrica dos parâmetros de uma pega de teste foram propostos por (Fraenkel,1954).

Rebentamento de um só furo com 33 mm de diâmetro no fundo, com 1,33 m de comprimento numa bancada com um metro de altura e um metro de distância à frente, a carga específica a utilizar corresponde à carga necessária para fazer deslocar o material desmontado no máximo um metro.

Considerando a afectação do factor C por um valor fixo, Larsson (1974) propôs que a carga específica a utilizar pode variar até $\pm 25\%$ do valor da constante da rocha ($0,4 \text{ kg/m}^3$).

O factor de blastabilidade (K_v) foi determinado por Borquez (1981) partindo da equação para cálculo da distância à frente de Pierce usando o índice RQD, corrigido por um coeficiente de alteração. Este coeficiente de alteração tem em conta a resistência das fracturas como função da sua abertura e material de enchimento Dey (2003).

Na tabela 5 está indicado o factor de alteração em função da resistência das fracturas

Tabela 4 - Factor de alteração em função da resistência das fracturas (Adaptado de Dey, 2003)

Resistência das fracturas	Factor de alteração
Forte	1,0
Média	0,9
Fraca	0,8
Muito fraca	0,7

Na figura 8 está representada a relação entre o factor de *blastabilidade* (K_v) e o respectivo índice ERQD (Equivalent Rock Quality Designation).

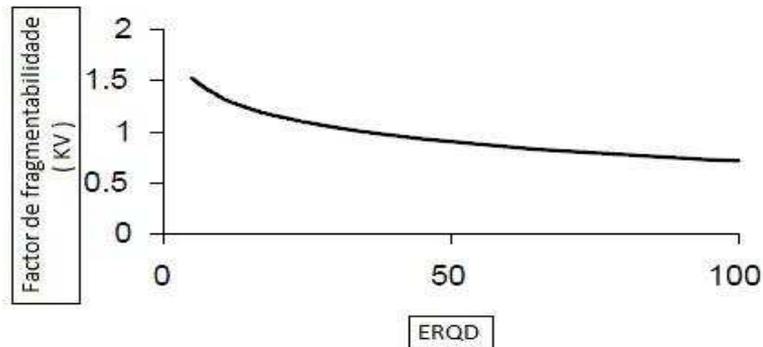


Figura 8 - Relação factor de fragmentabilidade (K_v) / índice ERQD. (Adaptado de Dey, 2003).

Onde: $K_v = a + b \times \ln(\text{ERQD})$, a e b são constantes

$$\text{ERQD} = \text{RQD} \times \text{Factor de alteração}$$

A seguinte relação empírica proposta por Fraenkel (1954) relaciona a altura e diâmetro da carga, o comprimento do furo, a distância à frente máxima e fragmentabilidade (Dey, 2003).

$$S = \frac{(50 \times V_{\max})}{h^{0.3} \times H^{0.3} \times d^{0.8}} = \frac{(50 \times V_{\max})}{Q^{0.3} \times H^{0.3} \times d^{0.2}}$$

Equação 4 - Fragmentabilidade S (Fraenkel 1954)

Onde: S = Fragmentabilidade

Vmax = Distância à frente máxima (m)

H = Comprimento do furo (m)

h = Altura carregada (m)

d = diâmetro da carga (mm)

Q = Carga (g) - pode ser usado em substituição de h sendo $h \cdot d^2 = Q$ (carga em gramas) quando o grau de compactação (P) = 1,27 (g/cm³).

Hansen (1968) sugere a equação 5 para a estimativa da quantidade de explosivo requerido para uma óptima fragmentação. Esta equação foi calculada com base nos resultados obtidos na construção da barragem Marrow Point e no projecto da sua central eléctrica. É importante ter em consideração que se trata de um trabalho específico pelo que as conclusões poderão não se aplicar a todos os tipos de rochas.

$$Q = B^2 \left\{ 0.0236 \times \left(\frac{h}{B} + 1.5 \right) + 0.1984 \times C \times \left(\frac{h}{B} + 1.5 \right) \right\}$$

Equação 5 - Carga total de um furo (Hansen, 1968)

Onde: Q = Carga total de um furo (kg)

B = Distância à frente (m)

h = Altura da face livre (m)

C = Constante da rocha estimada a partir de pegadas de ensaio

O valor obtido para a carga total de um furo (equação 6) é corrigido considerando a influência dos desvios de furação, força do explosivo, parâmetros de perfuração e influência de outras cargas utilizadas em pegadas com os mesmos parâmetros geométricos.

$$\text{Carga total} = \frac{F}{E} \times \frac{S}{B} \times 0.80$$

Equação 6 - Carga total corrigida Hansen(1968)

Onde: F = Valor fixo = 1,0 (furo vertical) até 0,75 (quebra livre do fundo do furo)

E = Factor explosivo = 0,9 (30% dinamite) até 1,3 (60% dinamite)

S/B = Espaçamento / Distância á frente

Na tabela 6 estão indicadas as principais fórmulas que consideram a fragmentabilidade, seguindo uma evolução cronológica.

Tabela 5 - Principais fórmulas que consideram a fragmentabilidade. (Adaptado de Dey, 2003).

Ano	Proposta por	Fórmula	Dados de entrada	Características especiais
1954	Fraenkel	$h * d^2 = \frac{(50 * Vmax)^{3,3}}{S^{33} * H * d^{20}}$	Distância á frente Comprimento do furo Diâmetro Comprimento da carga	Relação entre carga e fragmentabilidade
1959	Hino	$BC = CS / TS$	Força de tensão e de compressão	Carga específica relacionada com fragmentabilidade
1968	Hansen	$Q = B^2(0,0236 * \left(\frac{H}{B} + 1,5\right) + 0,1984 * C * \left(\frac{H}{B} + 1,5\right))$	Distância à frente e altura da face livre	Relaciona a carga total com a constante da rocha
1977	Ashby	$Carga\ especifica = \frac{0,56 * Tan(\Phi+i)}{\sqrt[3]{fracturas/m}}\ kg/cu.m.$	Frequência da fracturação Ângulo de fricção e ângulo da rugosidade	Carga específica do ANFO determinada com base na frequência da fracturação
1981	Borquez	$Kv = a + b * \ln(ERQD)$	RQD	Usa um factor de alteração para a resistência das fracturas
1982	Rakishev	$Vcr = k * \sqrt{(g * dm)} + \left(\frac{\sigma}{\rho_0 * c}\right)$	Densidade da rocha Módulo de elasticidade Força de tensão e compressão Abertura, etc.	Correlaciona velocidade de fracturação com fragmentabilidade
1982	Leighton	$\ln(CE) = \frac{RQI - 25.000}{7.2000}$	RQI	Correlaciona RQI com carga específica
1986	Lilly	$BI = 0,5 * (RMD + JPS + JPO + SGI + H)$	Descrição do maciço Espaçamento e orientação das fracturas Dureza especial por gravidade, etc.	Relação expressa entre fragmentabilidade e carga específica
1988	Ghose	$BI = (DR + DSR + PLR + JPO + AF1 + AF2)$	Densidade Espaçamento e orientação das fracturas "Point load index"	Carga específica relacionada com fragmentabilidade registada em minas de carvão
1990	Gupta	$Factor\ de\ carga = 0,278 * B^{-0,407} * F^{0,62}$	Distância à frente "Protodyakonov index"	Relaciona factor de carga com constante da rocha
2000	Jiang Han	$K = \{L, S, RCD2, Ed, Pc, dcp\}$	Comprimento e distância das fracturas Módulo de elasticidade Tamanho dos fragmentos Força dinâmica à compressão	Relaciona fragmentabilidade usando técnicas de propagação partindo de bases de dados

4.5 - Transferência de energia e efeitos produzidos

4.5.1 - Transferência de Energia

A dinâmica da explosão mostra que a energia desenvolvida durante a detonação produz uma variedade de efeitos. A transferência de energia é função tanto das características do explosivo que a fornecem como das características da rocha para recebê-la.

Um furo carregado ideal, por exemplo, onde a carga e diâmetros de furo são iguais dá origem a um rácio de acoplamento perto de 1, maximizando a pressão de choque nas paredes do furo.

Se o diâmetro da carga é menor que o diâmetro do furo há uma taxa de desacoplamento e a pressão de choque nas paredes do furo diminuirá exponencialmente com a diferença de diâmetro.

Assim, juntamente com a relação distância à frente/espacamento, a razão de acoplamento pode ser variada para mudar a transferência de energia para a massa da rocha circundante. Por exemplo, para uma pega normal os melhores resultados são obtidos quando a carga preenche completamente o furo, mas o desacoplamento pode ser usado para evitar tensão excessiva na rocha.

Os desmontes convencionais geralmente envolvem o preenchimento completo de todos os furos com explosivos até um comprimento ligeiramente inferior à altura de bancada. É introduzido dentro do furo, na parte superior do explosivo, material inerte designado tamponamento de forma a auxiliar no seu confinamento evitando o escape prematuro dos gases produzidos.

Os furos são geralmente perfurados até uma profundidade equivalente ou ligeiramente superior à altura da bancada, de forma a manter o piso da bancada nivelado, evitando o aparecimento de irregularidades.

Um número determinado de furos é perfurado em linhas simples ou múltiplas, a intervalos regulares, com um espacamento igual ou superior à distância à frente.

4.5.2 - Efeitos da detonação

No desenho dos diagramas de fogo deverão ser considerados não apenas a relação distância à frente - espacamento e rácios de acoplamento do explosivo, mas também se todos os furos devem ter subfuração igual, se deverão ser completamente carregados ou até mesmo

deixados parcialmente vazios. Estas considerações promovem uma aproximação dos efeitos desejados quando estes são diferentes dos obtidos com as pegas típicas utilizadas na exploração.

Na elaboração do desenho do diagrama de fogo é prestada atenção à pressão de choque transmitida ao maciço garantindo que apenas a quantidade correcta da pressão de choque é aplicada, devendo esta pressão ser ajustada por alteração das relações entre os parâmetros considerados para a elaboração do desenho da mesma.

A intenção é promover o deslocamento da rocha produzindo fragmentos bem definidos e de tamanho normal que são projectados somente a uma distância relativamente pequena da frente de desmonte. O material deverá apresentar-se numa posição estável.

4.6 - Mecanismos de desmonte de rocha com explosivos

Durante a detonação de uma carga de explosivo no interior da rocha, as condições de solitação estão caracterizadas por duas fases de acção (figura 9):

1.ª Fase: Produz-se um forte impacto devido à onda de choque, vinculada à energia de tensão, durante um curto espaço de tempo.

2.ª Fase: Actuação dos gases produzidos atrás da zona de reacção que a alta pressão e temperatura são portadores de energia termodinâmica, também conhecida como energia de bolha.

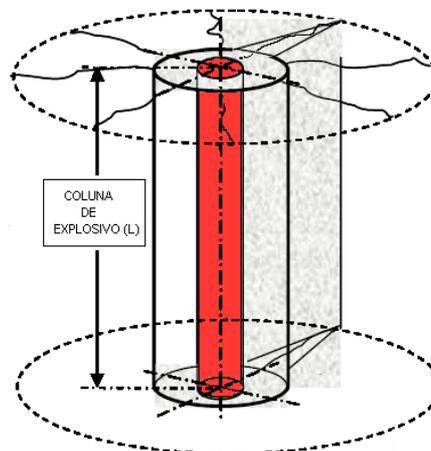


Figura 9 - Zona de influência de uma coluna de explosivo. (Adaptado de <http://www.metsominerals.com.br>, 2009)

Desde a década de 50, têm sido desenvolvidas diversas teorias para explicar o comportamento das rochas sujeitas aos efeitos de uma explosão, sendo ainda hoje um dos problemas a resolver e a definir na tecnologia de aplicação de explosivos em desmonte de maciços rochosos.

Prescindindo de uma análise detalhada de cada uma dessas teorias, descrevem-se seguidamente os distintos mecanismos de rotura da rocha em rebentamentos em bancada no estado actual do conhecimento.

Com base no trabalho compilado pelo ITGE (1994) na fragmentação de materiais rochosos com explosivos intervêm, pelo menos, oito mecanismos de rotura, com maior ou menor responsabilidade, mas participando todos nos resultados das pegas.

4.6.1 - Trituração da rocha.

Nos primeiros instantes da detonação, a pressão na frente da onda de choque que se expande de forma cilíndrica alcança valores que superam amplamente a resistência dinâmica à compressão da rocha, provocando a destruição da sua estrutura intercrystalina e intergranular.

O tamanho do anel de rocha triturada aumenta com a pressão de detonação do explosivo e com o acoplamento das cargas às paredes do furo. Segundo Duvall & Atchinson (1957) com explosivos de alta potência e em rochas porosas pode chegar-se a ter um rácio de 8 D, mas o normal é que oscile entre 2 D e 4 D, sendo D o diâmetro de furação (figura 10).

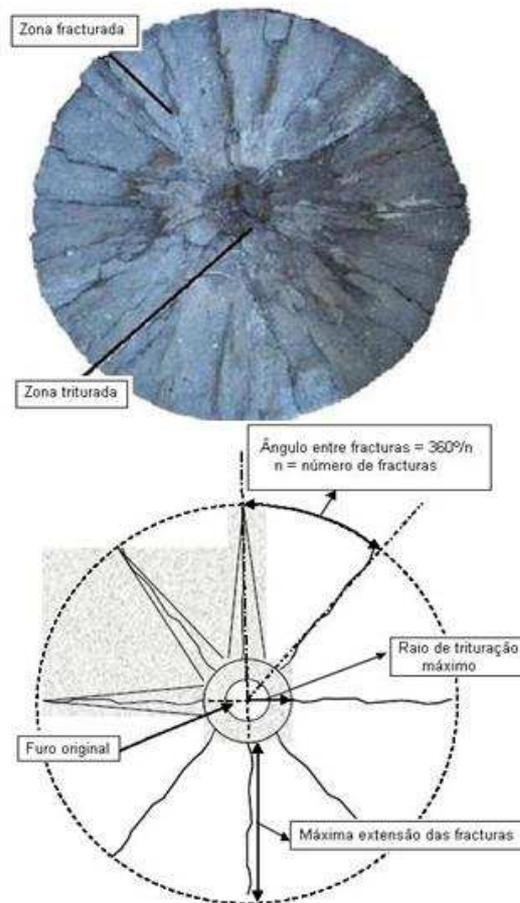


Figura 10 - Zona triturada e zona fracturada do furo. (Adaptado de <http://www.metsominerals.com.br>, 2009)

4.6.2 - Fracturação radial.

A rocha circundante do furo, durante a propagação da onda de choque é submetida a uma intensa compressão radial. Esta compressão induz componentes de tracção nos planos tangenciais na frente da onda quando esta se propaga.

O início da formação de uma zona densa de fracturas radiais à volta da zona triturada do furo dá-se quando as tensões induzidas superam a resistência dinâmica à tracção da rocha.

O número e a longitude das fracturas radiais produzidas aumentam com a intensidade da onda de choque nas paredes do furo ou no limite exterior da zona triturada. Aumentam, também, com a diminuição da resistência dinâmica à tracção e com a diminuição do factor de atenuação da energia de tensão.

Além desta zona de intensa fracturação, algumas fracturas progridem de forma importante e estão distribuídas de forma aleatória em redor do furo. A extensão destas fracturas está dependente da fracturação natural do maciço.

Quando as colunas de explosivo são atravessadas longitudinalmente por fracturas naturais pré-existentes estas irão abrir por efeito da onda de choque mas estará limitada a produção de fracturas radiais noutras direcções.

A presença de fracturas naturais paralelas a alguma distância dos furos irá interromper a propagação das fracturas radiais.

4.6.3 - Reflexão da onda de choque.

Quando a onda de choque ao propagar-se pelo maciço rochoso atinge uma superfície livre são produzidas duas ondas, uma de tracção e uma de cisalhamento.

Este fenómeno acontece quando as fracturas radiais não se propagam mais de um terço da distância entre o furo e a frente livre.

A magnitude energética das ondas produzidas depende do ângulo de incidência da onda de choque primária (figura 11).

A fracturação é geralmente causada pela onda de tracção reflectida. Se as ondas de tracção produzidas ultrapassam a resistência dinâmica à tracção da rocha, produz-se no interior da rocha um fenómeno conhecido por lascamento ou "spalling".

A resistência dinâmica à tracção de uma rocha pode chegar a valores entre 5 e 15% da sua resistência dinâmica à compressão.

Uma vez que as paredes do furo são cilíndricas, a frente da onda reflectida na superfície livre é mais convexa do que a onda incidente, havendo uma maior dispersão da energia transmitida.

Considerando o processo global da fragmentação, este mecanismo contribui relativamente pouco. Estima-se que a carga de explosivo necessária para produzir a rotura da rocha por acção exclusiva da reflexão da onda seria de cerca de oito vezes superior à carga normalmente utilizada. A figura 11 representa a propagação das ondas no maciço e a sua reflexão na frente livre.

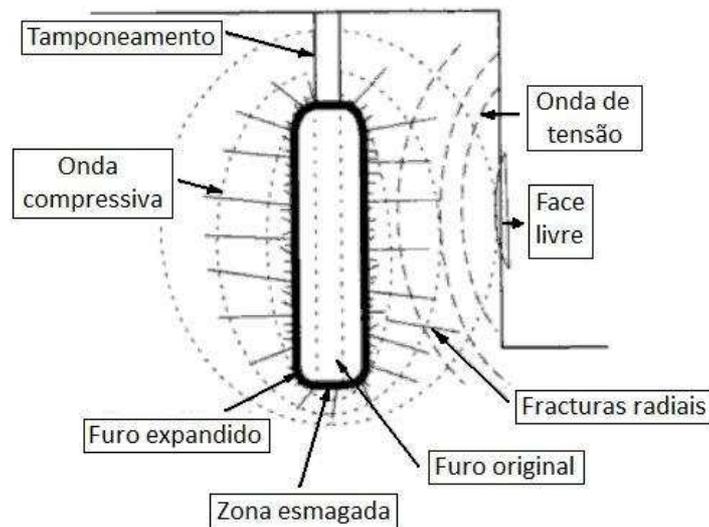


Figura 11 - Efeitos da onda de choque. (Adaptado de <http://www.metsominerals.com.br>, 2009)

4.6.4 - Extensão e abertura das fracturas radiais.

Depois da passagem da onda de choque forma-se um campo de tensões quase estático em redor do furo por efeito dos gases.

Os gases presentes começam a expandir-se e penetram nas fracturas radiais quando estas se formam ou até depois da sua formação (figura 12).

As fracturas radiais prolongam-se por efeito da tensão no seu interior. O número e longitude das fracturas criadas estão fortemente dependentes da pressão dos gases produzidos. O menor aproveitamento da energia disponível originada pela produção dos gases está relacionada com a sua libertação prematura, quer seja por utilização de tamponamento insuficiente ou inadequado, ou pela existência de uma zona mais fracturada da frente livre que promovem o seu escape.

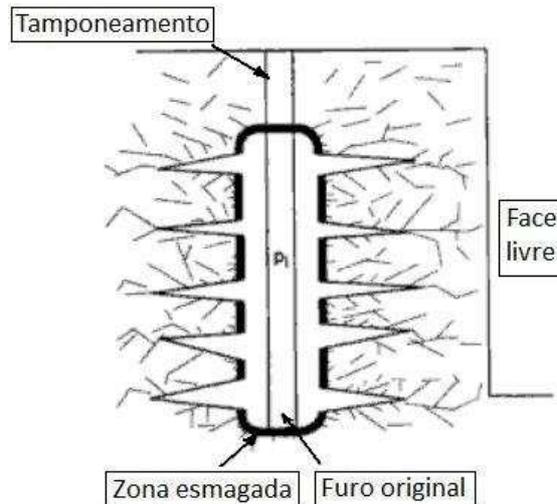


Figura 12 - Expansão dos gases. (Adaptado de <http://www.metsominerals.com.br>, 2009)

4.6.5 - Fracturação por libertação de carga.

Segundo o ITGE (1994) a energia total transferida à rocha pela acção da compressão inicial, antes da onda de choque atingir a frente livre, varia entre 60 e 70% da energia total da pega de fogo.

Depois da passagem da onda de compressão produz-se um estado de equilíbrio de tensões quase estático, o qual resulta de um abaixamento de tensão no furo. Esta perda de tensão deve-se ao escape dos gases pelo tamponamento, pelas fracturas radiais ou devido ao deslocamento da rocha. Uma vez que a energia de tensão armazenada se liberta muito rapidamente, são geradas solicitações de tracção e cizalhamento responsáveis pela rotura do maciço. Este efeito afecta um grande volume de rocha, não apenas na envolvente dos furos, mas também por detrás da linha de corte, podendo os danos produzidos serem identificados a distâncias de várias centenas de metros.

4.6.6 - Fracturação por cizalhamento

Este fenómeno é mais evidente em formações rochosas sedimentares, tendo pouca influência quando se considera o desmonte de rocha granítica.

Quando os diferentes estratos da rocha apresentam distintos módulos de elasticidade, a passagem da onda de choque produz uma rotura no plano de separação destes por efeito de tensões diferenciais ou cortantes nos pontos de contacto.

4.6.7 - Rotura por flexão.

A pressão exercida pelos gases da explosão, durante e depois da acção dos mecanismos de rotura anteriores, actua sobre o material situado na frente da coluna de explosivo. Esta energia de tensão faz com que a rocha actue como uma viga fixa em dois pontos, no fundo do furo e na zona do tamponamento. A rotura acontece por deformação e fracturação da frente rochosa por fenómenos de flexão.

4.6.8 - Rotura por colisão.

Quando os fragmentos de rocha criados pelos mecanismos anteriores são acelerados e projectados por efeito dos gases na direcção da frente livre, há colisões entre eles.

Estas colisões promovem uma fracturação adicional e podem ser maximizadas pela escolha de tempos de iniciação para os furos adequada.

Existem vários estudos sobre este tema sendo de referir o trabalho realizado por Hino (1959) e Petkof (1961), descrito na publicação do ITGE (1994) utilizando fotografias ultra rápidas.

4.7 - Parâmetros típicos de um diagrama de fogo teórico

A nomenclatura dos parâmetros que devem ser considerados na elaboração de um diagrama de fogo, são:

- d – Diâmetro do furo (mm)
- K – Altura da bancada (m)
- V_{máx} – Distância máxima da linha de furos à frente livre
- U – Subfuração
- H – Comprimento do furo
- F – Factor correctivo do desvio da furação
- V – Distância à frente (m)
- E – Espaçamento entre furos (m)
- l_b – Concentração da carga de fundo (Kg/m)
- h_b – Comprimento da carga de fundo (m)
- Q_b – Peso da carga de fundo (Kg)
- h₀ – Comprimento do furo disponível para tamponamento (m)
- l_c – Concentração da carga de coluna (Kg/m)
- h_c – Comprimento da carga de coluna (m)
- Q_c – Peso da carga de coluna (Kg)
- Q_t – Peso total da carga por furo (Kg)
- q – Carga específica (Kg/m³)
- b – Perfuração específica

A figura 13 representa alguns dos parâmetros indicados anteriormente para melhor compreensão.

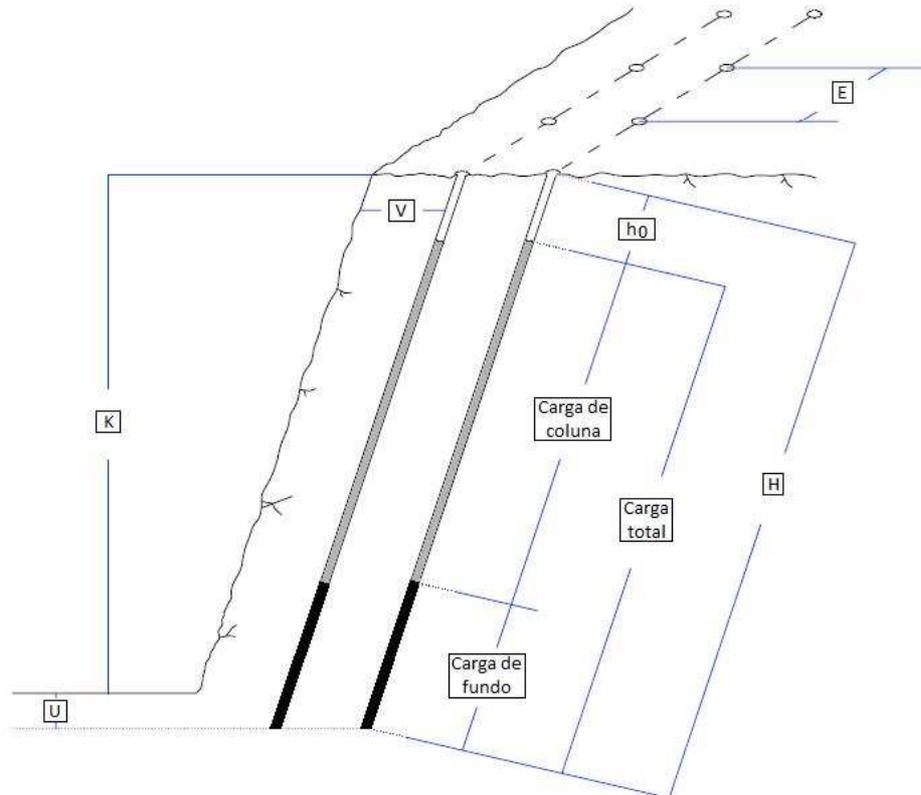


Figura 13 - Parâmetros do desmonte em bancada. (Adaptado de Gomes, Galiza & Vieira, 2000)

A elaboração do diagrama de fogo teórico desenvolvido na exploração “Bouça do Menino” tem como base as fórmulas indicadas no seguimento deste capítulo.

Depois de determinada a altura de bancada a explorar e o diâmetro de perfuração a utilizar, para elaboração do diagrama de fogo devem ser determinados os parâmetros da pega segundo uma ordem, partindo da determinação da distância à frente como está explicado neste capítulo.

Para melhor compreensão da sua elaboração será exemplificada no final deste capítulo uma pega teórica que poderá ser considerada como típica da exploração considerando os seguintes parâmetros: altura de bancada (K) = 12 m; diâmetro (d) = 76 mm.

A tabela 6 apresenta as características das emulsões utilizadas, no caso em estudo: Emulex 711 para carga de coluna e Emulex 731 para a carga de fundo (<http://sec.no.sapo.pt/>, 2009).

São explicadas as razões que levam à escolha do tipo de explosivo utilizado na exploração “Bouça do Menino”. Também é demonstrada a adequação deste tipo de explosivo ao maciço rochoso a desmontar pela relação entre a impedância do maciço e a impedância do explosivo.

Tabela 6 - Características das Emulsões Emulex. (<http://sec.no.sapo.pt/>, 2009).

Produto	Densidade (g/cm ³) ± 0,02	Velocidade Detonação (m/s) ± 200	Pressão Detonação (Kb) ± 10	Calor Explosão (cal/g)	Potência relativa (em volume) ANFO=100	Resistência à água	Geração de fumos
EMULEX 711	1,25	6.350	126	752	145	Excelente	Fraca
EMULEX 721	1,25	6.200	120	937	181	Excelente	Fraca
EMULEX 731	1,25	5.850	107	1.056	204	Excelente	Fraca

A adequação do explosivo verifica-se pela relação entre a impedância do maciço e a impedância do explosivo. Esta relação deve ser o mais próximo de um. Assim, os cálculos a realizar são os seguintes:

- Carga de fundo: Utiliza-se Emulex 731, por ser um explosivo com maior potência e o primeiro a ser colocado no interior do furo, ver Tabela 6.

- Cálculo da impedância do maciço (velocidade sísmica x densidade do granito).

$$\text{Impedância do maciço} = 2700 \times 2,6 = 7020$$

- Cálculo da impedância do explosivo (velocidade de detonação x densidade do explosivo).

$$\text{Impedância do explosivo} = 5850 \times 1,25 = 7312,5$$

- Adequação do explosivo:

$$(\text{Impedância do maciço} / \text{Impedância do explosivo}) = 0,96 \approx 1$$

Para a carga de coluna utiliza-se Emulex 711, por ser um explosivo com menor potência mas com uma maior velocidade detonação, colocado sobre a carga de fundo (tabela 6).

A selecção do referido explosivo deve-se também ao facto de ser um explosivo mais barato e com características que se adequam a operação de desmonte e ser produzido e distribuído pela mesma empresa que fornece o explosivo da carga de fundo, a qual é responsável pela operação de carregamento dos furos e rebentamento da bancada.

Na tabela 7 estão indicadas as formas como os explosivos em cartucho são fornecidos para o mercado.

Tabela 7 - Características dos cartuchos Emulex. (<http://sec.no.sapo.pt/>, 2009).

Cartuchos			
Diâmetro min (mm)	Comprimento (mm)	Peso Médio (g)	Revestimento
40	500	833	Plástico
50	500	1250	Plástico
55	500	1464	Plástico
60	500	1785	Plástico
65	500	2083	Plástico
75	500	2500	Plástico
80	500	3125	Plástico
85	500	3571	Plástico

Cálculo da concentração de carga de fundo (lb):

Para o cálculo de lb utiliza-se a seguinte relação:

$$lb = \text{peso do cartucho} / \text{altura do cartucho}$$

4.7.1 - Determinação da distância à frente - V_{máx}.

As seguintes expressões simplificadas para o cálculo da distância à frente (V_{máx}), propostas por Olofsson (1990), têm em consideração o tipo de explosivo e a concentração de carga possível, as características da rocha e a inclinação da frente da escavação.

Na elaboração dos diagramas de fogo, os colaboradores responsáveis baseiam-se nas seguintes equações¹:

$$V_{máx} = 1,47 \times \sqrt{lb} \times R1 \times R2 \quad (m) \quad (a)$$

Equação 7 - (a) Distância à frente para a Dinamite (V_{máx}), (Olofsson, 1990)

$$V_{máx} = 1,45 \times \sqrt{lb} \times R1 \times R2 \quad (m) \quad (b)$$

Equação 8 - (b) Distância à frente para a Emulsão (V_{máx}), (Olofsson, 1990)

$$V_{máx} = 1,35 \times \sqrt{lb} \times R1 \times R2 \quad (m) \quad (c)$$

Equação 9 - (c) Distância à frente para o ANFO (V_{máx}), (Olofsson, 1990)

¹ As equações (a), (b) e (c) apenas se diferenciam devido ao valor da constante dependente do tipo de explosivo utilizado.

Sendo: lb – Concentração da carga de fundo (kg/m)
 $R1$ – Factor correctivo devido à inclinação do furo
 $R2$ – Factor correctivo da constante da rocha

Através da tabela 8 obtém-se o factor correctivo $R1$, para diferentes inclinações dos furos.

Tabela 8 - Factor correctivo devido à inclinação do furo. (Adaptado de Gomes, Galiza & Vieira, 2000)

Inclinação	$\infty : 1$	10 : 1	5 : 1	3 : 1	2 : 1	1 : 1
R1	0,95	0,96	0,98	1	1,03	1,1

A Tabela 9 fornece o valor correctivo $R2$, para diferentes constantes da rocha.

Tabela 9 - Factor correctivo da constante da rocha. (Adaptado de Gomes, Galiza & Vieira, 2000)

Constante da rocha C	0,3	0,4	0,5
R2	1,15	1,00	0,90

Considerando a utilização de Emulsões, $V_{m\acute{a}x}$ calcula-se do seguinte modo:

$$V_{m\acute{a}x} = 1,45 \times \sqrt{lb} \times R1 \times R2 \quad (m) \quad (b)$$

Equação 10 - Distância à frente - $V_{m\acute{a}x}$

4.7.2 - Distância prática à frente (V):

A distância à frente prática (V) a utilizar na pega de fogo é inferior à distância à frente ($V_{m\acute{a}x}$), porque é considerado um factor correctivo relativo aos desvios de furação (figura 14).

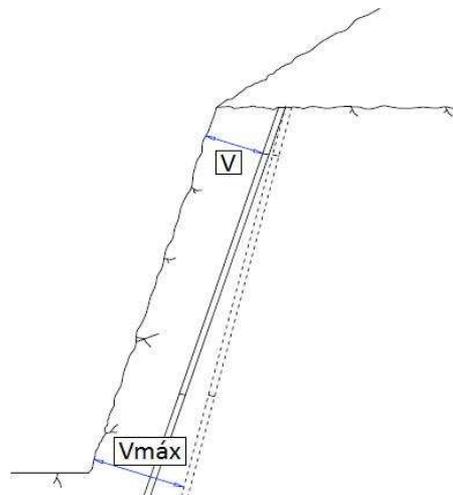


Figura 14 - Figura da distância à frente. (Adaptado de Gomes, Galiza & Vieira, 2000)

$$V = V_{\text{máx}} - F \quad (\text{m})$$

Equação 11 - Distância prática à frente (V)

Sendo F – Factor correctivo relativo aos desvios de furação

$$F = 0,05 + 0,03 \times H \quad (\text{m})$$

Equação 12 - Factor correctivo relativo aos desvios de furação.

$$F = 1 + \frac{d}{1000} + 0,03 \times H \quad (\text{m})$$

Equação 13 - Factor correctivo relativo aos desvios de furação para um diâmetro conhecido.

Sendo: d - diâmetro do furo (mm)
 H - Comprimento do furo (m)

4.7.3 - Subfuração (U):

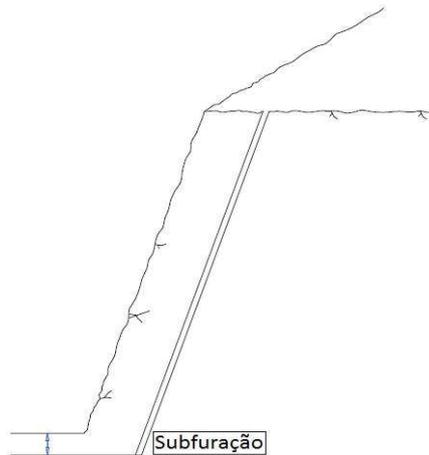


Figura 15 - Figura da subfuração. (Adaptado de Gomes, Galiza & Vieira, 2000)

Para evitar que a soleira suba, dando origem ao aparecimento de irregularidades devido ao rebentamento sucessivo das pegas, o comprimento de furo é acrescido de um valor que é função de $V_{\text{máx}}$.

$$U = 0,3 \times V_{\text{máx}} \quad (\text{m})$$

Equação 14 - Subfuração

Na exploração de Cervães o valor da subfuração utilizado é variável em função da altura de bancada a realizar sendo esse valor da ordem de um metro por evidências práticas nos resultados das pegas.

4.7.4 - Comprimento do furo:

$$H = K + 0,05 \times (K + U) \quad (\text{m})$$

Equação 15 - Comprimento do furo

4.7.5 - Espaçamento entre furos (E):

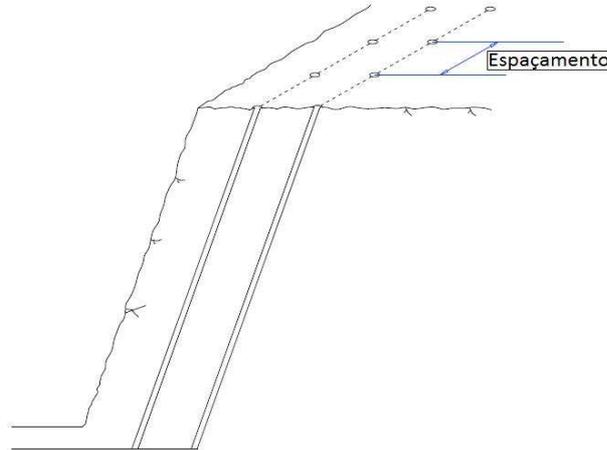


Figura 16 - Figura do Espaçamento entre furos. (Adaptado de Gomes, Galiza & Vieira, 2000)

O espaçamento (E), distância entre furos da mesma linha, baseado em dados experimentais, é:

$$E = 1,25 \times V \quad (\text{m})$$

Equação 16 - Espaçamento entre furos

A relação E/V, poderá variar entre, $E/V > 1,25$ e $E/V < 1,25$, sem afectar os valores de carga e perfuração específica. Esta relação será melhor abordada no capítulo 4 ao tratar o controlo de fragmentação, sendo que a relação $E/V > 1,25$, conduz a uma fragmentação resultante mais fina, enquanto que a relação $E/V < 1,25$ é recomendada quando se pretende obter calibres maiores.

4.7.6 - Perfuração específica (b):

$$b = \frac{(n \times H)}{(n \times E \times V \times K)}$$

Equação 17 - Perfuração específica (b)

Em (m/m³), sendo n o número de furos

4.7.7 - Altura da Carga de Fundo (h_b):

$$h_b = 1,3 \times V_{\text{máx}} \quad (\text{m})$$

Equação 18 - Altura da Carga de Fundo (h_b)

4.7.8 - Carga de Fundo (Q_b):

$$Q_b = l_b \times h_b \quad (\text{kg})$$

Equação 19 - Carga de Fundo (Q_b)

4.7.9 - Número de Cartuchos:

$$\text{N}^\circ \text{ de Cartuchos} = Q_b / \text{peso do cartucho}$$

4.7.10 - Carga de fundo (Q_b) (real):

$$Q_b \text{ (real)} = \text{N}^\circ \text{ de Cartuchos} \times \text{peso do cartucho} \quad (\text{kg})$$

4.7.11 - Altura da Carga de fundo (h_b) (real):

$$h_b \text{ (real)} = \text{N}^\circ \text{ de Cartuchos} \times \text{medida do cartucho} \quad (\text{m})$$

4.7.12 - Tamponamento (h_0):

$$h_0 = V \quad (\text{m})$$

Equação 20 - Tamponamento (h_0)

4.7.13 - Altura da Carga de Coluna (h_c):

$$h_c = H - h_b \text{ (real)} - h_0 \quad (\text{m})$$

Equação 21 - Altura da Carga de Coluna (h_c):

4.7.14 - Concentração da Carga de Coluna (l_c):

$$l_c = 40\% \text{ a } 60\% \text{ de } l_b \quad (\text{kg/m})$$

4.7.15 - Carga de Coluna (Q_c):

$$Q_c = l_c \times h_c \quad (\text{kg})$$

Equação 22 - Carga de Coluna (Q_c)

4.7.16 - Número de Cartuchos:

$$N^{\circ} \text{ de Cartuchos} = Q_c / \text{peso do cartucho}$$

4.7.17 - Altura da Carga de Coluna (h_c) (real):

$$h_c \text{ (real)} = N^{\circ} \text{ de Cartuchos} \times \text{medida do cartucho} \quad (\text{m})$$

4.7.18 - Carga de Coluna (Q_c) (real):

$$Q_c \text{ (real)} = N^{\circ} \text{ de Cartuchos} \times \text{peso do cartucho} \quad (\text{kg})$$

4.7.19 - Espaçamento entre cartuchos de Carga de Coluna (Δh):

$$\Delta h = h_c - h_c \text{ (real)} \quad (\text{m})$$

Equação 23 - Carga específica (q)

4.7.20 - Carga específica (q):

$$q = [Q_b \text{ (real)} + Q_c \text{ (real)}] / (V \times E \times K) \quad (\text{kg/m}^3)$$

Equação 24 - Carga específica (q)

4.8 - Parâmetros de um diagrama de fogo teórico da exploração “Bouça do Menino” em Cervães

As equações apresentadas na tabela 10 pretendem demonstrar a escolha dos parâmetros utilizados num rebentamento típico na exploração “Bouça do Menino” em Cervães.

O rebentamento considerado terá as seguintes imposições que devem ser conhecidas antes da elaboração do diagrama de fogo:

- Será utilizada a perfuração com diâmetro de 76 mm.
- A bancada a desmontar tem 12 metros de altura.
- O explosivo utilizado para carga de fundo será o Emulex 731 e para carga de coluna o Emulex 711 (tabela 6).
- O tipo de rocha a desmontar é granito.
- A inclinação da furação é de 3:1.

Tabela 10 - Escolha dos parâmetros para elaboração de uma pega típica da exploração “Bouça do Menino” em Cervães

Parâmetro	Fórmula	No caso da exploração de Cervães	
		Fórmula	Resultado
Distância à frente – V _{máx}	$V_{máx} = 1,45 \times \sqrt{lb} \times R1 \times R2$	$V_{máx} = 1,45 \times \sqrt{3,93} \times 1 \times 1$	$V_{máx} = 2,87 \text{ m}$
Distância prática à frente (V)	$V = V_{máx} - F$	$V = 2,87 - 0,43 = 2,44 \text{ m}$	$V = 2,50 \text{ m}^2$
Subfuração (U)	$U = 0,3 \times V_{máx}$	$U = 0,3 \times 2,87 \text{ m}$	$U = 0,86$
Comprimento do furo	$H = 1,05 \times K + U$	$H = 1,05 \times (12 + 0,86)$	$H = 13,50 \text{ m}$
Espaçamento entre furos (E)	$E = 1,25 \times V$	$E = 1,25 \times 2,44$	$E = 3,0 \text{ m}$
Perfuração específica (b)	$b = \frac{(n \cdot H)}{(n \cdot E \cdot V \cdot K)}$	$b = 13,50 / (2,44 \times 3,0 \times 12)$	$b = 0,154 \text{ m/m}^3$
Altura da Carga de Fundo (hb)	$hb = 1,3 \times V_{máx}$	$hb = 1,3 \times 2,87$	$hb = 3,73 \text{ m}$
Carga de Fundo (Qb)	$Qb = lb \times hb$	$Qb = 3,93 \times 3,73$	$Qb = 14,66 \text{ Kg}$
Número de Cartuchos	$N^{\circ} \text{ de Cartuchos} = Qb / \text{Peso do cartucho}$	$N^{\circ} \text{ de Cartuchos} = 14,66 / 1,785$	$n = 8,21 = 9 \text{ Cartuchos}$
Carga de fundo (Qb) (real)	$Qb \text{ real} = N^{\circ} \text{ de Cartuchos} \times \text{Peso do cartucho}$	$Qb \text{ real} = 9 \times 1,785$	$Qb \text{ real} = 16,065 \text{ Kg}$
Altura da Carga de fundo (hb real)	$hb \text{ real} = N^{\circ} \text{ de Cartuchos} \times \text{medida do cartucho}$	$hb \text{ real} = 9 \times 0,5$	$hb \text{ real} = 4,5 \text{ m}$
Tamponamento (h0)	$h0 = V$	$h0 = 2,44 \text{ m}$	$h0 = 1,5 \text{ m}^3$
Altura da Carga de Coluna (hc)	$hc = H - hb \text{ real} - h0$	$hc = 13,50 - 4,5 - 2,44$	$hc = 6,56 \text{ m}$
Concentração da Carga de Coluna (Ic)	$Ic = 40\% \text{ a } 80\% \text{ de } lb$	$Ic = 0,8 \times 3,93^4$	$Ic = 3,14 \text{ Kg/m}$
Carga de Coluna (Qc)	$Qc = Ic \times hc$	$Qc = 3,14 \times 6,56$	$Qc = 20,6 \text{ Kg}$
Número de Cartuchos	$N^{\circ} \text{ de Cartuchos} = Qc / \text{peso do cartucho}$	$N^{\circ} \text{ de Cartuchos} = 20,6 / 1,785$	$n = 11,5 = 12$
Altura da Carga de Coluna (hc) (real)	$hc \text{ real} = N^{\circ} \text{ de Cartuchos} \times \text{medida do cartucho}$	$hc \text{ real} = 12 \times 0,5$	$hc \text{ real} = 6,0 \text{ m}$
Carga de Coluna (Qc real)	$Qc \text{ real} = N^{\circ} \text{ de Cartuchos} \times \text{peso do cartucho}$	$Qc \text{ real} = 12 \times 1,785$	$Qc \text{ real} = 21,42 \text{ Kg}$
Espaçamento entre cartuchos de Carga de Coluna (Δh)	$\Delta h = hc - hc \text{ real}$	$\Delta h = 6,56 - 6,0$	$\Delta h = 0,56 \text{ m}$
Carga específica (q)	$q = (Qb \text{ real} + Qc \text{ real}) / (V \times E \times K)$	$q = (16,065 + 21,42) / (2,5 \times 3,0 \times 12)$	$q = 0,42 \text{ Kg/m}^3$

4.9 - Procedimentos de carga dos explosivos

Para a realização do carregamento da pega de fogo em segurança deve ter-se em atenção um conjunto de procedimentos, entre os quais se destacam os seguintes:

² Valor ajustado para uma maior facilidade de marcação dos furos na bancada.

³ Valor típico utilizado na exploração por evidências práticas.

⁴ Considerou-se Ic como sendo 80% de lb.

- Utilização de tubos de protecção na boca do furo até terminar a operação de carga.
- Verificação da existência de água nos furos.
- Verificação da profundidade e limpeza dos furos.
- Distribuição prévia de detonadores e explosivo.
- Início do carregamento da pega apenas após a conclusão da perfuração.
- Garantir o contacto dos cartuchos com a utilização de um atacador de plástico.
- Garantir o comprimento do tamponamento.
- Utilização de brita calibrada para o tamponamento.
- Verificação das ligações com o ohmímetro, (no caso de detonadores eléctricos).
- Verificação de todas as ligações (no caso dos detonadores não eléctricos).
- Remoção dos materiais resultantes do transporte do explosivo e acessórios na zona a desmontar (caixas de cartão, plásticos e panfletos informativos).

***Capítulo 5 – Previsão da fragmentação resultante e origens do
sobredimensionamento***

5 - Previsão da fragmentação resultante e origens do sobredimensionamento

5.1 - Previsão da fragmentação

O grau de fragmentação é um termo genérico usado para descrever a distribuição de tamanhos do material fragmentado. Esta distribuição de tamanhos poderá ser muito diferente dependendo do tipo de material que se pretende produzir. Por exemplo, quando se produzem britas ou areias pretende-se que o material seja fragmentado o mais possível devido à acção dos explosivos para baixar os custos subsequentes das operações de britagem. No entanto, se o material a produzir é grosseiro, como o enrocamento, pretende-se apenas a libertação de grandes blocos por efeito do explosivo e pouco efeito de fragmentação.

Além das propriedades inerentes das rochas (considerados parâmetros incontrolláveis) há um número de parâmetros controláveis que influenciam a fragmentação.

A optimização de qualquer operação de desmonte com explosivos requer um conhecimento prévio, ainda que aproximado, do tamanho dos fragmentos produzidos numa pega com determinadas condições.

Não há nenhum método ou equação que forneça uma previsão exacta, mas durante os últimos anos numerosos investigadores desenvolveram modelos que variam entre simples equações empíricas até simulações completamente computadorizadas.

Em seguida serão apresentados alguns dos modelos mais aceites actualmente para a previsão da fragmentação resultante do material.

5.1.1 - Modelo de Larsson

Esta equação, proposta em 1973 por Larsson para a determinação do K_{50} , ou a abertura quadrática onde 50% do material passa é apresentada na equação 25 (Lopez Jimeno *et al.*, 1995).

$$K_{50} = s \times e^{(0,58 \times \ln B - 0,145 \times \ln(\frac{S}{B}) - 1,18 \times \ln(\frac{CE}{c}) - 0,82)}$$

Equação 25 - Determinação do K_{50} . Larsson (1973)

Onde:

B - Distância à frente (m)

S/B - Relação entre espaçamento/distância à frente

CE - Carga específica (kg/m^3)

c - Constante da rocha (é equivalente à carga específica do explosivo gelatinoso dinamite necessário para fragmentar a rocha, normalmente entre 0,3 e 0,5 kg/m³)

s - Constante de fragmentabilidade (Este factor tem em conta a heterogeneidade e descontinuidades da massa rochosa. Muito fracturada e fissurada s=0,60; Rocha fracturada s=0,55; Rocha normal com pequenas fracturas s=0,50; Rocha relativamente homogénea s=0,45; Rocha homogénea s=0,40)

5.1.2 - Modelo SVEDEFO (Swedish Detonic Research Foundation)

O modelo SVEDEFO adiciona novos termos relativamente ao modelo de Larson (1973), especificamente termos relativos ao efeito da altura de bancada e comprimento do tamponamento. O modelo SVEDEFO apresenta-se na equação 26 (Lopez Jimeno *et al.*, 1995).

$$K_{50} = s' \times \left[1 + 4,67 \left(\frac{T}{L} \right)^{2,5} \right] \times e^{0,29 \ln B^2 \sqrt{\frac{s}{1,25}} - 1,18 \ln \left[\frac{CE}{c} \right]^{0,92}}$$

Equação 26 - Modelo SVEDEFO (Lopez Jimeno *et al.*, 1995).

Onde:

B - Distância à frente (m).

S - Espaçamento (m).

CE - Carga específica (kg/m³).

c - Constante da rocha.

s - Constante de fragmentabilidade.

T - Comprimento do tamponamento (m).

L - Comprimento do furo (m).

5.2 - Sobredimensionamento no desmonte

Segundo Narendrula & Singh (2010) a produtividade de uma exploração depende da habilidade do engenheiro responsável em produzir uma distribuição de tamanhos dos fragmentos o mais aproximado possível da distribuição óptima tendo em conta as operações subsequentes.

Do ponto de vista prático, o “oversize” é definido como um tamanho de blocos produzido pela acção dos explosivos que necessitam de operações auxiliares de redução de tamanho de forma a terem um tamanho admissível no britador primário.

A geração destes grandes blocos na pilha de material produzida tem um efeito nefasto na economia e produtividade que é evidente nas operações seguintes do processo de redução de tamanho.

O método de fractura e fragmentação de maciços rochosos constituídos por rochas duras que actualmente é o mais usado consiste em operações de perfuração e rebentamento com explosivos.

As operações de carregamento, britagem e moagem (se aplicáveis), estão directamente influenciadas pelos resultados das operações de perfuração e rebentamento com explosivos.

5.2.1 Designação de “oversize”

O termo “oversize” pode ser definido como qualquer bloco produzido pela operação de desmonte, que não pode ser tratado adequadamente pelos equipamentos padrão de carregamento, transporte e britagem. Do ponto de vista prático, “oversize” também pode ser definido como um tamanho que precisa de uma operação de quebra secundária antes do seu manuseio.

Não é prático atribuir uma dimensão ou tamanho para definir o “oversize”, uma vez que este varia de uma operação para outra, dependendo do tipo de equipamentos usados no carregamento, transporte e esmagamento.

Durante o normal funcionamento da exploração, o tamanho acima do qual o material pode ser chamado “oversize” pode variar para a máquina de carga e triturador, se não forem combinadas apropriadamente.

O tamanho ideal tendo em consideração os equipamentos de carga e transporte, é aquele que maximiza a produtividade do equipamento e reduz o custo global do tratamento.

Ao mesmo tempo, o tamanho ideal para um triturador é aquele que maximiza a sua produção, minimiza o consumo de energia e reduz o desgaste. Algumas tentativas feitas para definir o “oversize” são apresentadas em seguida:

5.2.2 “Oversize” e tamanho médio dos fragmentos

Larson (1974) sugeriu que o tamanho médio dos blocos é aproximadamente 2,6 vezes o tamanho médio dos fragmentos (Lopez Jimeno *et al.*, 1995).

$$Os > (Cs) \times 0,33$$

Onde Os é o “oversize” (dimensão mais larga), em metros, e Cs é a capacidade do balde, em m^3 .

$$Os > 0,7 \times Lb$$

Onde Lb é a menor dimensão do balde de carregamento em m.

O tamanho do bloco ideal tem geralmente entre 1/6 e 1/8 da capacidade do balde do equipamento de carregamento.

Para o britador (Lopez Jimeno et al., 1995), o Os deve obedecer à seguinte condição:

$$Os > 0,8 \times \text{tamanho admissível no britador}$$

5.2.3 Implicações do “oversize”

O “oversize” afecta as operações de mineração de muitas maneiras. Alguns dos efeitos mais significativos estão descritos em seguida:

- Tempo extra necessário para separar os blocos.
- Operações de carga ineficiente.
- O tempo de ciclo superior dos equipamentos de carregamento, devido a uma maior espera e tempos de carregamento.
- Risco de danos nos equipamentos de carga e transporte.
- Desgaste extra do equipamento de carregamento e transporte (Kumar, 1995).
- Encravamentos e desgaste do britador.
- Em algumas explorações, o “oversize” é enviada para o vazadouro, resultando em redução das reservas de minério e perda de bens.
- Custo da fragmentação secundária.

5.2.4 Identificação da origem do “oversize”

Pretendendo resolver o problema do aparecimento de grandes blocos, o primeiro passo é descobrir a sua origem.

As seguintes etapas devem ser consideradas para identificar as origens do “oversize”:

- Obtenção de fotos logo após o rebentamento e durante as operações de carregamento.
- Comunicar com os operadores do equipamento de carregamento para observar e registrar o local onde o “oversize” é encontrado.
- Recolher as informações detalhadas possíveis sobre as características geológicas, bem como as condições do maciço antes e depois do rebentamento.
- Documentar os detalhes dos parâmetros de desenho do diagrama de fogo.
- Anotar o tipo de rocha e geologia dos grandes blocos.
- Documentar o tamanho, forma e outros detalhes relevantes dos grandes blocos.

5.3 Origens do sobredimensionamento no desmonte

Geralmente o “oversize” em pedreiras pode ocorrer devido a várias razões que podem ser divididas em três categorias (figura 17):

- Devido às condições naturais ou geológicas.
- Devido aos parâmetros escolhidos para a perfuração e desmonte.
- Devido a causas humanas.

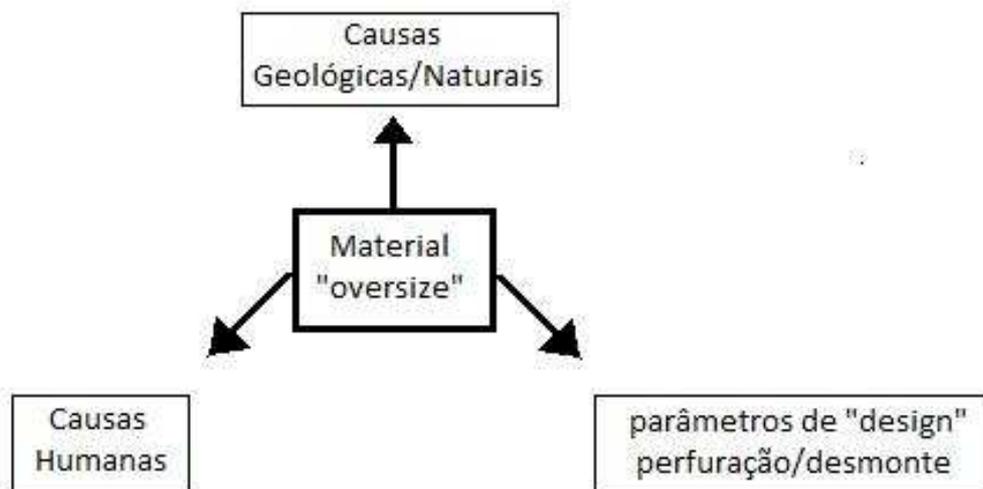


Figura 17 - Possíveis causas para a formação de pedras enormes, “oversize” (Adaptado de Narendrula & Singh, 2010)

A figura 18 ilustra uma frente de desmonte típica numa exploração a céu aberto para exploração de agregados graníticos.

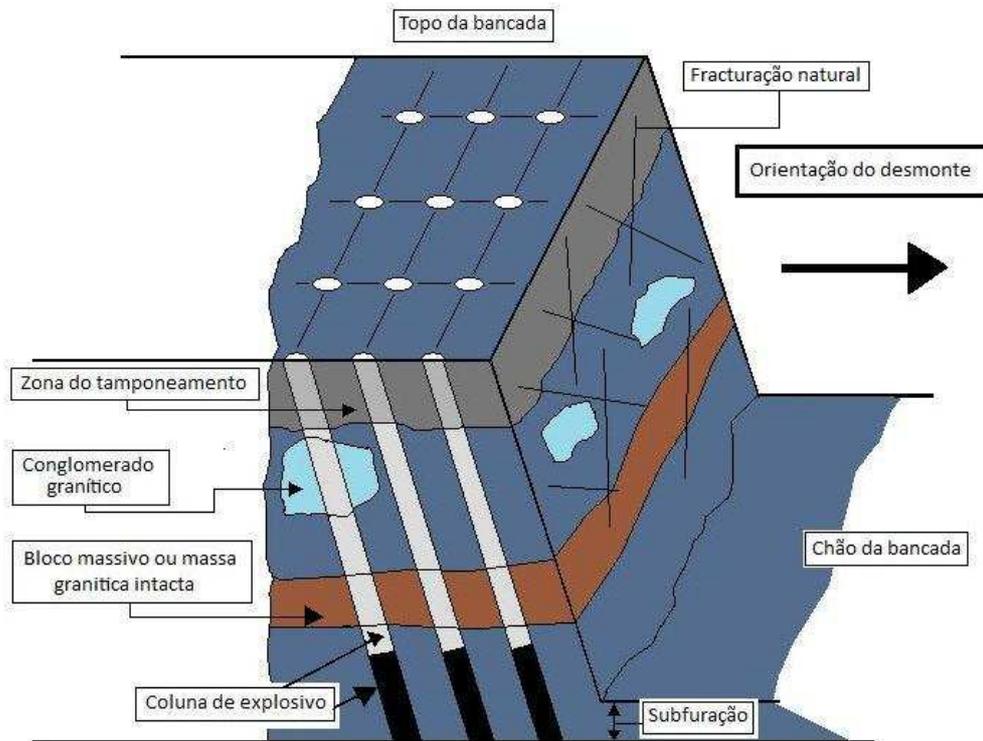


Figura 18 - Frente de desmonte típica na produção de agregados. (Adaptado de Narendrula & Singh, 2010)

5.4 Causas geológicas do aparecimento de material “oversize”

Tendo em conta o trabalho publicado por Narendrula & Singh (2010), a geologia presente é um dos maiores factores para a formação de grandes blocos, não só na periferia do rebentamento como também no seu interior. É muito difícil de controlar o aparecimento de grandes blocos na pilha de material desmontado mesmo tendo o pleno conhecimento das características da área ou face do rebentamento. Em seguida são descritos os modos como os resultados do rebentamento são afectados pela geologia local.

5.4.1 Grandes blocos criados na periferia da área a desmontar.

Uma das principais fontes de criação de grandes blocos são as grandes massas graníticas intactas (não atravessadas pela fracturação natural) quando estas se encontram no limite da área a desmontar. Poderão apresentar-se como faixas de material embutido na área de influência da zona a desmontar. A quantidade de grandes blocos produzidos depende da localização destas

faixas no interior da bancada, da energia produzida pelos explosivos utilizados ou devido ao padrão da geometria de perfuração.

5.4.2 Grandes blocos criados por conglomerados.

Os conglomerados naturalmente embutidos na bancada e formações de depósito são outra fonte de grandes blocos a considerar, uma vez que estes são muito difíceis de quebrar, a menos que o conglomerado seja atravessado por um furo e o explosivo utilizado seja suficientemente energético para promover a sua fragmentação. Na maioria dos casos a explosão apenas os liberta para a pilha de material produzida.

5.4.3 Falhas.

As falhas enfraquecem a face da bancada e permitem aos grandes blocos o movimento na direcção da face livre e a sua queda sem fragmentação.

5.4.4 Diques intrusivos e camadas de material.

Os diques intrusivos são outra fonte importante de criação dos grandes blocos, uma vez que o material constituinte dos diques quando mais mole que o material envolvente, originando uma absorção da energia transmitida pelo explosivo e consequente perda de energia na zona de contacto, onde são comuns as fracturas expostas.

As diferenças de dureza com que se apresentam as camadas de material no interior da bancada são outra fonte de material "oversize". Bandas de material de dureza superior podem aparecer em qualquer área da zona a desmontar sendo difíceis de quebrar quando se apresentam na zona da boca do furo (zona de influência do tamponamento) ou na base da bancada a desmontar.

5.4.5 Juntas e descontinuidades estruturais.

As juntas, como todas as outras estruturas geológicas enfraquecem a formação rochosa e permitem o escape prematuro dos gases, levando assim à produção de blocos grandes ou muito grandes.

5.5 Causas devidas a práticas de perfuração e parâmetros geométricos do rebentamento.

Uma das principais razões para o sobredimensionamento no material desmontado deve-se à perfuração inadequada.

Os desvios nos furos alteram os parâmetros do diagrama de fogo, tais como o espaçamento e distância entre furos. Esta variação da área desmontável em profundidade conduz a uma carga específica variável no interior do maciço sendo esta uma fonte considerável de produção de blocos de grandes dimensões.

De forma a obter-se uma fragmentação boa e uniforme, todos os furos devem ser carregados correctamente e detonados numa sequência adequada. Algumas vezes durante a detonação ocorrem tiros falhados. Estes devem-se a um carregamento impróprio onde o detonador não está numa boa posição de contacto com o explosivo. Apenas um tiro falhado no rebentamento pode contribuir para o aparecimento de grandes blocos. As sequências de detonação quando não são correctamente escolhidas resultam em projecções ou contribuem também para a formação de grandes blocos. Além disto o atraso de tempos entre furos deve ser tal que permita a movimentação do material antes dos rebentamentos dos furos seguintes.

5.6 Causas Humanas

5.6.1 Motivação

O processo de perfuração e rebentamento é a fase mais importante na sequência das operações de redução de tamanho. O sucesso destas operações dita o sucesso das operações subsequentes, como o carregamento e a britagem. A implementação do diagrama de fogo está a cargo das equipas de perfuração e carregamento, sendo de grande importância que estas equipas se encontrem motivadas para fazer o trabalho correcto para uma dada situação.

5.6.2 Formação e educação

As operações de perfuração e carregamento são altamente especializadas e exigem um constante treino e formação especial, seguida da experiência adquirida no trabalho. Estes operadores devem ser mantidos actualizados sobre os mais recentes desenvolvimentos na sua área através da formação.

5.7 - Modelação com programas informáticos

Nenhum programa de optimização actualmente utilizado pode levar a resultados razoáveis, sem um mínimo de esforço para incluir informações as mais correctas possíveis.

O controlo preciso da fragmentação da rocha desmontada justifica-se pelas vantagens que proporciona, tanto em termos de economia e sobre os seus efeitos sobre o meio ambiente.

A análise das operações sugere que há uma fragmentação óptima potencial de acordo com parâmetros a usar nos rebentamentos que permitem melhorar a produtividade e o custo dos processos a jusante.

A previsão da fragmentação tem sido objecto de muita investigação científica e de engenharia. Alguns modelos empíricos encontraram aplicação prática, mas a eficácia tem sido limitada pelas suas bases muito simples.

Durante a última década foram criadas ferramentas de monitorização eficazes, instrumentos de concepção de explosão, sistemas flexíveis de iniciação, o mapeamento do maciço rochoso, sistemas de modelagem e sistemas de avaliação de fragmentação.

Um caminho possível para a modelação da melhor fragmentação resultante envolve a descrição probabilística da estrutura do maciço rochoso e análise dinâmica da sequência de rebentamento aplicados a modelos de ruptura, com os volumes reais de rocha e trabalho em cada furo por rebentamento em qualquer instante de tempo. O maior potencial desta técnica é baseado na análise de imagens digitais, as quais utilizam software específico para quantificar as entidades bidimensionais na área da imagem como o perímetro, a forma, o tamanho e a orientação.

Actualmente no processamento digital de imagens recomenda-se a utilização de duas escalas para correcção de ângulos de inclinação da pilha do material desmontado.

Para determinação das curvas granulométricas do material resultante das pilhas dos rebentamentos considerados para este estudo trataram-se as imagens digitais destas tiradas logo após o rebentamento, à superfície, e depois de carregado material suficiente para expor o seu interior.

O programa *Wip Frag I* (WIP Ware, 1997), utilizado neste estudo, é um dos programas importantes na análise da fragmentação resultante, *Wip Frag 2* e *3* são totalmente integrados e permitem medições automáticas e controle de máquinas em movimento como transportadores e britadores em tempo real.

Depois de recolhidas as imagens do material desmontado procede-se ao seu tratamento com o programa, seguindo a ordem sugerida:

- Fazer upload da imagem para o programa;

- Determinar a escala do desenho, por comparação de um objecto escala captado na imagem;
- Usar a grelha automática do programa;
- Corrigir possíveis erros na grelha criada pelo programa;
- Indicar os elementos que não devem ser considerados na imagem e o que consideramos material fino;
- Traçar a curva automática da fragmentação;
- No caso de usarmos várias imagens da mesma pega (ex: à superfície e no interior) podemos cruzar posteriormente todas as curvas numa só usando o comando “merged”.

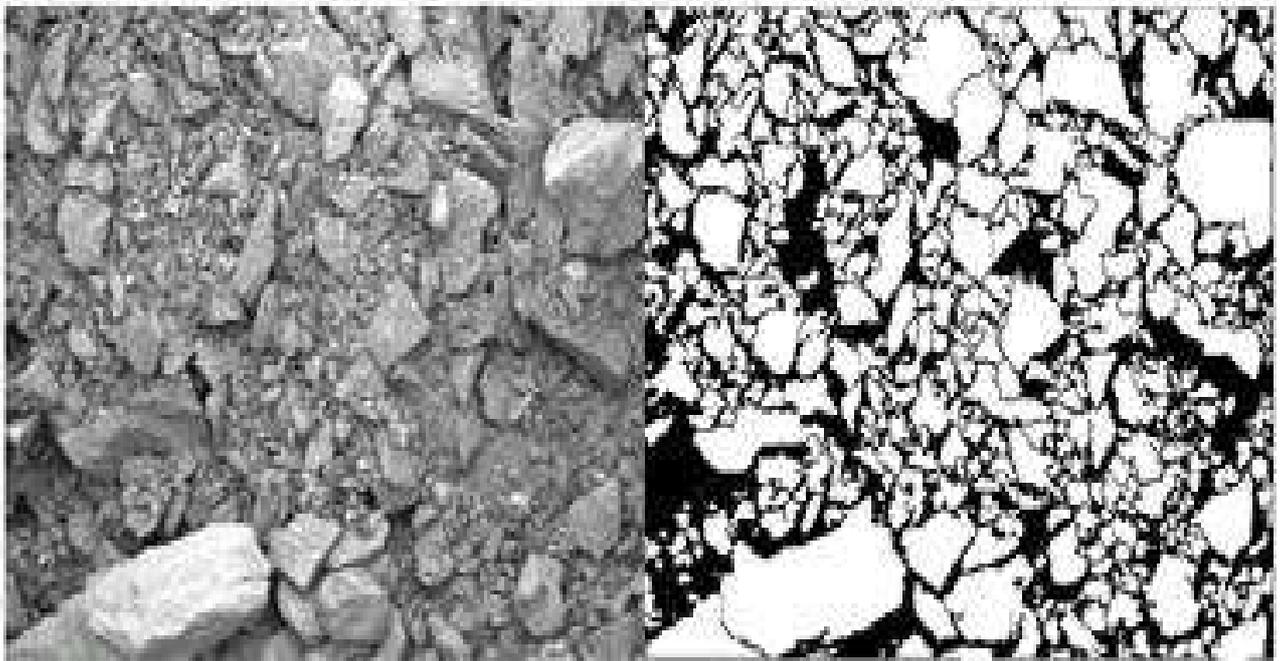


Figura 19 - Imagem tratada digitalmente. (<http://www.metsominerals.com.br>, 2009)

De referir que o programa Wipfrag está dependente da qualidade das imagens digitais analisadas. Quando as imagens são de mais baixa resolução, ou quando se pretende analisar uma imagem obtida à distância da pilha desmontada, o programa tem dificuldade em analisar as granulometrias mais baixas.

Nas curvas criadas partindo das imagens consideradas neste estudo, as menores granulometrias que o programa consegue apresentar estão na gama de 12,5mm a 25mm. Este limite é considerado aceitável se considerarmos que as percentagens de material de gamas inferiores são muito baixas, na ordem dos 0,4% de material passado.

Capítulo 6 – Controlo e avaliação da fragmentação prevista

6 - Controlo e avaliação da fragmentação prevista

O grau de fragmentação pretendido influencia as operações de desmonte. Características da rocha fragmentada tais como o tamanho dos fragmentos, o volume e a massa são variáveis fundamentais afectando economicamente a operação de desmonte e servem de base para a avaliação da qualidade da mesma.

Seguidamente, serão abordados alguns parâmetros que influenciam a qualidade da fragmentação, parâmetros que servem como orientação para obter um controlo sobre a curva granulométrica do material resultante.

6.1 - Distribuição do tamanho dos fragmentos

A descrição da fragmentação pode ser efectuada por análise de dados geométricos tais como a distribuição dos tamanhos dos fragmentos e o coeficiente de forma com que se apresentam (angulosos ou arredondados).

Segundo Ouchterlony (2003) uma descrição completa da distribuição dos tamanhos dos fragmentos obtém-se pela elaboração de uma curva de fragmentação. Esta curva permite determinar a distribuição de tamanhos cumulativa dos fragmentos, como sendo a fracção de massa (P) que passa numa malha de abertura (x). A função $P(x)$ varia entre os valores 0 a 1, ou 0 a 100%, tal como se pode verificar na figura 20.

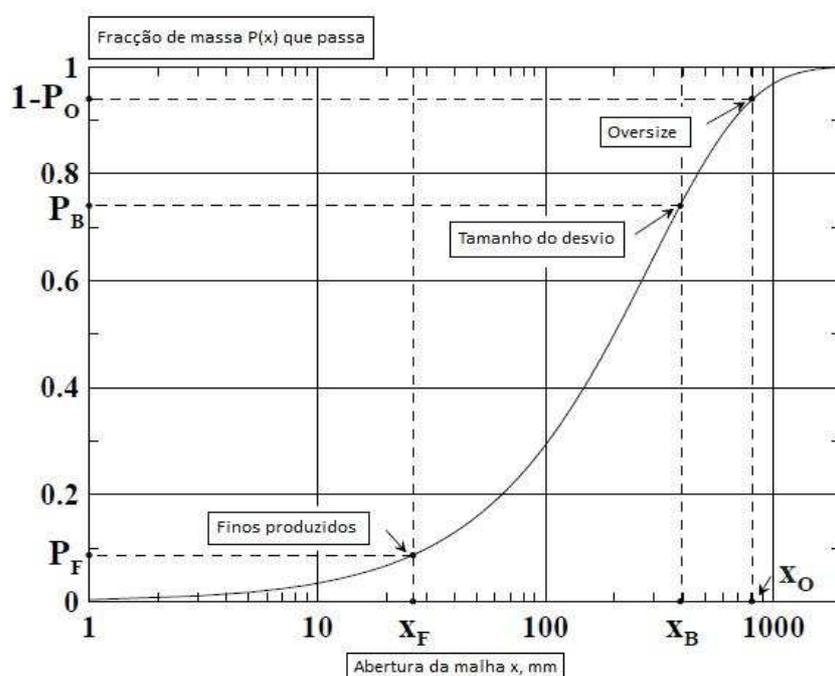


Figura 20 - Exemplo de uma curva de fragmentação. (Adaptado de Ouchterlony, 2003)

6.2 - Avaliação da fragmentação

A análise da curva de fragmentação obtida na pega de fogo deve ser efectuada de forma a permitir avaliar a qualidade da operação. Neste trabalho foi considerado o valor de D_{50} e a fracção superior a 750 mm das curvas de fragmentação, limite acima do qual o material é considerado “oversize”, tendo em conta a abertura do britador primário. Estes valores serão ainda comparados com os valores obtidos a partir da curva granulométrica do material “in situ” de modo a avaliar a evolução da fragmentação por acção do explosivo.

A interpretação dos resultados obtidos servirá como orientação para a alteração dos parâmetros de desenho dos diagramas de fogo seguintes.

O processo de optimização da operação deverá ser feito por alteração de apenas um parâmetro de cada vez em relação ao rebentamento anterior. A alteração sucessiva de apenas um parâmetro em cada rebentamento permite-nos avaliar os efeitos decorrentes de um parâmetro isolado, eliminando a hipótese dos efeitos resultantes dependerem da interacção de dois ou mais parâmetros alterados simultaneamente que podem levar a conclusões menos correctas.

No presente caso, a carga específica foi aumentada de forma indirecta, por variação da relação espaçamento / distância à frente (E/V), mantendo as condições de aplicação dos explosivos nos furos inalteradas.

Com o processo de optimização dos parâmetros utilizados nos rebentamentos pretende-se obter uma fragmentação do material que seja a mais aceitável para a entrada no britador primário, sem contudo comprometer o resultado económico da exploração.

Devido ao aumento da carga específica prevê-se uma redução do tamanho dos maiores fragmentos na pilha de material desmontado. Uma vez que se aumenta ou diminui o número de furos para o mesmo volume desmontado, poderá haver um aumento ou uma diminuição na produção de finos estando directamente relacionada com as variações da perfuração específica (figura 21).

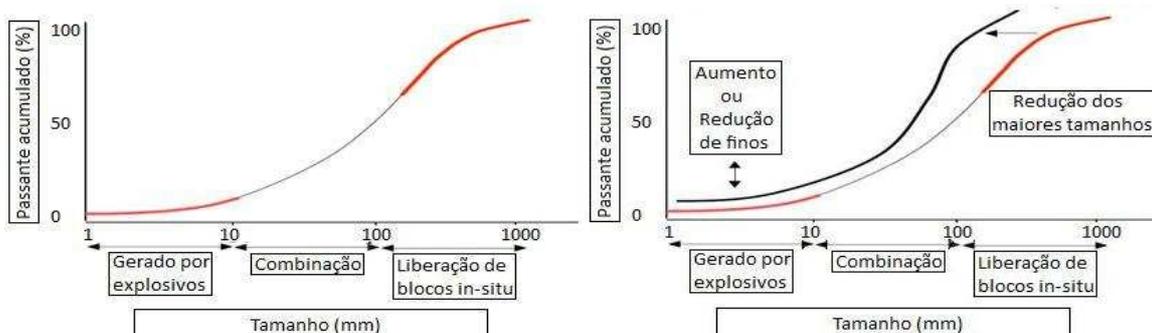


Figura 21 - Influência do aumento da carga específica na curva de fragmentação. (Adaptado de <http://www.metsominerals.com.br>, 2009)

De forma a realizar uma avaliação global dos resultados obtidos nos diferentes rebentamentos deverão ser considerados os seguintes aspectos:

- A fragmentação produzida e o empolamento da pilha de escombros;
- A geometria da pilha em relação à frente, a sua altura e o deslocamento produzido;
- O estado do maciço residual e do piso da bancada;
- A presença de grandes blocos na pilha de escombros;
- As vibrações, projecções e onda de choque aérea produzidas no rebentamento.

Estes aspectos deverão ser analisados independentemente por comparação dos resultados obtidos nos diferentes rebentamentos, de forma a ser possível a avaliação global da operação.

6.3 - Influência da fragmentação resultante no consumo de energia da operação de britagem

O material resultante do desmonte com explosivos apresenta uma resistência à compressão menor do que fragmentos britados da mesma dimensão. Isto verifica-se porque o material desmontado está impregnado de micro e microfissuração.

O tamanho com que os fragmentos são levados para o britador primário tem uma grande influência no consumo de energia desta fase de redução de tamanho já que quanto maior for a resistência do fragmento, maior será a energia consumida, maior o tempo de residência na câmara de trituração e maior o desgaste da máquina por fricção com os elementos em contacto com a rocha. Para determinar o consumo de energia na fragmentação baseamo-nos nas seguintes leis:

- Lei de Kick - Aplica-se preferencialmente a fragmentações de partículas grossas, onde o consumo de energia é proporcional à variação do volume das partículas. Traduz-se pela seguinte expressão:

$$W = K \log \left(\frac{D80}{d80} \right)$$

Equação 27 - Lei de Kick

Em que :

D_{80} - Calibre abaixo do qual se encontra 80% do produto após fragmentação com a posição fechada.

d_{80} - Calibre abaixo do qual se encontra 80% do produto após fragmentação com a posição aberta.

- Lei de Bond - Esta lei diz-nos que o consumo de energia é proporcional ao novo comprimento da fractura verificada aquando da fragmentação das partículas. Apresenta a seguinte expressão:

$$W = 10W_i \left(\left(\frac{1}{\sqrt{d_{80}}} \right) - \left(\frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right) \right)$$

Equação 28 - Lei de Bond

Em que:

$D_{80} < 10$ cm e $d_{80} > 74$ μ m.

W - Trabalho consumido na obtenção da fractura (KW/h/sht⁵)

W_i – Índice de Bond, cujo valor se encontra tabelado sendo que considerando o material Granito, com peso específico de 2,66 kg/m³, se obtêm o valor $W_i = 14,39$.

- Lei de Charles – Este autor apresentou a seguinte expressão, com base nas leis anteriores:

$$dW = -C \frac{dx}{x^n}$$

Equação 29 - Lei de Charles

Em que:

dW - Variação de energia consumida na fragmentação;

C - Constante;

d_x - Variação de dimensão que necessita um trabalho dW por unidade de volume;

x - Dimensão do bloco;

n - Constante, função do modo de fragmentação.

⁵ 1 sht (short ton) corresponde a 907 Kg

Ao atribuir valores a n teremos:

$n=1$ - Lei de Kick.

$n=2$ - Lei de Rittinger.

$n=3/2$ - Lei de Bond.

Capítulo 7 – Características dos rebentamentos com explosivos estudados

7 - Características dos rebentamentos realizados

7.1 - Parâmetros utilizados nos diagramas de fogo realizados

Para a realização deste estudo foram consideradas os rebentamentos da exploração de Cervães com avanço no sentido Este.

Os rebentamentos foram realizados em dois tipos de estrutura: Em bancadas de granito alterado e em bancadas de granito são.

Para determinar a influência do grau de alteração na qualidade da fragmentação resultante, uma vez que à superfície o granito é do tipo W2 e da bancada 3, em profundidade, é do tipo W1, foram consideradas dois rebentamentos típicos da exploração em granito W2 ligeiramente alterado e uma em granito W1 “são”, mantendo a carga específica constante.

Para o estudo da influência da carga específica por modificação da relação E x V, foram consideradas três rebentamentos com maior carga específica (duas configurações) nas bancadas inferiores, onde o material é de melhor qualidade, de forma a poderem ser comparadas com o rebentamento tipo da exploração realizada na bancada inferior número 5.

Na tabela 11 estão indicadas as nomenclaturas utilizadas para definir os diferentes tipos de rebentamentos realizados.

Tabela 11 - Tipos de rebentamentos realizados

Tipo de rebentamento	Tipo de granito	Relação V x E (m)
Plano tipo 1	São	2,5 x 3,0
Plano tipo 2	Alterado	2,5 x 3,0
Plano tipo A	São	2,0 x 3,0
Plano tipo B	São	2,0 x 2,5

A tabela 12 apresenta a ordem de realização dos rebentamentos considerada para este estudo, sendo também indicado o tipo de material, identificação da bancada, parâmetros geométricos considerados e a carga específica efectivamente utilizada em cada.

Tabela 12 - Parâmetros dos rebentamentos realizados

Rebentamento	Tipo de rebentamento	Data de realização	Bancada	Tipo de granito	Relação V * E (m)	Carga específica (Kg/m ³)
n.º1	Plano tipo 1	20-03-2009	5	São	2,5 * 3,0	0,46
n.º2	Plano tipo 2	28-05-2009	1	Alterado	2,5 * 3,0	0,47
n.º3	Plano tipo A	24-06-2009	4	São	2,0 * 3,0	0,579
n.º4	Plano tipo 2	19-08-2009	1	Alterado	2,5 * 3,0	0,446
n.º5	Plano tipo B	09-09-2009	5	São	2,0 * 2,5	0,695
n.º6	Plano tipo A	19-02-2010	3	São	2,0 * 3,0	0,52

O rebentamento tipo 1 está representado de modo esquemático na figura 22.

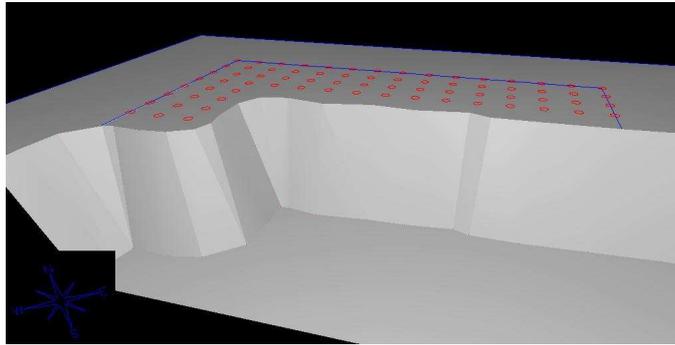


Figura 22 - Esquema do rebentamento tipo 1 (20-03-2009)

A tabela 13 apresenta os dados relativos ao rebentamento nº 1. Estão considerados os parâmetros gerais do rebentamento, da perfuração, dos explosivos e acessórios de tiro utilizados.

Tabela 13 - Parâmetros do rebentamento n.º1 com o plano tipo 1 (20-03-2009)

Rebentamento realizado no dia 20/03/2009				
Rebentamento da exploração n.º 109		Granito são: 2,5 m x 3,0 m		
Frente - Este		Bancada n.º 5		
Parâmetros gerais		Perfuração		
Altura da bancada	13 m	Diagrama de fogo n.º 31		
Comprimento dos furos	13,65 m	Data perfuração	16-03-2009	
Distancia á frente	2,5 m			
Espaçamento	3,0 m	Diâmetro de furação	76mm	
Tamponamento	1,5 m			
N.º furos da pega	72	Altura da bancada (H)	13 m	
Volume desmontado	7371 m ³			
Metros perfurados	982,09 m	Perfuração específica	0,14 m/m ³	
Carga específica	0,46 kg/m ³			
Explosivos utilizados				
Tipo de carga	Tipo de explosivo	N.º de cartuchos	Dimensão	Peso Total
Carga de fundo	Emulex 731	434	60 x 500	775 kg
Carga de coluna	Emulex 711	1.442	60 x 500	2.575 kg
Acessórios de tiro				
Tipo de detonador		Tempo retardo	N.º detonadores	
Detonadores eléctricos		0 ms	1	
Detonadores não eléctricos		17 ms	25	
		25 ms	1	
		42 ms	47	
		400 ms	72	

O primeiro rebentamento tipo 2 está representado de modo esquemático na figura 23.

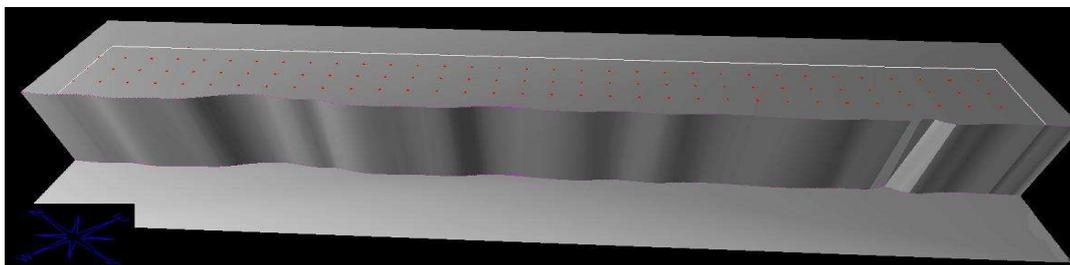


Figura 23 - Esquema do rebentamento tipo 2 (28-05-2009)

A tabela 14 apresenta os dados relativos ao rebentamento n.º 2. Estão considerados os parâmetros gerais do rebentamento, da perfuração, dos explosivos e acessórios de tiro utilizados.

Tabela 14 - Parâmetros do rebentamento n.º 2 com o plano tipo 2 (28-05-2009)

Rebentamento realizado no dia 28/05/2009				
Rebentamento da exploração n.º 99		Granito ligeiramente alterado: 2,5 m x 3,0 m		
Frente - Este		Bancada n.º 1		
Parâmetros gerais		Perfuração		
Altura da bancada	12 m	Diagrama de fogo n.º 35		
Comprimento dos furos	13,25 m	Data perfuração	11-10-2008	
Distancia á frente	2,5 m			
Espaçamento	3,0 m	Diâmetro de furação	76mm	
Tamponamento	1,5 m			
N.º furos da pega	102	Altura da bancada (H)	12 m	
Volume desmontado	9.180 m ³			
Metros perfurados	1.351,04 m	Perfuração específica	0,1471 m/m ³	
Carga específica	0,47 kg/m ³			
Explosivos utilizados				
Tipo de carga	Tipo de explosivo	N.º de cartuchos	Dimensão	Peso Total
Carga de fundo	Emulex 731	616	60x x500	1.100 kg
Carga de coluna	Emulex 711	1.792	60 x 500	3.200 kg
Acessórios de tiro				
Tipo de detonador		Tempo retardo	N.º detonadores	
Detonadores eléctricos		0 ms	1	
Detonadores não eléctricos		17 ms	37	
		25 ms	1	
		42 ms	64	
		400 ms	102	

O segundo rebentamento tipo 2 está representado de modo esquemático na figura 24.

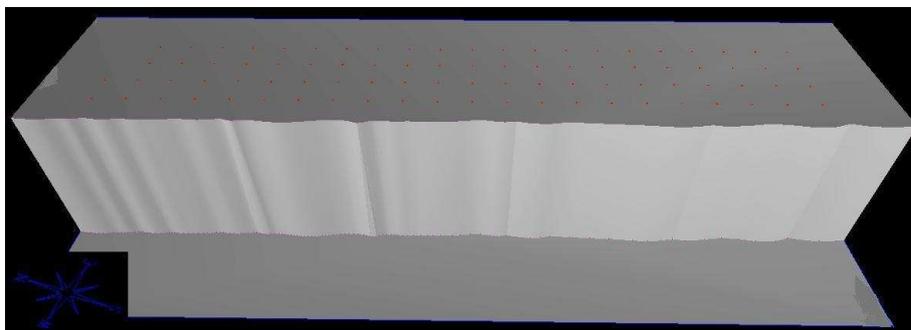


Figura 24 - Esquema do rebentamento tipo 2 (19-08-2009)

A tabela 15 apresenta os dados relativos ao rebentamento n.º 4. Estão considerados os parâmetros gerais da pega, da perfuração, dos explosivos e acessórios de tiro utilizados.

Tabela 15 - Parâmetros do rebentamento n.º 4 com o plano tipo 2 (19-08-2009)

Rebentamento realizado no dia 19/08/2009				
Rebentamento da exploração n.º 118		Granito ligeiramente alterado: 2,5 m x 3,0 m		
Frente – Este		Bancada n.º 1		
Parâmetros gerais		Perfuração		
Altura da bancada	12,60 m	Diagrama de fogo		
Comprimento dos furos	Diversos	Data perfuração	18-05-2009	
Distancia á frente	2,5 m			
Espaçamento	3,0 m	Diâmetro de furação	76mm	
Tamponamento	1,5 m			
N.º furos da pega	86	Altura da bancada (H)	12,60 m	
Volume desmontado	8.623,65 m ³			
Metros perfurados	1.150,21 m	Perfuração específica	0,13 m/m ³	
Carga específica	0,446 kg/m ³			
Explosivos utilizados				
Tipo de carga	Tipo de explosivo	N.º de cartuchos	Dimensão	Peso Total
Carga de fundo	Emulex 731	518	60 x 500	925 kg
Carga de coluna	Emulex 711	1.638	60 x 500	2.925 kg
Acessórios de tiro				
Tipo de detonador		Tempo retardo	N.º detonadores	
Detonadores eléctricos		0 ms	1	
Detonadores não eléctricos		17 ms	26	
		25 ms	1	
		42 ms	59	
		400 ms	88	

O primeiro rebentamento tipo A está representado de modo esquemático na figura 25.

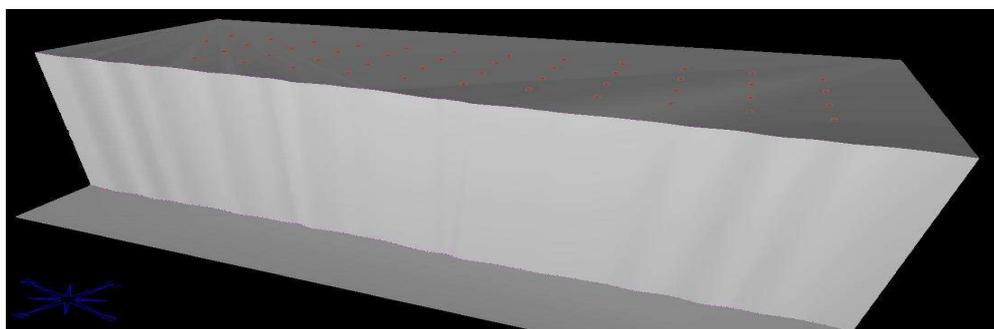


Figura 25 - Esquema do rebentamento tipo A (24-06-2009)

A tabela 16 apresenta os dados relativos à pega de fogo n.º 3. Estão considerados os parâmetros gerais da pega, da perfuração, dos explosivos e acessórios de tiro utilizados.

Tabela 16 - Parâmetros do rebentamento n.º 3 com plano tipo A (24-06-2009)

Rebentamento realizado no dia 24/06/2009				
Rebentamento da exploração n.º 113		Granito são: 2,0 m x 3,0 m		
Frente - Este		Bancada n.º 4		
Parâmetros gerais		Perfuração		
Altura da bancada	14 m	Diagrama de fogo n.º 36		
Comprimento dos furos	14,39 m	Data perfuração	18-06-2009	
Distancia á frente	2,0 m		Diâmetro de furação	76mm
Espaçamento	3,0 m	Altura da bancada (H)		14 m
Tamponamento	1,5 m		Perfuração específica	0,166 m/m ³
N.º furos da pega	46			
Volume desmontado	3.972,12 m ³			
Metros perfurados	662,02 m			
Carga específica	0,579 kg/m ³			
Explosivos utilizados				
Tipo de carga	Tipo de explosivo	N.º de cartuchos	Dimensão	Peso Total
Carga de fundo	Emulex 731	280	60 x 500	500 kg
Carga de coluna	Emulex 711	1.008	60 x 500	1.800 kg
Acessórios de tiro				
Tipo de detonador		Tempo retardo	N.º detonadores	
Detonadores eléctricos		0 ms	1	
Detonadores não eléctricos		17 ms	16	
		25 ms	1	
		42 ms	30	
		400 ms	46	

O segundo rebentamento tipo A está representado de modo esquemático na figura 26.

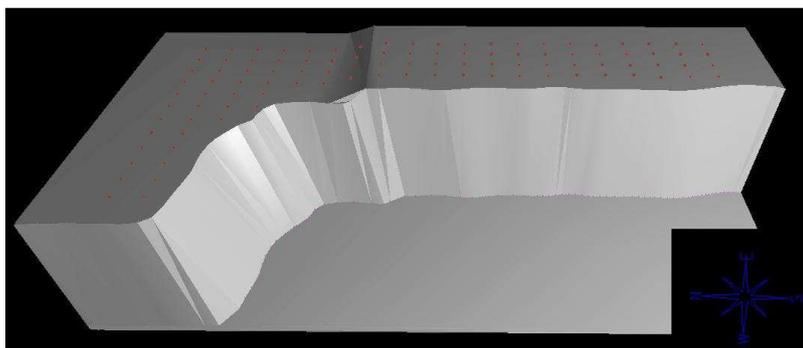


Figura 26 - Esquema do rebentamento tipo A (19-03-2010)

A tabela 17 apresenta os dados relativos à pega de fogo n.º 6. Estão considerados os parâmetros gerais da pega, da perfuração, dos explosivos e acessórios de tiro utilizados.

Tabela 17 - Parâmetros do rebentamento nº 6 com plano tipo A (19-03-2010)

Rebentamento realizado no dia 19/03/2010				
Rebentamento da exploração n.º 132		Granito são: 2,0 m x 3,0 m		
Frente - Este		Bancada n.º 3		
Parâmetros gerais		Perfuração		
Altura da bancada	13,5 m	Diagrama de fogo n.º 55		
Comprimento dos furos	diversos	Data perfuração	01-03-2010	
Distancia á frente	2,0 m			
Espaçamento	3,0 m	Diâmetro de furação	76mm	
Tamponamento	1,5 m			
N.º furos da pega	100	Altura da bancada (H)	13,5 m	
Volume desmontado	8.153.76m ³			
Metros perfurados	1.358.96 m	Perfuração específica	0,16 m/m ³	
Carga específica	0,52 kg/m ³			
Explosivos utilizados				
Tipo de carga	Tipo de explosivo	N.º de cartuchos	Dimensão	Peso Total
Carga de fundo	Emulex 731	602	60 x 500	1.075 kg
Carga de coluna	Emulex 711	1.778	60 x 500	3.175 kg
Acessórios de tiro				
Tipo de detonador		Tempo retardo	N.º detonadores	
Detonadores eléctricos		0 ms	1	
Detonadores não eléctricos		17 ms	24	
		25 ms	35	
		42 ms	41	
		400 ms	100	

Por último o rebentamento tipo B está representado de modo esquemático na figura 27.

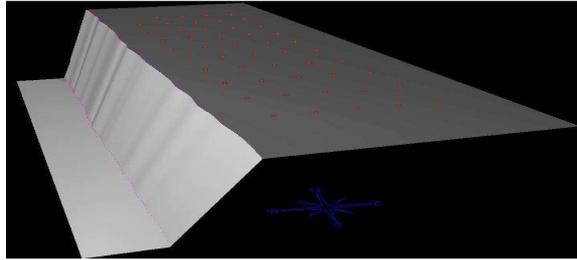


Figura 27 - Esquema do rebentamento tipo B (09-09-2009)

A tabela 18 apresenta os dados relativos à pega de fogo n.º 5. Estão considerados os parâmetros gerais da pega, da perfuração, dos explosivos e acessórios de tiro utilizados.

Tabela 18 - Parâmetros do rebentamento n.º 5 com plano do tipo B (09-09-2009)

Rebentamento realizado no dia 09/09/2009				
Rebentamento da exploração n.º 120		Granito são: 2,0 m x 2,5 m		
Frente - Este		Bancada n.º 5		
Parâmetros gerais		Perfuração		
Altura da bancada	13 m	Diagrama de fogo n.º 43		
Comprimento dos furos	Diversos	Data perfuração	18-06-2009	
Distância á frente	2,0 m			
Espaçamento	2,5 m	Diâmetro de furação	76mm	
Tamponamento	1,5 m			
N.º furos da pega	49	Altura da bancada (H)	13 m	
Volume desmontado	3.201,2 m ³			
Metros perfurados	640,24 m	Perfuração específica	0,2 m/m ³	
Carga específica	0,695 kg/m ³			
Explosivos utilizados				
Tipo de carga	Tipo de explosivo	N.º de cartuchos	Dimensão	Peso Total
Carga de fundo	Emulex 731	60	50 x 500	75 kg
Carga de fundo	Emulex 731	238	60 x 500	425 kg
Carga de coluna	Emulex 711	180	50 x 500	225 kg
Carga de coluna	Emulex 711	840	60 x 500	1.500 kg
Acessórios de tiro				
Tipo de detonador		Tempo retardo	N.º detonadores	
Detonadores eléctricos		0 ms	1	
Detonadores não eléctricos		17 ms	13	
		25 ms	1	
		42 ms	36	
		400 ms	50	

7.2 – Temporização padrão dos rebentamentos

Os planos de temporização dos rebentamentos estudados seguem uma configuração tipicamente usada na exploração “Bouça do Menino”.

A iniciação é realizada com um detonador eléctrico e são utilizados detonadores não eléctricos de 17, 25 e 42ms, respectivamente. A figura seguinte representa diagrama de temporização em planta, com 5 fiadas e 9 furos por fiada.

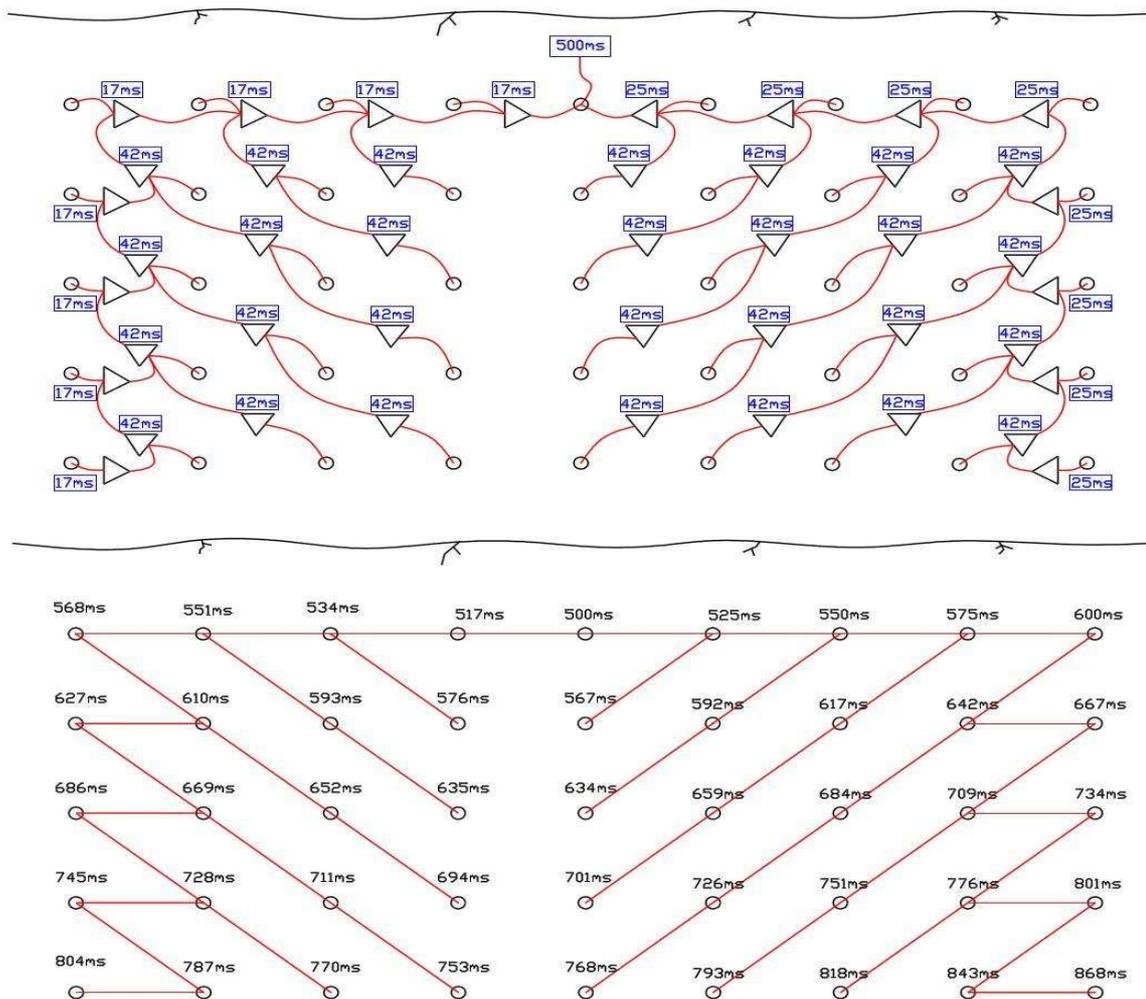


Figura 28 – Plano de temporização padrão

Como se pode verificar na figura 28, o primeiro furo a ser detonado encontra-se no centro da primeira fiada da bancada a desmontar. Na primeira fiada são utilizados detonadores não eléctricos de 17 ms para um dos lados e 25 ms para o outro lado garantindo desta forma que não há repetição de tempos. A ligação entre fiadas é efectuada com detonadores não eléctricos de 42ms.

Os planos de temporização dos rebentamentos em estudo baseiam-se num modelo semelhante ao apresentado na figura 28, adaptando-se ao volume a desmontar e número de furos de cada rebentamento.

7.3 - Rendimento da perfuração dos diferentes rebentamentos.

O equipamento utilizado para a operação de perfuração na exploração “Bouça do menino” é uma Furukawa HCR 1000 EDS (figura 29). As características e especificações do equipamento estão apresentadas no anexo 4.



Figura 29 - Equipamento de perfuração Furukawa HCR 1000 EDS

O equipamento de perfuração utilizado na exploração “Bouça do Menino” está equipado com instrumentos auxiliares para garantir a qualidade do trabalho de perfuração. Dos quais se destacam os inclinómetros no martelo e indicadores de profundidade. Está também equipado com receptores laser utilizados pelo sistema “laser ” para mapear e garantir o nivelamento da bancada.

A marcação dos furos é efectuada com tinta de elevada visibilidade pelo responsável da exploração, depois de medida a bancada a desmontar, segundo o diagrama calculado com de modo a garantir o correcto posicionamento de todos os furos a realizar.

O operador do equipamento de perfuração deverá posicionar o equipamento da melhor forma e garantir o correcto emboquilhamento de todos os furos a realizar garantindo uma pequena perturbação dos resultados dos rebentamentos em consequência dos desvios. Todos os furos dos rebentamentos considerados para este estudo foram realizados pelo mesmo equipamento e pelo mesmo operador.

Depois de perfurado um furo existe o cuidado de proteger a boca deste colocando tubos “pvc” no seu interior. Esta protecção pretende facilitar a operação de carregamento de explosivos no furo de maneira a evitar os encravamentos provocados pela queda de pedras soltas e detritos da zona do emboquilhamento.

É utilizado para material de tamponamento a brita 6/14 para criar maior atrito ao escape dos gases da detonação e manter a pressão mais elevada no interior do furo.

O rendimento do equipamento de perfuração pode ser avaliado através da relação entre as horas gastas a perfurar e as horas em que o equipamento utilizou o martelo. O valor ideal situa-se acima dos 70%, estando este valor condicionado pela qualidade do maciço bem como pela experiência do operador do equipamento de perfuração.

$$\text{Rendimento da perfuração (\%)} = \left(\frac{\text{Horas de martelo}}{\text{Horas de perfuração}} \right) \times 100$$

Equação 30 - Rendimento da perfuração (%)

Na tabela 19 são apresentados valores referentes ao equipamento de perfuração relativos aos tempos de perfuração e aos tempos em que o equipamento utilizou o martelo para efectuar a perfuração. São também apresentados o tipo de material, o número de furos realizados em cada rebentamento e o rendimento obtido em percentagem e em metros por hora.

Tabela 19 - Horas de perfuração e martelo realizadas pelo equipamento de perfuração

Rebentamento	Material	N.º Furos	Horas de martelo	Horas de perfuração	Rendimento (%)	Rendimento horário (m/h)
Pega tipo 1 (20-03-2009)	Granito são	72	18	28	64%	35,07
Pega tipo 2 (28-05-2009)	Granito alterado	102	21	39	54%	34,64
Pega tipo 2 (19-08-2009)	Granito alterado	86	19	35	54%	32,86
Pega tipo A (24-06-2009)	Granito são	46	15	28	54%	23,64
Pega tipo A (19-03-2010)	Granito são	100	31	52	60%	26,13
Pega tipo B (09-09-2009)	Granito são	49	12	20	60%	32,01

Capítulo 8 – Análise da fragmentação

8 - Análise da fragmentação

8.1 - Introdução

A investigação realizada pretende demonstrar como as fragmentações resultantes de diferentes rebentamentos com explosivos na exploração de Cervães são influenciadas pela variação da carga específica utilizada.

De forma a eliminar a influência na fragmentação resultante devido a outros factores que não a carga específica foram tomados em consideração os seguintes pontos:

- 1.º Todas as pegas consideradas têm a mesma orientação e localizam-se na mesma frente de desmonte (sentido Este).
- 2.º As fracturas naturais do maciço rochoso encontram-se sempre paralelas ou perpendiculares à frente livre, e admite-se que a blocometria natural seja semelhante em todos os rebentamentos.
- 3.º O parâmetro que altera a carga específica presente é apenas a relação espaçamento / distância à frente.
- 4.º Foi utilizada a mesma constituição de carga em todos os furos e o mesmo esquema de temporização.
- 5.º Utilizou-se em todos os rebentamentos o mesmo tipo de explosivo e constituição da carga dos furos.
- 6.º Utilizou-se em todos os rebentamentos a mesma sequência de iniciação dos furos.
- 7.º Foi utilizado sempre o mesmo comprimento e tipo de tamponamento.

Foram estudados rebentamentos típicos da exploração (utilizando $V=2,5$ m e $E = 3,0$ m) em diferentes níveis de bancada para perceber como as características do maciço tais como o grau de fracturação e grau de alteração influenciam a fragmentação resultante.

A bancada inferior foi a escolhida para o estudo da variação da carga específica, por ser constituída pela melhor rocha (granito são W1).

Foram consideradas duas configurações distintas da típica da exploração com aumento progressivo da carga específica utilizada.

Nas pegas tipo consideradas, na exploração, a carga específica varia entre 0,446 a 0,470 kg/m^3 , nas pegas alteradas este valor é elevado para 0,579 kg/m^3 na pega do tipo A e para 0,695 kg/m^3 na pega tipo B.

8.2 - Análise da fracturação “in-situ”

A análise da fracturação “in situ” foi efectuada utilizando um programa informático de desenho do tipo CAD (computer-aided design), tendo como base o levantamento da fracturação presente no maciço por uma adaptação do método da “scanline”.

A técnica da “scanline” encontra-se explicada por vários autores e em diversas publicações, sendo uma técnica actualmente comum na análise de maciços graníticos (Chaminé 2008).

Para este estudo, o levantamento consistiu na colocação de uma fita graduada em superfícies expostas do maciço rochoso e no registo das descontinuidades naturais por ela intersectadas, em especial a sua distância à origem e a atitude destas (direcção e inclinação).

A figura 30 mostra a posição das “scanlines” consideradas para a determinação da fracturação natural presente no maciço rochoso considerado.

Depois de determinadas as principais famílias de descontinuidades, considera-se que neste maciço existem duas famílias verticais (N78E e N169E) e uma família sub-horizontal que, no geral, podem ser consideradas perpendiculares entre si no sentido do avanço dos rebentamentos.

A análise da curva granulométrica “in situ”, do maciço, foi efectuada na bancada Intermédia das utilizadas no estudo de forma a poder ser considerada como representativa para a análise das restantes bancadas. Como já referido, as bancadas superficiais, embora apresentem o mesmo tipo e grau de fracturação, o granito apresenta-se alterado, enquanto nas bancadas inferiores o granito é de um modo geral são.

Utilizando o programa de CAD (computer-aided design) determinou-se a área em planta dos blocos unitários produzidos pelas duas famílias de descontinuidades verticais, sendo esta área relacionada com o espaçamento da família de descontinuidades sub-horizontal de forma a determinar o volume dos fragmentos libertados do maciço sem intervenção de explosivos. Os volumes dos fragmentos produzidos pela fracturação natural presente foram relacionados com o volume de esferas, considerando os seus diâmetros equivalentes com a abertura da malha de classificação considerada para a elaboração da curva de fragmentação.

A partir destes diâmetros equivalentes foi criada uma curva granulométrica do material “in situ” que servirá de comparação às curvas granulométricas do material resultante dos desmontes considerados para este estudo.

Esta transformação de volume para diâmetro equivalente de uma esfera serviu para que a comparação entre esta curva criada e as curvas criadas pelo programa *Wipfrag* fosse mais correcta, uma vez que o programa também transforma os volumes dos fragmentos em volumes equivalentes de esferas.

Na figura 30 é possível ter uma noção espacial dos levantamentos efectuados. A posição escolhida dos levantamentos em relação à frente livre foi direccionada de forma a permitir a determinação posterior da fracturação natural que afecta a parte da bancada considerada para determinar a fracturação do maciço “in situ”.

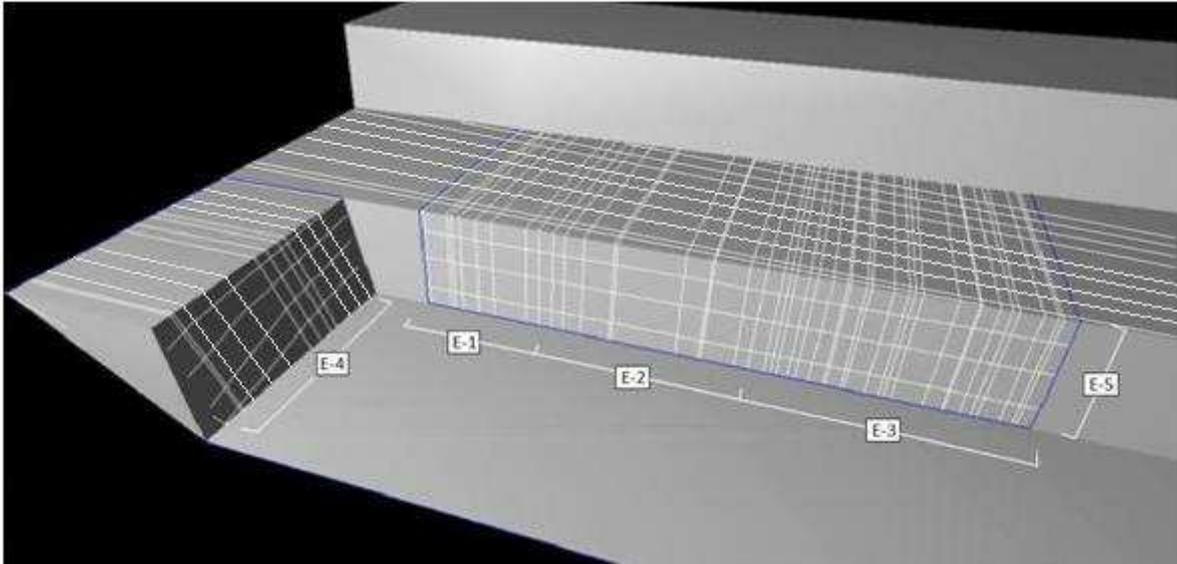


Figura 30 – “Scanlines” realizadas

Depois de tratados os dados obtemos a curva granulométrica do material “in situ” (figura 31). Os dados recolhidos no campo e o seu tratamento estão indicados no Anexo 5.

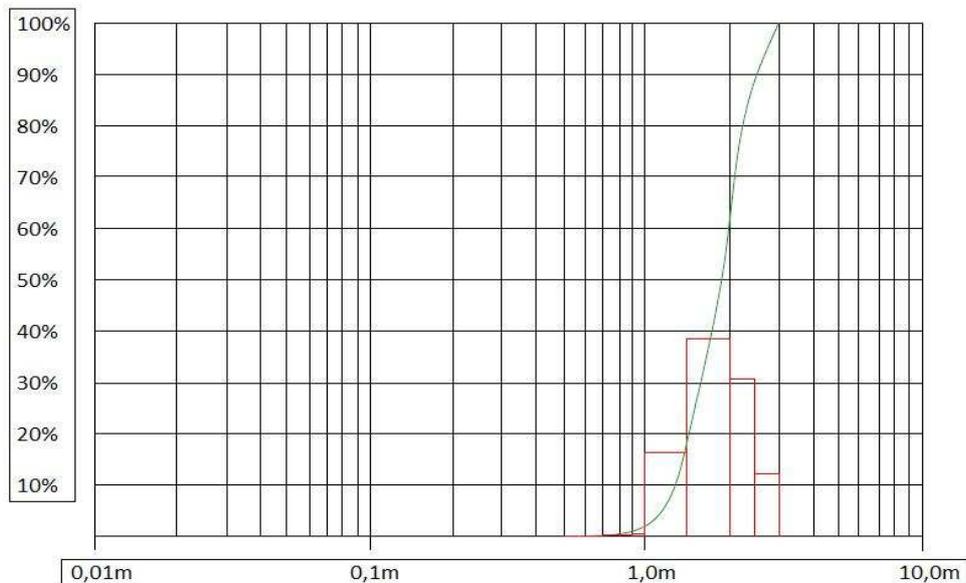


Figura 31– Curva granulométrica do material “in situ”

Utilizando uma tabela Excel foi possível elaborar a tabela 20, estando os dados apresentados no Anexo 5.

Tabela 20 - Relação entre os diâmetros equivalentes e a percentagem de passados.

Diâmetro Equivalente (m)	Volume Blocos (m ³)	n.º de Blocos	% de Blocos	Volume Total (m ³)	% em Volume	% de Passados
0,50	0,07	2	0,05	0,13	0,00	0,00
0,60	0,11	36	0,87	4,07	0,03	0,03
0,70	0,18	74	1,78	13,29	0,09	0,11
0,80	0,27	115	2,76	30,83	0,20	0,31
0,90	0,38	166	3,99	63,36	0,41	0,73
1,00	0,52	191	4,59	100,01	0,65	1,38
1,50	1,77	1462	35,14	2583,57	16,81	18,19
2,00	4,19	1393	33,49	5834,98	37,97	56,15
2,50	8,18	580	13,94	4745,11	30,88	87,03
3,00	14,14	141	3,39	1993,34	12,97	100,00
Total		4160	100,00	15368,70	100,00	100,00

Com base nos valores indicados na tabela 20 pode concluir-se sobre os blocos naturalmente definidos pela fracturação natural presente. Assim constata-se que:

- Os blocos “in situ” têm volumes variáveis mas todos se encontram dentro do intervalo de 0,065 m³ e 14,137 m³.
- A gama de volume de blocos compreendida entre 4,188 m³ e 0,524 m³ é a que tem maior número de blocos perfazendo 68,63 % da totalidade de blocos “in situ” considerados para este estudo.
- O diâmetro equivalente desta gama de blocos que aparecem em maior quantidade varia entre 1,5 e 2,0m.

8.3 - Análise da fragmentação resultante dos diferentes rebentamentos.

A curva granulométrica do material resultante do rebentamento n.º 1 (2,5m x 3m; 0,46 kg/m³), realizada em 20-03-2009, está representada na figura 32.

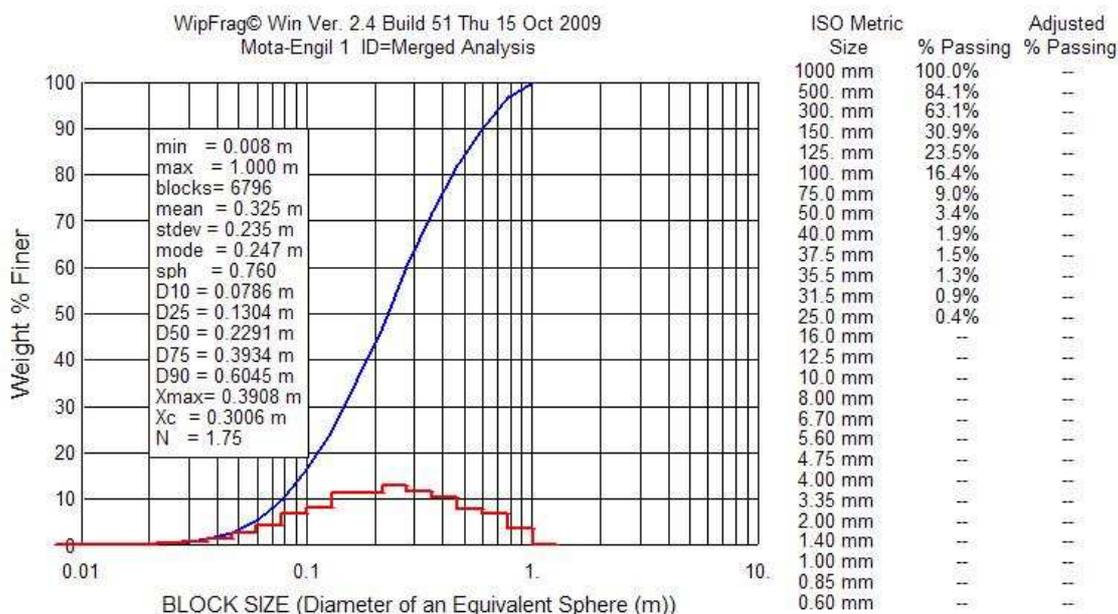


Figura 32 – Curva granulométrica do material resultante do rebentamento realizado em 20-03-2009

A curva granulométrica resulta da combinação de duas imagens da superfície e três imagens do interior da pilha depois de retirado algum material, tratadas com o programa informático *Wipfrag* (Anexo 6).

Através do histograma de blocometria verifica-se que neste rebentamento as gamas de blocos em maior percentagem se encontram abaixo do limite de tamanho 750 mm fixado em função da abertura do britador primário.

A tabela 21 identifica o tipo, data do rebentamento, abertura da malha e a carga específica utilizada. O valor do D_{50} (m) e a percentagem da fracção de material de calibre superior a 750 mm foram retirados da curva granulométrica do material resultante do rebentamento.

Tabela 21 - Rebentamento realizado em 20-03-2009, D_{50} (m) e Fracção \leq 750 mm

Tipo de rebentamento	Realizado em	Relação V x E	Carga específica (kg/m ³)	D_{50} (m)	Fracção \leq 750 mm
Tipo 1	20-03-2009	2,5 m x 3,0 m	0,46	0,2291	4%

A curva granulométrica do material resultante do rebentamento n.º 2 (2,5m x 3m; 0,47 kg/m³), realizada em 28-05-2009, está representada na figura 33.

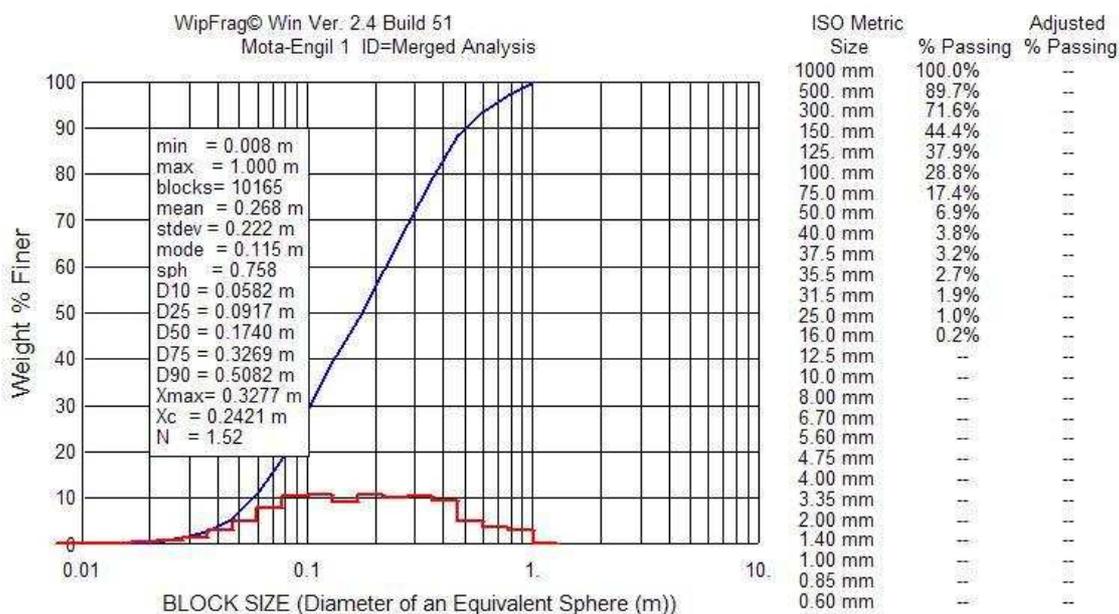


Figura 33 – Curva granulométrica do material resultante do rebentamento realizado em 28-05-2009

Através do histograma de blocometria verifica-se que este rebentamento obteve percentagens mais baixas dos blocos de maiores dimensões, 0,46 m a 1,0 m. Relativamente ao rebentamento n.º 1 obteve também um valor baixo para o D₅₀ do material.

A tabela 22 identifica o tipo, data do rebentamento, abertura da malha e a carga específica utilizada neste rebentamento. O valor do D₅₀ (m) e a percentagem da fracção de material de calibre superior a 750 mm foram retirados da curva granulométrica do material resultante.

Tabela 22 - Rebentamento realizado em 28-05-2009, D₅₀ (m) e Fracção ≤ 750 mm

Tipo de rebentamento	Realizado em	Relação V x E	Carga específica (kg/m ³)	D ₅₀ (m)	Fracção ≤ 750 mm
Tipo 2A	28-05-2009	2,5 m x 3,0 m	0,47	0,1740	3%

A curva granulométrica do material resultante do rebentamento n.º 4 (2,5m x 3m; 0,446 kg/m³), realizada em 19-08-2009, está representada na figura 34.

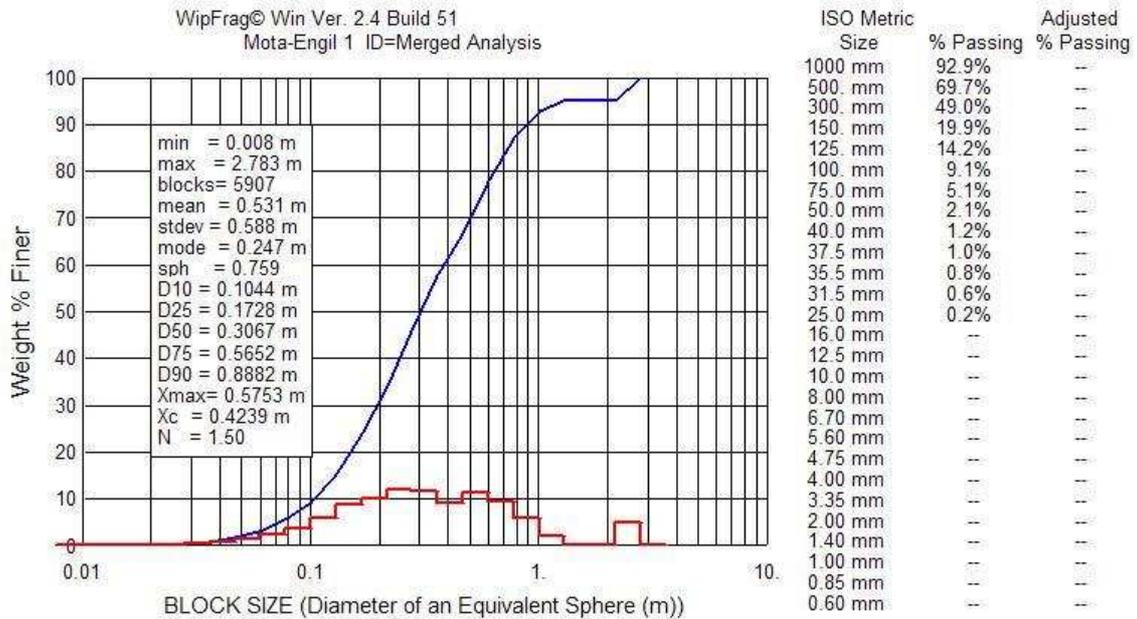


Figura 34 - Curva granulométrica do material resultante do rebentamento realizado em 19-08-2009

Este foi o rebentamento estudado com os piores resultados considerando o D₅₀ e a percentagem de material de calibre superior a 750 mm, de todos os rebentamentos estudados.

Através do histograma de blocometria verifica-se que este rebentamento resultou numa percentagem de blocos entre a gama de 2,2 m a 2,8 m, anormalmente alta, que tem grande influência na quantidade de blocos que requerem fragmentação secundária.

A tabela 23 identifica o tipo, data do rebentamento, abertura da malha e a carga específica utilizada. O valor do D₅₀ (m) e a percentagem da fracção de material de calibre superior a 750 mm foram retirados da curva granulométrica do material resultante do rebentamento.

Tabela 23 - Rebentamento realizado em 19-08-2009, D₅₀ (m) e Fracção ≤ 750 mm

Tipo de rebentamento	Realizado em	Relação V x E	Carga específica (kg/m ³)	D ₅₀ (m)	Fracção ≤ 750 mm
Tipo 2B	19-08-2009	2,5 m x 3,0 m	0,446	0,3067	14%

A curva granulométrica do material resultante do rebentamento n.º 3 (2m x 3m; 0,579 kg/m³), realizada em 19-08-2009, está representada na figura 35.

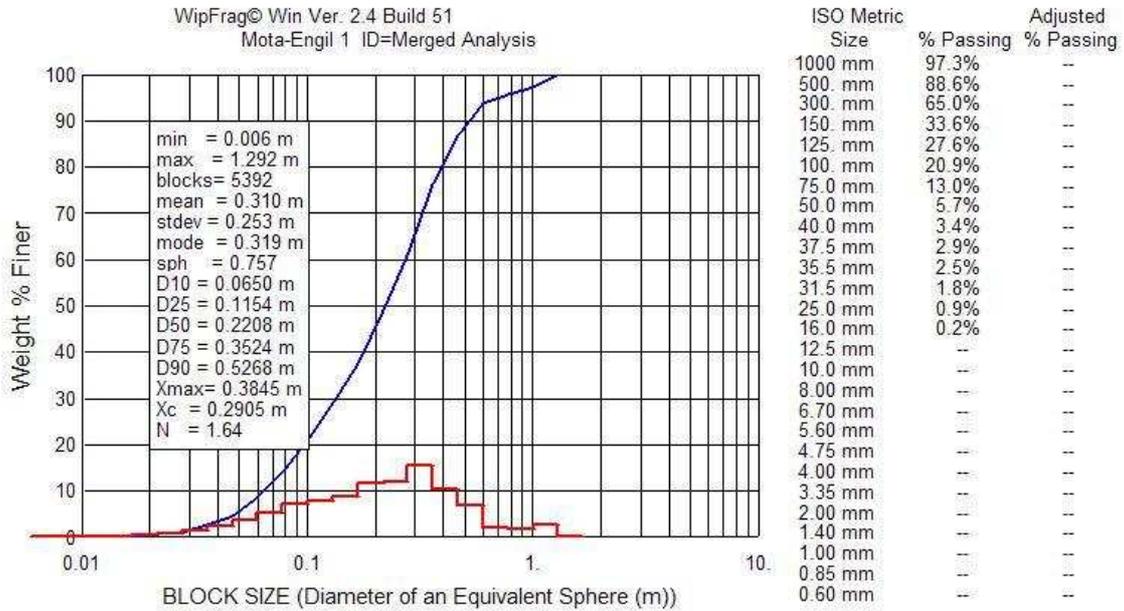


Figura 35 - Curva granulométrica do material resultante do rebentamento realizado em 24-06-2009

Através do histograma de blocometria verifica-se que neste rebentamento embora as gamas de tamanhos que aparecem em maior percentagem sejam admissíveis no britador primário, a gama entre 0,6 e 1,3 m, em especial de 1,0 a 1,3 m é significativamente alta para influenciar a quantidade de material superior a 750 mm que necessita fragmentação secundária.

A tabela 24 identifica o tipo, data do rebentamento, abertura da malha e a carga específica utilizada. O valor do D₅₀ (m) e a percentagem da fracção de material de calibre superior a 750 mm foram retirados da curva granulométrica do material resultante do rebentamento.

Tabela 24 - Rebentamento realizado em 24-06-2009, D₅₀ (m) e Fracção ≤ 750 mm

Tipo de rebentamento	Realizado em	Relação V x E	Carga específica (kg/m ³)	D ₅₀ (m)	Fracção ≤ 750 mm
Plano A	24-06-2009	2,0 m x 3,0 m	0,579	0,2208	4%

A curva granulométrica do material resultante do rebentamento n.º 6 (2m x 3m; 0,52 kg/m³), realizada em 19-03-2010, está representada na figura 36.

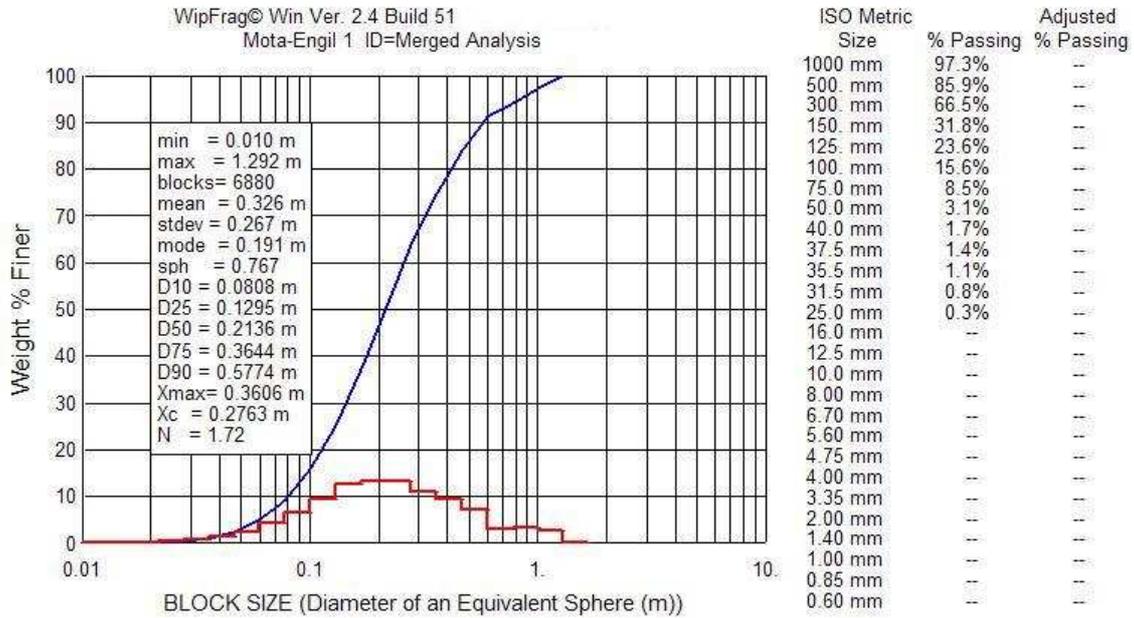


Figura 36 - Curva granulométrica do material resultante do rebentamento realizado em 19-03-2010

Através do histograma de blocometria verifica-se que neste rebentamento embora as gamas de tamanhos que aparecem em maior percentagem sejam admissíveis no britador primário, a gama entre 0,6 e 1,3 m é significativamente alta, influenciando a quantidade de material superior a 750 mm que necessita fragmentação secundária em 5% do volume total desmontado.

A tabela 25 identifica o tipo, data do rebentamento, abertura da malha e a carga específica utilizada. O valor do D₅₀(m) e a percentagem da fracção de material de calibre superior a 750 mm foram retirados da curva granulométrica do material resultante do rebentamento.

Tabela 25 - Rebentamento realizado em 19-03-2010, D₅₀ (m) e Fracção ≤ 750 mm

Tipo de rebentamento	Realizado em	Relação V x E	Carga específica (kg/m ³)	D ₅₀ (m)	Fracção ≤ 750 mm
Plano A	19-03-2010	2,0 m x 3,0 m	0,52	0,2136	5%

A curva granulométrica do material resultante do rebentamento n.º 5 (2m x 2,5m; 0,695 kg/m³), realizada em 09-09-2009, está representada na figura 37.

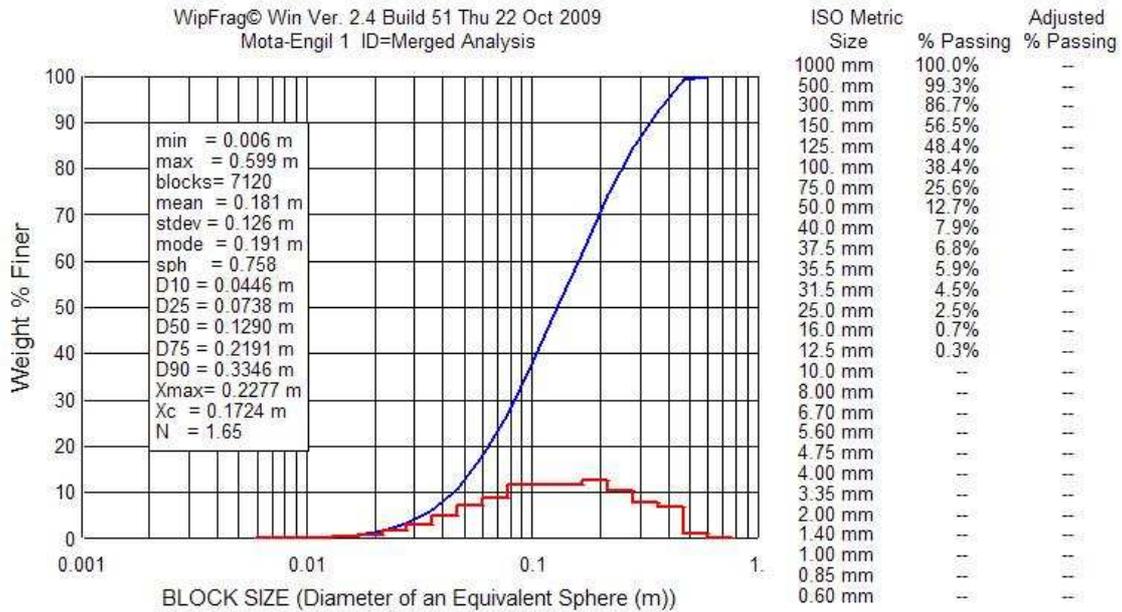


Figura 37 - Curva granulométrica do material resultante do rebentamento realizado em 09-09-2009

Este foi o rebentamento estudado com os melhores resultados considerando o D₅₀ e a percentagem de material de calibre superior a 750 mm, de todos os rebentamentos estudados.

Através do histograma de blocometria verifica-se que neste rebentamento os calibres com maiores percentagens se encontram abaixo do limite máximo, havendo pouco material que requer fragmentação secundária.

A tabela 26 identifica o tipo, data do rebentamento, abertura da malha e a carga específica utilizada. O valor do D₅₀ (m) e a percentagem da fracção de material de calibre superior a 750 mm foram retirados da curva granulométrica do material resultante do rebentamento.

Tabela 26 - Rebentamento realizado em 09-09-2009, D₅₀ (m) e Fracção ≤ 750 mm

Tipo de rebentamento	Realizado em	Relação V x E	Carga específica (kg/m ³)	D ₅₀ (m)	Fracção ≤ 750 mm
Plano B	09-09-2009	2,0 m x 2,5 m	0,695	0,1290	≤1

8.4 - Consumo energético de cada rebentamento

No rebentamento realizado no dia 20-03-2009, com o desenho do plano tipo 1, (2,5m x 3m; 0,46 kg/m³), o consumo energético em gásóleo gasto pelo equipamento de perfuração e da quantidade e tipo de explosivo está descrito na tabela 27.

Tabela 27 - Consumo energético do rebentamento nº 1 com o plano tipo 1 (20-03-2009)

Rebentamento do dia 20-03-2009				
Máquina de perfuração				
Metros furados no mês (m)	Metros furados no rebentamento (m)	Combustível no mês (l)	Combustível (l/m)	Energia total em combustível (kcal)
1.304,44	941,45	1.382	1,0595	8.713.540
Explosivos				
Carga de fundo (kg)	Energia da carga de fundo (cal/g)	Carga de coluna (kg)	Energia da carga de coluna (cal/g)	Energia total em explosivo (kcal)
775	1.056	2.575	752	2.754.800
				Energia Total (combustível+explosivo) (kcal)
				11.468.300

No rebentamento realizado no dia 28-05-2009, com o desenho do plano tipo 2, (2,5m x 3m; 0,47 kg/m³), o consumo energético em gásóleo gasto pelo equipamento de perfuração e pela quantidade e tipo de explosivo está descrito na tabela 28.

Tabela 28 - Consumo energético do rebentamento nº 2 com o plano tipo 2 (28-05-2009)

Rebentamento do dia 28-05-2009				
Máquina de perfuração				
Metros furados no mês (m)	Metros furados no rebentamento (m)	Combustível no mês (l)	Combustível (l/m)	Energia total em combustível (kcal)
1.709,44	1.329,87	1.437	0,8406	9.766.179,911
Explosivos				
Carga de fundo (kg)	Energia da carga de fundo (cal/g)	Carga de coluna (kg)	Energia da carga de coluna (cal/g)	Energia total em explosivo (kcal)
1.100	1.056	3.200	752	3.568.000
				Energia Total (combustível+explosivo) (kcal)
				13.334.200

No rebentamento realizado no dia 19/08/2009, com o desenho do plano tipo 2, (2,5m x 3m; 0,446 kg/m³), o consumo energético em gásóleo em litros gasto pelo equipamento de perfuração e pela quantidade e tipo de explosivo em kg está descrito na tabela 29.

Tabela 29 - Consumo energético do rebentamento nº 4 com o plano tipo 2 (19-08-2009)

Rebentamento do dia 19/08/2009				
Máquina de perfuração				
Metros furados no mês (m)	Metros furados no rebentamento (m)	Combustível no mês (l)	Combustível (l/m)	Energia total em combustível (kcal)
1.024,29	1.150,21	1.130	1,1032	11.085.200
Explosivos				
Carga de fundo (kg)	Energia da carga de fundo (cal/g)	Carga de coluna (kg)	Energia da carga de coluna (cal/g)	Energia total em explosivo (kcal)
925	1.056	2.925	752	3.176.400
				Energia Total (combustível+explosivo) (kcal)
				14.261.600

No rebentamento realizado no dia 24/06/2009, com o desenho do plano A, (2m x 3m; 0,579 kg/m³), o consumo energético em gásóleo gasto pelo equipamento de perfuração e pela quantidade e tipo de explosivo está descrito na tabela 30.

Tabela 30 - Consumo energético do rebentamento nº 3 com plano tipo A (24-06-2009)

Rebentamento do dia 24/06/2009				
Máquina de perfuração				
Metros furados no mês (m)	Metros furados no rebentamento (m)	Combustível no mês (l)	Combustível (l/m)	Energia total em combustível (kcal)
839,69	662,02	906	1.3685	7.914.816
Explosivos				
Carga de fundo (kg)	Energia da carga de fundo (cal/g)	Carga de coluna (kg)	Energia da carga de coluna (cal/g)	Energia total em explosivo (kcal)
500	1.056	1.800	752	1.881.600
				Energia Total (combustível+explosivo) (kcal)
				9.796.420

No rebentamento realizado no dia 19/03/2010, com o desenho do plano A, (2m x 3m; 0,52 kg/m³), o consumo energético em gásóleo gasto pelo equipamento de perfuração e pela quantidade e tipo de explosivo está descrito na tabela 31.

Tabela 31 - Consumo energético do rebentamento nº 6 com plano tipo A (19-03-2010)

Rebentamento do dia 19/03/2010				
Máquina de perfuração				
Metros furados no mês (m)	Metros furados no rebentamento (m)	Combustível no mês (l)	Combustível (l/m)	Energia total em combustível (kcal)
4.548,78	1.358.96	4.799,67	1.0551	12.525.768,06
Explosivos				
Carga de fundo (kg)	Energia da carga de fundo (cal/g)	Carga de coluna (kg)	Energia da carga de coluna (cal/g)	Energia total em explosivo (kcal)
1.075	1.056	3.175	752	3.522.800
				Energia Total (combustível+explosivo) (kcal)
				16.048.568,06

No rebentamento realizado no dia 09/09/2009, com o desenho do plano B, (2m x 2,5m; 0,695 kg/m³), o consumo energético em gásóleo em litros gasto pelo equipamento de perfuração e pela quantidade e tipo de explosivo em kg está descrito na tabela 32.

Tabela 32 - Consumo energético do rebentamento nº 5 com plano tipo B (09-09-2009)

Rebentamento do dia 09/09/2009				
Máquina de perfuração				
Metros furados no mês (m)	Metros furados no rebentamento (m)	Combustível no mês (l)	Combustível (l/m)	Energia total em combustível (kcal)
929,791	640,24	980	1,0540	5.895.170
Explosivos				
Carga de fundo (kg)	Energia da carga de fundo (cal/g)	Carga de coluna (kg)	Energia da carga de coluna (cal/g)	Energia total em explosivo (kcal)
500	1.056	1.725	752	1.825.200
				Energia Total (combustível+explosivo) (kcal)
				7.720.370

Na tabela 33 estão identificados, de modo cronológico, os rebentamentos considerados para este estudo, assim como o tipo de plano de fogo utilizado, o tipo de alteração do granito, a identificação da bancada e o seu consumo energético.

Tabela 33 - Tabela resumo dos consumos dos rebentamentos considerados

Rebentamento	Tipo de rebentamento	Data de realização	Bancada	Tipo de granito	Consumo energético (kcal)	(kcal/m ³)
1. ^a	Plano tipo 1	20-03-2009	5	São	11.468.300	1.555,87
2. ^a	Plano tipo 2	28-05-2009	1	Alterado	13.334.200	1.452,53
3. ^a	Plano tipo A	24-06-2009	4	São	9.796.420	2.466,30
4. ^a	Plano tipo 2	19-08-2009	1	Alterado	14.261.600	1.653,78
5. ^a	Plano tipo B	09-09-2009	5	São	7.720.370	2.411,71
6. ^a	Plano tipo A	19/03/2010	3	São	16.048.568	1.968,24

8.5 - Custos dos rebentamentos

O custo total dos rebentamentos estudados está demonstrado nas tabelas seguintes.

Para o cálculo dos custos foram considerados o gasóleo consumido pela máquina de perfuração e os explosivos e materiais acessórios para a realização dos rebentamentos.

São considerados também os custos que resultam da fragmentação secundária da percentagem de material que não é admissível no britador primário. Considerou-se que os fragmentos com dimensão superior a 750 mm seriam considerados “oversize”. O valor da percentagem considerada para fragmentação secundária em cada rebentamento foi obtido a partir das curvas de fragmentação geradas pelo programa *Wipfrag V2.4*.

O custo horário e o rendimento do equipamento de fragmentação secundária são valores constantes fornecidos pela exploração. Os custos do gasóleo consumido pelo equipamento de perfuração, dos explosivos e acessórios utilizados nos rebentamentos n.º 1, 2, 3, 4, 5 e 6, estão indicados nas tabelas 34, 35, 36, 37, 38 e 39 respectivamente.

Tabela 34 - Custo total da perfuração e explosivos por m³ desmontado do plano tipo 1

Volume desmontado (m ³)	Gasóleo (l)	Gasóleo (€)	Acessórios	Custo dos acessórios (€)	Custo em explosivo		Custo total (€)
7.371	997,4	758,1	Detonador eléctrico	0,85	Carga de fundo (kg)	Carga de coluna (kg)	4.487,01
			Ligador 17MS	34,50	775	2.575	Custo total (€/m ³)
			Ligador 25MS	1,38	Custo da carga (€)	Custo da carga (€)	
			Ligador 42MS	64,86	1.140,80	3.346,21	0,76
			Ligador 400MS	273,24			

Tabela 35 - Custo total da perfuração e explosivos por m³ desmontado do primeiro plano tipo 2

Volume desmontado (m ³)	Gasóleo (l)	Gasóleo (€)	Acessórios	Custo dos acessórios (€)	Custo em explosivo		Custo total (€)
					Carga de fundo (kg)	Carga de coluna (kg)	
9.180	1.118	1.179	Detonador eléctrico	0,85			5.777,60
			Ligador 17MS	51,06	1.100	3200	Custo total (€/m ³)
			Ligador 25MS	1,38	Custo da carga (€)	Custo da carga (€)	
			Ligador 42MS	88,32	1.619,20	4.158,40	0,84
			Ligador 400MS	387,09			

Tabela 36 - Custo total da perfuração e explosivos por m³ desmontado do plano A

Volume desmontado (m ³)	Gasóleo (l)	Gasóleo (€)	Acessórios	Custo dos acessórios (€)	Custo em explosivo		Custo total (€)
					Carga de fundo (kg)	Carga de coluna (kg)	
3.972,12	906	1.015	Detonador eléctrico	0,85			3.075,10
			Ligador 17MS	22,08	500	1.800	Custo total (€/m ³)
			Ligador 25MS	1,38	Custo da carga (€)	Custo da carga (€)	
			Ligador 42MS	41,40	736,00	2.339,10	0,81
			Ligador 400MS	174,57			

Tabela 37 - Custo total da perfuração e explosivos por m³ desmontado do segundo plano tipo 2

Volume desmontado (m ³)	Gasóleo (l)	Gasóleo (€)	Acessórios	Custo dos acessórios (€)	Custo em explosivo		Custo total (€)
					Carga de fundo (kg)	Carga de coluna (kg)	
8.623,65	1.269	1.339	Detonador eléctrico	0,85			5.162,64
			Ligador 17MS	35,88	925	2.925	Custo total (€/m ³)
			Ligador 25MS	1,38	Custo da carga (€)	Custo da carga (€)	
			Ligador 42MS	81,42	1.361,60	3.801,04	1,09
			Ligador 400MS	333,96			

Tabela 38 - Custo total da perfuração e explosivos por m³ desmontado do plano B

Volume desmontado (m ³)	Gasóleo (l)	Gasóleo (€)	Acessórios	Custo dos acessórios (€)	Custo em explosivo		Custo total (€)
					Carga de fundo (kg)	Carga de coluna (kg)	
3.201,2	674,8	711,9	Detonador eléctrico	0,85			2.977,64
			Ligador 17MS	17,94	500	1.725	Custo total (€/m ³)
			Ligador 25MS	1,38	Custo da carga (€)	Custo da carga (€)	
			Ligador 42MS	49,68	736,00	2.241,64	1,23
			Ligador 400MS	189,75			

Tabela 39 - Custo total da perfuração e explosivos por m³ desmontado do plano A

Volume desmontado (m ³)	Gasóleo (l)	Gasóleo (€)	Acessórios	Custo dos acessórios (€)	Custo em explosivo		Custo total (€)
					Carga de fundo (kg)	Carga de coluna (kg)	
8.153,76	1.433,97	1.307,14	Detonador eléctrico	0,85	Carga de fundo (kg)	Carga de coluna (kg)	6.226,66
			Ligador 17MS	33,12	1.075	3.175	Custo total (€/m ³)
			Ligador 25MS	48,30	Custo da carga (€)	Custo da carga (€)	
			Ligador 42MS	56,58	1.582,40	4.125,91	0,76
			Ligador 400MS	379,5			

As percentagens de fragmentação secundária consideradas nas tabelas 40, 41, 42, 43, 44 e 45 para determinar o custo desta operação foram retiradas das curvas granulométricas do material resultante da respectiva pega, as quais se encontram representadas nas figuras 32, 33, 35, 34, 37 e 36, respectivamente.

Tabela 40 - Custo total da fragmentação secundária do plano tipo 1

Rebentamento de 20-03-2009	
Volume total desmontado (m ³)	7.371
% de fragmentação secundária	4%
Volume de fragmentação secundária (m ³)	294,84
Custo horário da fragmentação secundária (€)	41,9
Rendimento da máquina (m ³ /h)	64,8
Horas totais	4,55
Custo total (€)	190,64
Custo/ m ³ desmontado (€)	0,0258

Tabela 41 - Custo total da fragmentação secundária do primeiro plano tipo 2

Rebentamento 28-05-2009	
Volume total desmontado (m ³)	9.180
% de fragmentação secundária	3%
Volume de fragmentação secundária (m ³)	275,4
Custo horário da fragmentação secundária (€)	41,9
Rendimento da máquina (m ³ /h)	64,8
Horas totais	4,25
Custo total (€)	178,08
Custo/ m ³ desmontado (€)	0,0194

Tabela 42 - Custo total da fragmentação secundária do primeiro plano A

Rebentamento 24-06-2009	
Volume total desmontado (m ³)	3.972,12
% de fragmentação secundária	4
Volume de fragmentação (m ³)	158,885
Custo horário da fragmentação secundária (€)	41,9
Rendimento da máquina (m ³ /h)	64,8
Horas totais	2,452
Custo total (€)	102,736
Custo/ m ³ desmontado (€)	0,0258

Tabela 43 - Custo total de fragmentação secundária do segundo plano tipo 2

Rebentamento 19-08-2009	
Volume total desmontado (m ³)	8.623,65
% de fragmentação secundária	14
Volume de fragmentação secundária (m ³)	1.207,31
Custo horário da fragmentação secundária (€)	41,9
Rendimento da máquina (m ³ /h)	64,8
Horas totais	18,631
Custo total (€)	780,65
Custo/ m ³ desmontado (€)	0,0905

Tabela 44 - Custo total da fragmentação secundária do primeiro plano B

Rebentamento 09-09-2009	
Volume total desmontado (m ³)	3.201,2
% de fragmentação secundária	2
Volume da fragmentação secundária (m ³)	64,02
Custo horário da fragmentação secundária (€)	41,9
Rendimento da máquina (m ³ /h)	64,8
Horas totais	0,99
Custo total (€)	41,40
Custo/ m ³ desmontado (€)	0,0130

Tabela 45 - Custo total da fragmentação secundária do primeiro plano A

Rebentamento 19-03-2010	
Volume total desmontado (m ³)	8.153,76
% de fragmentação secundária	5
Volume de fragmentação secundária (m ³)	407,688
Custo horário da fragmentação secundária (€)	41,9
Rendimento da máquina (m ³ /h)	64,8
Horas totais	6,291
Custo total (€)	263,61
Custo/ m ³ desmontado (€)	0,0323

Na tabela 46 estão indicados os custos totais por metro de rocha desmontada, para todos os rebentamentos considerados.

Tabela 46 - Custo total dos rebentamentos por m³ desmontado

Rebentamento	Tipo de rebentamento	Tipo de granito	Data de realização	Custo perfuração + explosivos (€/m ³)	% fragmentação secundária	Custo da fragmentação secundária (€/m ³)	Custo total (€/m ³ desmontado)
1.º	Plano tipo 1	Azul	20-03-2009	0,76	4%	0,0258	0,79
2.º	Plano tipo 2	Amarelo	28-05-2009	0,84	3%	0,0194	0,86
3.º	Plano tipo A	Azul	24-06-2009	0,81	4%	0,0258	0,84
4.º	Plano tipo 2	Amarelo	19-08-2009	1,09	14%	0,0905	1,18
5.º	Plano tipo B	Azul	09-09-2009	1,23	2%	0,0130	1,24
6.º	Plano tipo A	Azul	19-03-2010	0,76	5%	0,0323	0,79

O valor obtido no rebentamento n.º4 realizado no dia (19.08-2009), em granito amarelo alterado, teve um custo anormalmente alto relativamente aos restantes rebentamentos. Este aumento de custo para este rebentamento deve-se a dois factores:

- Houve um grande consumo em gasóleo para perfurar o rebentamento devido a dificuldades desta operação já que o granito se apresentava bastante alterado em algumas áreas.

- A pilha de material resultante apresentou um grande número de blocos que requereram fragmentação secundária.

Estes blocos foram originados pelo escape prematuro dos gases pela fracturação natural que atravessava o maciço nessa zona. Alguns dos blocos não chegaram a ser projectados, mantendo-se empilhados numa posição próxima da que mantinham originalmente.

8.6 - Comparações dos resultados obtidos

Partindo da curva granulométrica do material “in situ” determinaram-se o D_{50} e a fracção ≤ 750 mm que servirá de base para comparação com os D_{50} e fracção ≤ 750 mm das curvas de fracturação dos rebentamentos. A relação de redução por acção dos explosivos apresenta-se como um valor, em percentagem, definindo a relação entre a média da curva “in situ” e a média da curva de fragmentação. Quanto maior o valor desta relação maior será a redução da granulometria do material produzido no rebentamento (tabela 47).

Tabela 47 - D_{50} e fracção ≤ 750 mm da curva granulométrica “in situ” e dos rebentamentos

	D_{50} (m)	Relação de redução D_{50} (%)	Fracção ≥ 750 mm (%)
Curva "in-situ"	1,80	0,00	0,015
Rebentamento n.º 1	0,23	87,28	4
Rebentamento n.º 2	0,17	90,33	3
Rebentamento n.º 3	0,22	87,72	4
Rebentamento n.º 4	0,31	82,94	14
Rebentamento n.º 5	0,13	92,83	2
Rebentamento n.º 6	0,21	88,11	5

A figura 38 apresenta no mesmo gráfico a curva do material “in situ” e as curvas granulométricas resultantes dos desmontes considerados para este estudo.

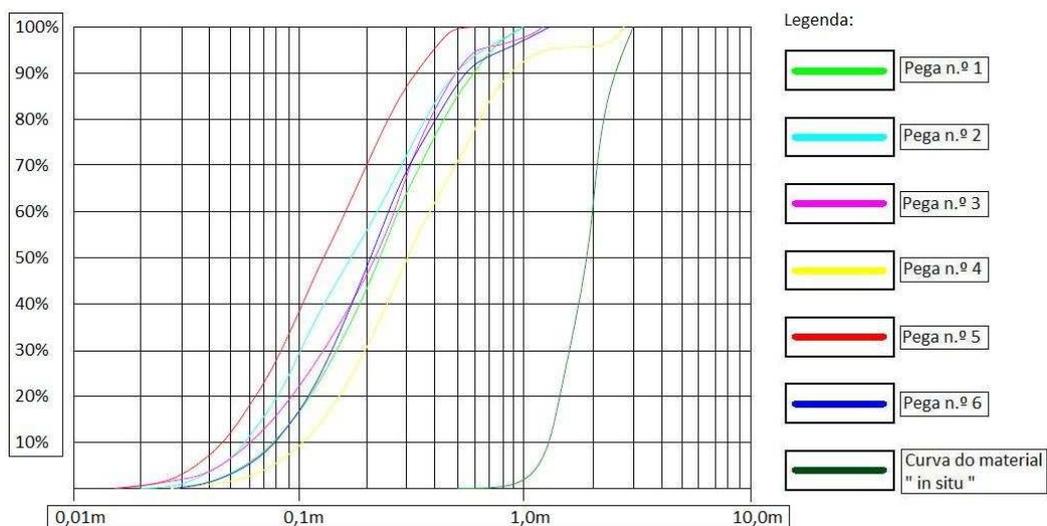


Figura 38 - Curva “in situ” e curvas resultantes

A figura 38 permite constatar o seguinte:

- O rebentamento n.º 5 obteve os resultados mais satisfatórios originando a menor fracção que necessita desmonte secundário, cerca de 2% e o D_{50} resultante com blocos na ordem dos 0,13 m.

- O rebentamento n.º 4 obteve os piores resultados com uma fracção que necessita de fragmentação secundária correspondente a 14% do volume desmontado e o D_{50} resultante com blocos na ordem dos 0,3 m.

8.6.1 - Comparação entre graus de alteração sem mudança na malha

A tabela 48 compara os valores resultantes de D_{50} e da fracção superior a 750 mm das pegas de fogo ($V \times E = 2\text{ m} \times 3\text{ m}$) com a malha típica em granito com diferentes graus de alteração.

Tabela 48 - Comparação entre grau de alteração

Tipo de rebentamento	Rebentamento	Realizada em	Grau de alteração	Carga específica (kg/m^3)	D_{50} (m)	Fracção ≥ 750 mm
Tipo 1	1	20-03-2009	W1	0,46	0,2291	4%
Tipo 2	2	28-05-2009	W2	0,47	0,174	3%
Tipo 2	4	19-08-2009	W2	0,446	0,3067	14%

Verifica-se que o estado de alteração do maciço, para um rebentamento típico, tem influência na qualidade da fragmentação do material. Os valores do D_{50} e a percentagem de material ≥ 750 mm são de difícil previsão sem a análise de mais rebentamentos.

Esta variedade de valores dos D_{50} obtidos justifica-se pelo facto de o grau de alteração presente não ser o mesmo em todos os pontos da bancada a desmontar nos dois rebentamentos estudados em granito amarelo ligeiramente alterado.

A fracção superior a 750 mm é igualmente muito variável sendo de muito difícil previsão devido à não continuidade do grau de alteração do maciço quando se usa a área desmontada por furo típica da exploração (2,5m x 3m) no granito amarelo alterado (W2). As disparidades de valores dos rebentamentos do tipo 2 devem-se a uma não continuidade do grau de alteração do granito no rebentamento n.º 4, por ser a bancada mais superficial.

A fracturação natural presente, a sua abertura, o preenchimento e a resistência, também tiveram influência no desempenho do rebentamento n.º 4.

8.6.2 - Comparação com a carga específica

A tabela 49 compara os valores resultantes de D_{50} e da fracção superior a 750mm dos rebentamentos realizados em granito “são” (W1), considerando as diferentes configurações de geometria de posicionamento dos furos propostas neste estudo.

Tabela 49 - Comparação da carga específica utilizada

Tipo de rebentamento	Rebentamento	Realizada em	Relação V x E	Carga específica (kg/m ³)	D ₅₀ (m)	Fracção ≥750mm
Tipo 1	1	20-03-2009	2,5 m x 3,0 m	0,46	0,2291	4%
Tipo A	3	24-06-2009	2,0 m x 3,0 m	0,579	0,2208	4%
Tipo A	6	19-03-2010	2,0 m x 3,0 m	0,52	0,2136	5%
Tipo B	5	09-09-2009	2,0 m x 2,5 m	0,695	0,2820	1%

Verifica-se que o aumento da carga específica tem influência nos resultados dos rebentamentos. Pela comparação entre o plano tipo 1 (2,5m x 3,0m) e o plano tipo A (2,0m x 3,0m), constata-se que a fracção de material que requer fragmentação secundária é aproximadamente igual, com uma ligeira diminuição do tamanho D_{50} .

Pela comparação entre o plano tipo 1 (2,5m x 3,0m) e o plano B (2,0m x 2,5m), em que a carga específica utilizada é a mais elevada, verifica-se que embora o tamanho D_{50} tenha subido ligeiramente, a fracção que requer desmonte secundário é muito inferior, havendo apenas alguns grandes blocos sem significado quando consideramos o volume total desmontado.

8.6.3 – Análise estatística dos resultados

Na tabela 50 apresenta-se os estatísticos básicos relativos aos parâmetros avaliados neste estudo. Os parâmetros baseiam-se em dados referentes a todos os rebentamentos considerados para este estudo.

Tabela 50 - Dados estatísticos básicos

Estatística	Volume Desmontado (m ³)	Energia combustível kcal/m ³	Energia do explosivo kcal/m ³	Carga específica (Kg/m ³)	Custo total (€/m ³ desmontado)	Custo da fragmentação secundária (€/m ³)
No. de obs.	6	6	6	6	6	6
N.º de valores faltantes	0	0	0	0	0	0
Soma dos pesos	6	6	6	6	6	6
Mínimo	3.201,2	1.063,854	368,336	0,446	0,76	0,013
Máximo	9.180	1.992,592	570,161	0,695	1,24	0,091
Freq. do mínimo	1	1	1	1	1	1
Freq. do máximo	1	1	1	1	1	1

Amplitude	5.978,8	928,738	201,825	0,249	0,48	0,078
1° Quartil	4.821,84	1.207,964	377,469	0,463	0,803	0,021
Mediana	7.762,38	1.410,819	410,359	0,495	0,84	0,026
3° Quartil	8.506,178	1.765,211	463,288	0,564	1,095	0,031
Média	6.750,288	1.483,629	434,442	0,528	0,942	0,034
Desvio-padrão	2.533,071	373,176	77,611	0,095	0,211	0,028
Coef. de variação	0,343	0,23	0,163	0,164	0,204	0,747

As figuras 39, 40, 41 e 42 apresentam algumas das variações observadas relativamente ao volume desmontado, à energia do combustível, à energia do explosivo, à carga específica, ao custo total e ao custo da fragmentação secundária.

Como se pode observar na figura 39, os volumes a desmontar em cada rebentamento considerado são variáveis com o volume médio de 7 762,38 m³, sendo o rebentamento de maior volume a desmontar o do tipo 2 (28-05-2009) com 9.180 m³ (18,3% superior à média) e o de menor volume o do tipo B (09-09-2009) com 3.201,2 m³ (41,2% inferior à média).

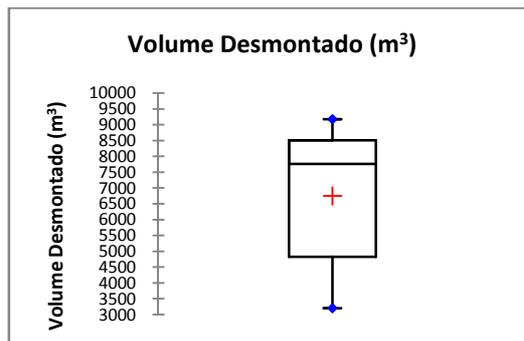


Figura 39 – Dados estatísticos - Volume desmontado (m³)

A figura 40 representa a variação de energia em kcal/m³ efectivamente usada nos rebentamentos considerando o combustível utilizado no equipamento de perfuração e os explosivos utilizados na operação de desmonte.

A energia gasta a perfurar é de uma ordem de grandeza superior à energia gasta em explosivos, sendo a operação de perfuração a que mais influencia os gastos energéticos dos rebentamentos considerados.

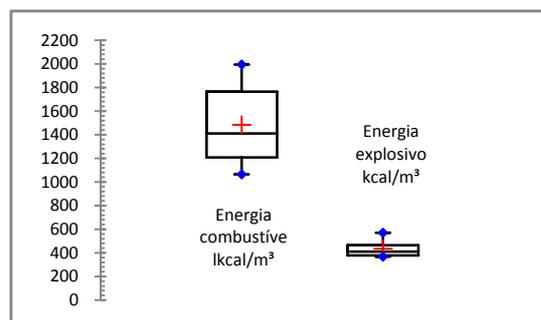


Figura 40 – Dados estatísticos - Energia combustível (kcal/m³) e explosivos (kcal/m³)

A figura 41 representa a variação da carga específica, estando esta compreendida entre 0,46 e 0,695 kg/m³. Estão representados também os custos totais dos rebentamentos por metro cúbico desmontado.

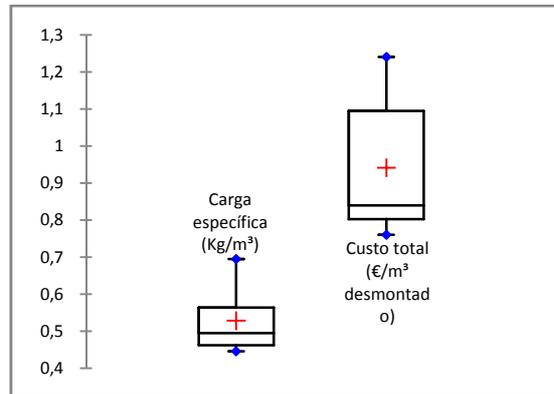


Figura 41 – Dados estatísticos - carga específica e custo total por m³ desmontado

Na figura 42 estão representados os valores referentes ao custo de fragmentação secundária nos rebentamentos em estudo.

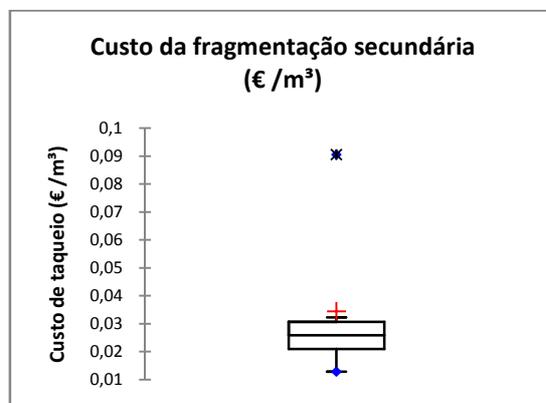


Figura 42 – Dados estatísticos - Custo da fragmentação secundária em €/m³ desmontado

Na figura 42 verifica-se a presença de um valor anormalmente alto resultante do rebentamento n.º 4, o qual deve ser tomado em consideração quando se comparam todos os rebentamentos.

Na tabela 51 apresenta a matriz de correlação de Pearson, na qual são relacionados os dados referentes à área desmontada por furo (m²), ao volume desmontado (m³), à energia do

combustível/m³, à energia do explosivo/m³, à carga específica (kg/m³), ao custo total (€/m³ desmontado) e custo da fragmentação secundária (€/m³ desmontado).

Tabela 51 - Matriz de correlação (Pearson)

Variáveis	Área (m ²)	Volume Desmontado (m ³)	Energia combustível (kcal/m ³)	Energia explosivo (kcal/m ³)	Carga específica (Kg/m ³)	Custo total (€/m ³ desmontado)	Custo de fragmentação secundária (€/m ³)
Área (m ²)	1	0,799	-0,876	-0,951	-0,943	-0,206	0,423
Volume Desmontado (m ³)	0,799	1	-0,884	-0,87	-0,889	-0,262	0,411
Energia combustível (kcal/m ³)	- 0,876	-0,884	1	0,826	0,828	0,186	-0,222
Energia explosivo (kcal/m ³)	- 0,951	-0,87	0,826	1	0,999	0,335	-0,493
Carga específica (Kg/m ³)	- 0,943	-0,889	0,828	0,999	1	0,33	-0,502
Custo total (€/m ³ desmontado)	- 0,206	-0,262	0,186	0,335	0,33	1	0,492
Custo de fragmentação secundária (€/m ³)	0,423	0,411	-0,222	-0,493	-0,502	0,492	1

Da tabela 51 podemos concluir que os parâmetros estudados que mais se relacionam e dependem da carga específica são:

- A energia do explosivo (kcal/m³) utilizada nos rebentamentos em estudo.
- A área da malha (m²) utilizada nos rebentamentos em estudo.
- O volume desmontado (m³) em cada rebentamento em estudo.
- A energia do combustível (kcal/m³) utilizado nos rebentamentos em estudo.

A figura 43 mostra a relação entre a carga específica e a área desmontada por furo. A equação da recta resultante pode ser usada como indicação para a carga específica a utilizar em condições semelhantes às encontradas na pedreira “Bouça do Menino” em função da área de desmonte pretendida para os rebentamentos.

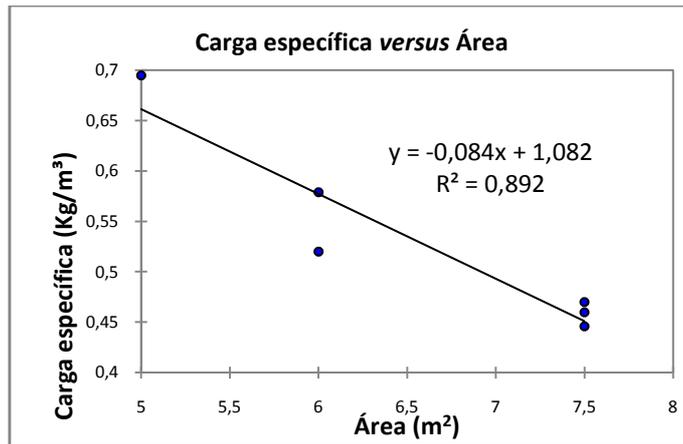


Figura 43 – Carga específica (kg/m³) versus Área (m²)

A carga específica a utilizar pode ser prevista aproximadamente para uma dada abertura de malha desejada. Pode também prever aproximadamente a abertura de malha a utilizar quando se pretende utilizar uma determinada carga específica.

Nas tabelas 52 e 53 estão apresentados os consumos energéticos dos rebentamentos em combustível (kcal/m³) e explosivo (kcal/m³) respectivamente.

Tabela 52 - Energia gasta em combustível por metro cúbico desmontado

Rebentamento n.º	Energia do combustível (kcal)	Área (m²)	Volume desmontado (m³)	Energia (kcal/m³)
1	8.713.540	7,5	7.371	1.182,138
2	9.766.179,911	7,5	9.180	1.063,854
4	11.085.200	7,5	8.623,65	1.285,442
3	7.914.816	6	3.972,12	1.992,592
6	12.525.768,06	6	8.153,76	1.536,195
5	5.895.170	5	3.201,2	1.841,550

Na figura 44 relacionam-se os valores da energia de combustível com a área da malha em cada um dos rebentamentos considerados para este estudo.

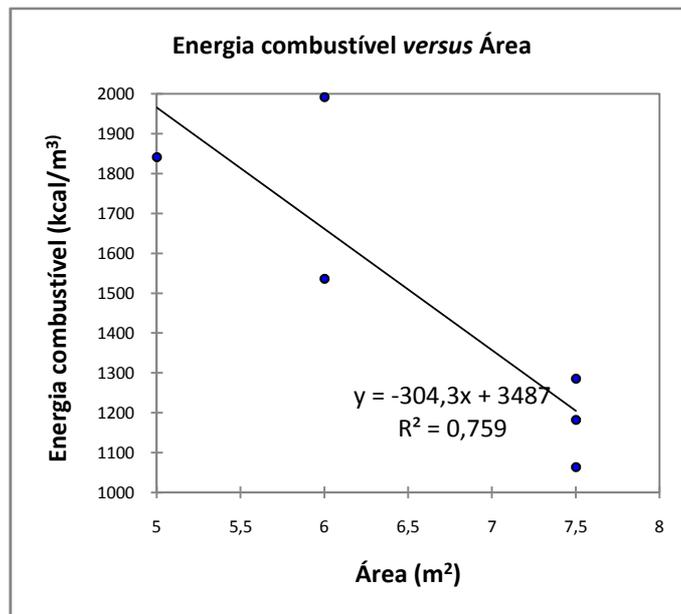


Figura 44 – Energia combustível (kcal/m³) versus Área (m²)

O custo em gasóleo teve uma maior variação relativamente à área da malha utilizada nos rebentamentos do tipo A (2,0m x 3,0m).

Existe uma relação entre a energia do combustível utilizado e a área da malha nos rebentamentos considerados neste estudo. A recta indicada no gráfico da figura 44 pode ser usada como orientação no desenho de novas pegas na exploração “Bouça do Menino”. A energia em combustível a utilizar pode ser prevista aproximadamente para uma dada abertura de malha desejada. Pode também prever aproximadamente a abertura de malha desejável a utilizar quando se pretende diminuir os consumos em combustível.

A tabela 53 apresenta os consumos energéticos das pegas em explosivo (kcal/m³)

Tabela 53 - Energia gasta em explosivos por metro cúbico desmontado

Rebentamento N.º	Energia dos explosivos (kcal)	Área (m ²)	Volume desmontado (m ³)	Energia (kcal/m ³)
1.ª	2.754.800	7,5	7.371	373,7349
2.ª	3.568.000	7,5	9.180	388,6710
4.ª	3.176.400	7,5	8.623,65	368,3359
3.ª	1.881.600	6	3.972,12	473,7017
6.ª	3.522.800	6	8.153,76	432,0461
5.ª	1.825.200	5	3.201,2	570,1612

Na figura 45 relacionam-se os valores da energia do explosivo com a área desmontada em cada um dos rebentamentos considerados para este estudo.

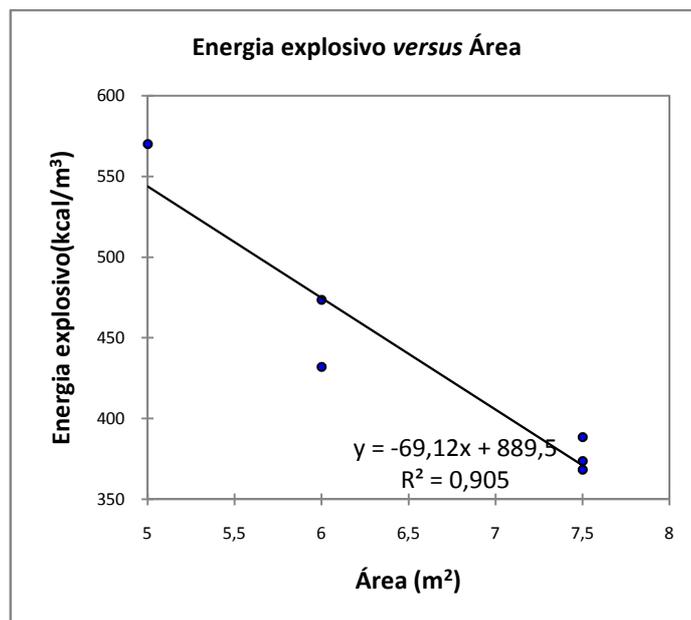


Figura 45 – Energia do explosivo (kcal/m³) versus Área (m²)

Na figura 45 podemos observar que a variação da energia nos rebentamentos do tipo A (2,0m x 3,0m) é maior que a observada nos rebentamentos típicos da exploração (2,5m x 3,0m).

Existe uma relação entre a energia do explosivo utilizado e a área da malha nos rebentamentos considerados neste estudo. A recta indicada no gráfico da figura 44 pode ser usada como orientação no desenho de novos rebentamentos na exploração “Bouça do Menino”.

A energia em explosivo a utilizar pode ser prevista aproximadamente para uma dada abertura de malha desejada. Pode também prever aproximadamente a abertura de malha desejável a utilizar quando se pretende diminuir os consumos em explosivos.

Verifica-se que os custos do rebentamento n.º4 (2,5m x 3,0m) foram superiores relativamente aos restantes rebentamentos típicos (2,5m x 3,0m) estudados. A pega n.º 5 teve os maiores custos em combustível e em explosivo devido a uma maior perfuração específica e mais explosivo utilizado, mas deu origem a uma menor percentagem de material que requer fragmentação secundária. Os rebentamentos do tipo A não mostraram mudanças muito significativas em termos de custos quando comparado com os típicos da exploração (2,5m x 3,0m), mesmo tendo sido utilizado mais explosivo devido à redução da malha.

Na tabela 54 são indicados os custos totais e os custos da fragmentação secundária em cada um dos rebentamentos considerados neste estudo.

Tabela 54 - Custo total (combustível+explosivo) e custo da fragmentação secundária

Rebentamento N.º	Área (m ²)	Custo total (€/m ³ desmontado)	Custo da fragmentação secundária (€/m ³)
1	7,5	0,79	0,0259
2	7,5	0,84	0,0194
4	7,5	1,18	0,0905
3	6	0,84	0,0259
6	6	0,76	0,0323
5	5	1,24	0,0129

Na figura 46 estão representados os custos totais em (€/m³), considerando a abertura de malha de cada tipo de rebentamento estudado.

O valor mais elevado em termos de custos refere-se ao rebentamento do tipo B, uma vez que utiliza uma perfuração específica maior e mais explosivo.

A maior variação de custos para um tipo de abertura de malha verifica-se nos rebentamentos do típicos da exploração (2,5m x 3,0m). De referir que o valor mais elevado deste

tipo de rebentamento se deve aos resultados pouco satisfatórios do rebentamento n.º 4, (ver a figura 42).

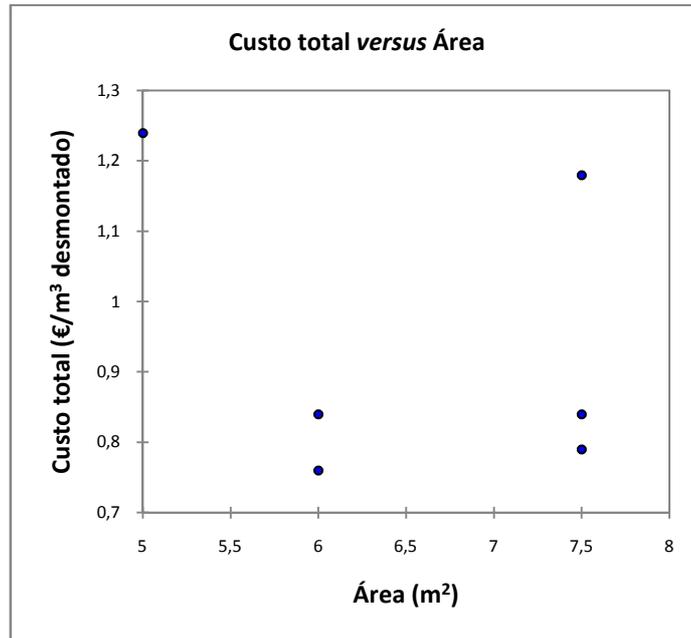


Figura 46 – Custo total (€/m³ desmontado) versus Área (m²)

Na figura 47 estão representados representados os custos totais em (€ /m³), considerando a abertura de malha de cada tipo de rebentamento estudado.

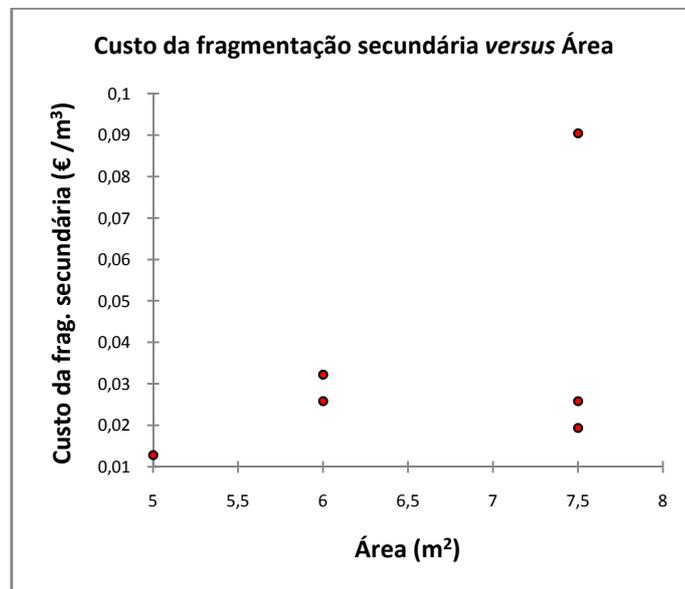


Figura 47 – Custo da fragmentação secundária (€/m³ desmontado) versus Área (m²)

O rebentamento do tipo B (2m x 2,5m), foi o que resultou numa menor percentagem de material a requer fragmentação secundária.

A maior variação de custos para um tipo de abertura de malha verifica-se nos rebentamentos típicos da exploração (2,5m x 3,0m). De referir que o valor mais elevado deste tipo de rebentamento se deve aos resultados pouco satisfatórios do rebentamento n.º 4, (ver a figura 42).

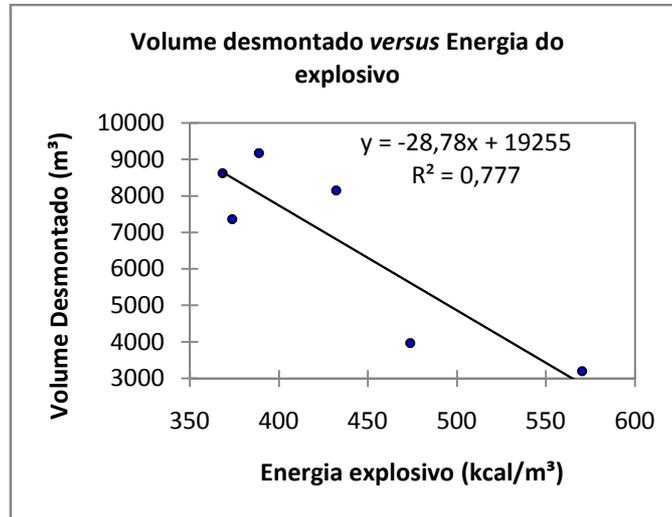


Figura 48 – Relação volume desmontado m³ - energia explosivo/ m³

Uma vez que a quantidade de explosivo a utilizar é calculada em função do volume a desmontar, verifica-se que existe uma relação entre estes dois factores nos rebentamentos considerados neste estudo. A recta indicada no gráfico da figura 48 pode ser usada como orientação no desenho de novos rebentamentos na exploração “Bouça do Menino”.

Na figura 49 estão relacionados os custos de fragmentação secundária em função da carga específica utilizada nos rebentamentos considerados neste estudo.

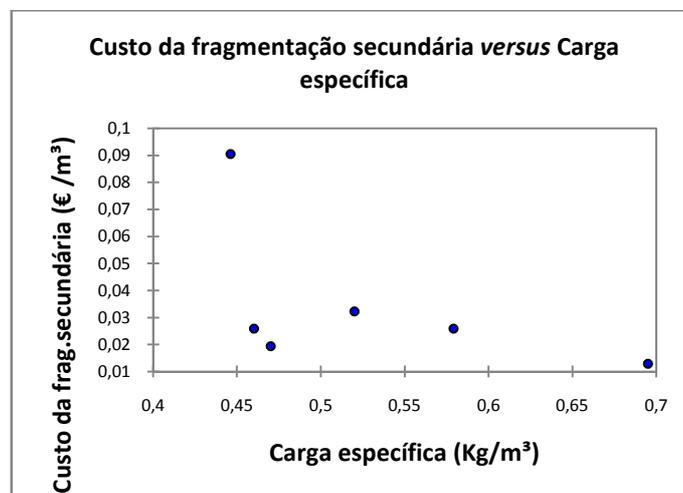


Figura 49 – Relação custo da fragmentação secundária (€/m³) – Carga específica (kg/m³)

Não existe uma relação directa entre a percentagem de rocha que requer fragmentação secundária quando consideramos todos os rebentamentos deste estudo. Esta não relação pode dever-se ao resultado menos satisfatório do rebentamento n.º 4.

Observando as figuras 50, 51, 52 e 53 verifica-se que o custo da fragmentação secundária não se relaciona com o custo total, com a energia do explosivo utilizado, com a energia do combustível para perfuração nem com o volume desmontado respectivamente.

A razão para esta não relação entre estes parâmetros pode dever-se ao resultado menos satisfatório do rebentamento n.º 4, (ver figura).

As figuras seguintes servem para uma compreensão visual dos resultados obtidos mas não servem para tirar conclusões viáveis, uma vez que os valores resultam numa nuvem de pontos.

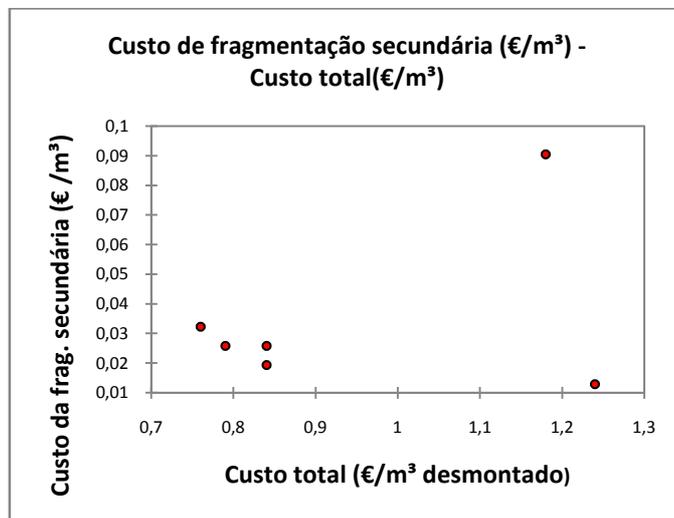


Figura 50 – Relação custo da fragmentação secundária (€/m³) – Custo total(€/m³)

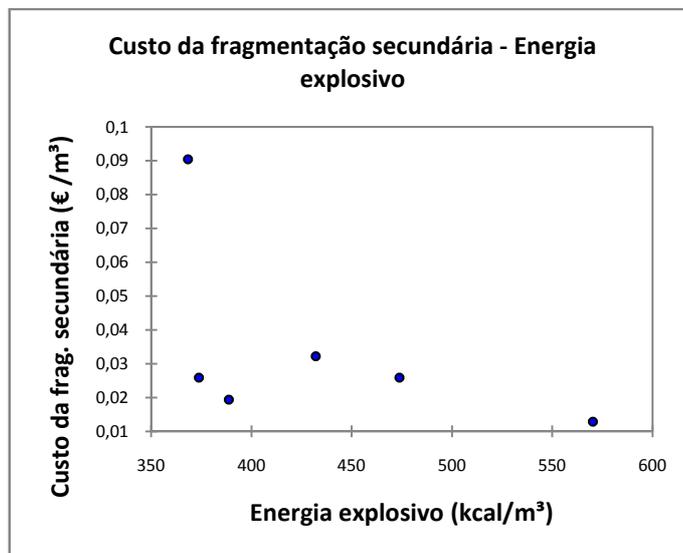


Figura 51 – Relação custo da fragmentação secundária (€/m³) – Energia do explosivo/m³

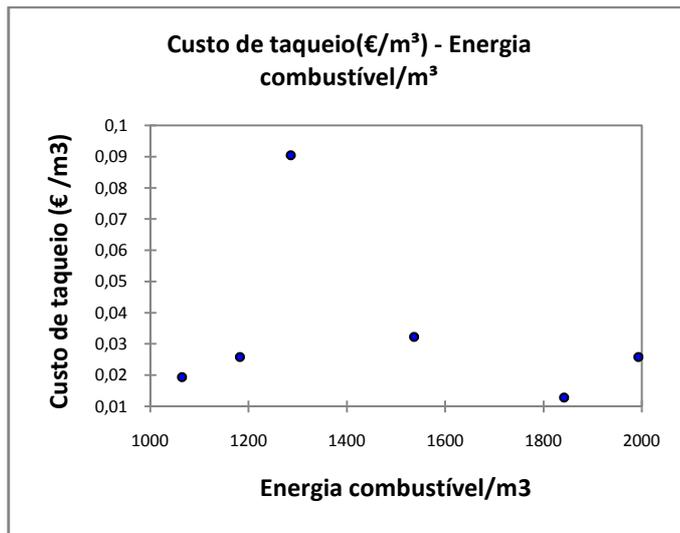


Figura 52 – Relação custo da fragmentação secundária (€/m³) – Energia do combustível/m³

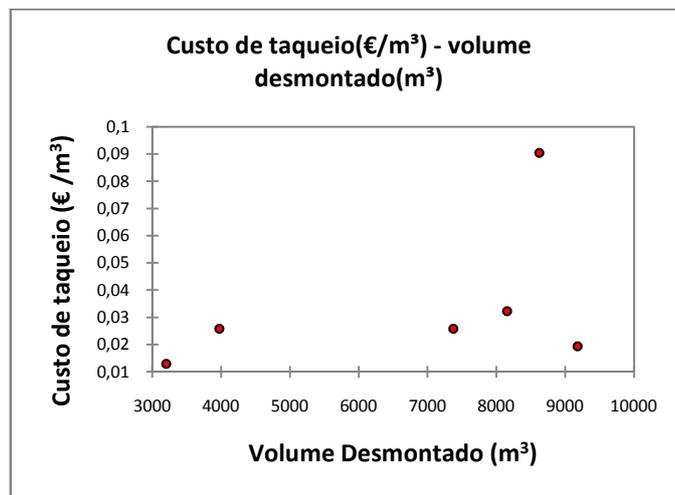


Figura 53 - Relação custo da fragmentação secundária (€/m³) – Volume desmontado

Capítulo 9 – Conclusões

9 – Conclusões

Do estudo da fracturação do maciço, que levou à elaboração de uma curva granulométrica representativa do material “in situ” da frente analisada (figura 31), e depois de calculados os diâmetros equivalentes dos blocos para comparação com o modelo wipfrag, podemos concluir:

- A curva do material “in situ” apresenta uma distribuição de tamanhos pouco extensa. Os fragmentos variam em volume entre $0,065\text{m}^3$ e $14,137\text{m}^3$. O tamanho do bloco médio é de $1,8\text{m}$ e a gama de volume de blocos compreendida entre $4,188\text{m}^3$ e $0,524\text{m}^3$ é a que tem maior número de blocos perfazendo $68,63\%$ da totalidade dos blocos “in situ” considerados para este estudo. O diâmetro equivalente dos blocos que aparecem em maior quantidade varia entre $1,5$ e $2,0\text{m}$.

Relativamente às alterações verificadas na fragmentação da rocha por variação da carga específica podemos chegar às seguintes conclusões:

- Com o aumento da carga específica por diminuição da área desmontada por furo no caso dos rebentamentos do tipo A ($2,5\text{m} \times 3,0\text{m}$), rebentamentos n.º 3 e n.º 6 do estudo, as alterações são pouco evidentes, sendo o D_{50} destas curvas ligeiramente inferior, mas a fracção $\geq 750\text{mm}$ resultante aproxima-se do valor dos desmontes típicos. Atribuímos este facto à fracturação natural do maciço e à sua interferência com o mecanismo de fragmentação pelos explosivos, já que em zonas de maior densidade de fracturas pode resultar uma má performance dos explosivos por perda rápida da pressão do explosivo pelas fracturas interceptadas pelo furo.
- No rebentamento do plano B ($2,0\text{m} \times 2,5\text{m}$), rebentamento n.º 5 do estudo, há uma redução da percentagem de material para fragmentação secundária e o D_{50} dos blocos resultantes do rebentamento tem o valor mais baixo dos rebentamentos estudados. Este resultado em nosso entender fica a dever-se à maior perfuração específica utilizada, com consequente possibilidade de intercepção dos blocos pelos furos realizados, bem com em resultado de uma melhor distribuição do explosivo dentro do maciço a desmontar. Nesse rebentamento, devido à configuração da geometria dos furos, foi utilizada a maior carga específica de todos os rebentamentos considerados para o estudo. O rebentamento n.º 5 foi o que obteve a menor percentagem de fragmentos acima dos 750mm .
- O rebentamento n.º 4 ($2,5\text{m} \times 3,0\text{m}$) em estudo com a carga específica mais baixa obteve os piores resultados.

- Existe uma relação directa entre a carga específica utilizada e a área desmontada por furo.
- Não existe uma relação directa entre a carga específica utilizada e o custo por m³ rebentado.
- Não existe uma relação directa entre a carga específica utilizada e o custo da fragmentação secundária.

A carga específica a utilizar em desmonte de rocha com as características da existente neste estudo pode ser prevista no gráfico que relaciona aquela com a área desmontada (figura 43).

Quando comparamos os D_{50} e a fracção ≥ 750 mm resultantes da curva granulométrica do material “in situ” com os D_{50} e a fracção ≥ 750 mm das curvas de fracturação dos rebentamentos chegamos às seguintes conclusões (tabela 47):

- Dos rebentamentos com configuração típica da exploração (2,5m x 3,0m), o rebentamento n.º 2, realizado em granito ligeiramente alterado (w2), foi o que apresentou uma maior relação de redução do seu D_{50} relativamente ao material “in situ” com valor de 90,33%. Os rebentamentos n.º 1 com o plano do tipo 1 (2,5m x 3,0m), n.º 3 com o plano do tipo A (2,0m x 3,0m) e n.º 6 com o plano do tipo A (2,0m x 3,0m) têm uma relação de redução na ordem dos 88%. A maior relação de redução verificou-se no rebentamento n.º 5 com o plano tipo B (2,0m x 2,5m), com valor de 92,83%. Em nosso entender, este facto deve-se à diminuição da distância à frente e à menor oposição do maciço à instalação de fracturas por acção da onda de choque do rebentamento. O rebentamento n.º 4 com o plano do tipo 2 (2,5m x 3,0m) originou a menor redução com valor de 90,33%.
- Considerando aceitável uma fracção ≥ 750 mm das curvas de fracturação dos rebentamentos inferior a 10%, o rebentamento n.º 5 com o plano tipo B (2,0m x 3,0m) é o mais eficaz apresentando apenas 2% de material com essa granulometria.
- O rebentamento n.º 4 foi o que apresentou a maior percentagem de material com essa granulometria ≥ 750 mm com 14% do volume total desmontado. Em nosso entender tal ficou a dever-se à qualidade do maciço com fracturação mais evidente e aberta na bancada onde foi realizado.

Relativamente ao consumo energético, tanto na carga explosiva como no combustível utilizado chegamos às seguintes conclusões:

- Como era de esperar, existe um aumento no consumo da energia explosiva devido à utilização de uma carga específica progressivamente maior por diminuição da área desmontada por furo. (figura 45).
- Existe também um maior consumo de combustível com o equipamento de perfuração já que a perfuração específica é progressivamente maior para os rebentamentos do estudo relativamente aos rebentamentos típicos utilizados na exploração (figura 44).
- O rebentamento n.º 4 (2,5m x 3,0m), realizado em granito amarelo alterado (W2) encontrou dificuldades na operação de perfuração, devido a uma fracturação mais acentuada, o que levou a um maior consumo de combustível do equipamento de perfuração, por diminuição da produtividade.

Relativamente ao custo do desmonte verifica-se um aumento deste com a diminuição da área desmontada por furo, mas esta subida do preço por m³ desmontado, poderá não ser negativa para a operação se considerarmos que há menos blocos para fragmentação secundária, o que pode ser uma mais-valia para as operações como um todo (tabela 54).

Este estudo baseou-se em seis rebentamentos com diferentes configurações da área desmontada por furo. Para que os resultados obtidos se aproximem mais da realidade deverão ser observados e estudados mais rebentamentos na exploração “Bouça do Menino”, de forma a estes resultados serem mais representativos.

Este caso de estudo poderá ser adoptado a qualquer exploração que pretenda optimizar os resultados dos seus rebentamentos, seguindo a metodologia utilizada neste trabalho.

Referências bibliográficas

- Referências bibliográficas

Ash R. L., 1963. *The Mechanics of Rock Breakage*. Pitt and Quarry, Vol. V: 2-5, 98-100, 109-111, 118-123, 126-131.

Borquez G.V., 1981. *Estimation of drilling and blasting cost – An analysis and prediction model*. Engineering and Mining Journal, pp 83-89. Vol 182.

Budin B., Newton G., Thompson J., 2003. *Optimization of Bench Blasting for Hard Rock Quarries*. Colorado School of Mines.

Chaminé, H. I., 2008. *Geologia Aplicada*. Curso de Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Daniel F., 2000. *Manual de Utilização de Explosivos em Explorações a Céu Aberto*. Divisão de Minas e Pedreiras do Instituto Geológico e Mineiro.

Dearman W. R., 1976. *Weathering classification in the characterization of rock: A revision*. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, Krefeld. n.º13, pp 123-127.

Dey, Kaushik & Phalguni Sen., 2003. *Concept of Blastability – An Update*. Dept. of Mining Engg. Indian School of Mines. The Indian Mining & Engineering Journal, 42 (8/9), pp 24-31.

Duvall W. I. , Atchinson T. C., 1957. *Rock Breakage by Explosives*. s.l. : U. S. B. M. RI 5356.

Engin I.C., 2010. *A practical method of bench blasting design for desired fragmentation based on digital image processing technique and Kuz-Ram model*. In: Sanchidrián (ed), Proceedings of the 9th Int. Symp. on Rock Fragmentation by Blasting, Taylor & Francis. pp 257-263.

Fraenkel K.H., 1954. *Handbook in rock blasting technique*. Esselte AB.

Franklin J. A., Katsabanis T., 1996. *Measurement of blast fragmentation*. In: Proceedings of the Fragblast-5 Workshop, pp 13-98.

GEOBLAST, 2006. *Estudo de procedimentos na pedreira Bouça do Menino Cervães – Vila Verde*. (Relatório inédito).

Gheibie S. et.al., 2010. *Kuznetsov model's efficiency in estimation of mean fragment size at the Sungun copper mine*. In: Sanchidrián (ed), Proceedings of the 9th Int. Symp. on Rock Fragmentation by Blasting, Taylor & Francis, pp 265-269

Gomes. L., Galiza C., Vieira A., 2000. *Desmonte com explosivos I*. Curso de Licenciatura em Engenharia Geotécnica e Geoambiente. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Gomes. L., Galiza C., Vieira A., 2000. *Desmonte com explosivos II*. Curso de Licenciatura em Engenharia Geotécnica e Geoambiente. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Hansen D. W., 1968. *Drilling and Blasting Techniques for Morrow Point Power Plant*. Golden. In 9th Symposium of Rock Mechanics , pp 347-360

- Holmberg R., 2000. *Explosives and blasting technique*. Rotterdam, Taylor & Francis.
- Hustrulid W. A., 1990. *Blasting principles for open pit mining*. Vol. 1.
- ITGE - Instituto Tecnológico Geominero de España, 1994. *Manual de perforacion y voladura de rocas*. Série: Tecnología y Seguridad Minera.
- Kaçar G., Özgenoğlu A., Bilgin H. A., 2003. *Effect of discontinuity orientation and spacing on the blasting performance in some open cast mines of TKİ-Turkey*. Atılım University, Ankara, Turkey: ISRM.
- Kanchibotla, S. S., 2003. *Optimum Blasting ? Is it minimum cost per broken rock or maximum value per broken rock*. DynoConsult, Dyno Nobel Asia Pacific Limited.
- Khoshrou H. & M. Badroddin et.al., 2010. *Determination of the practicable burden in Sungun open-pit mine, Iran*. In: Sanchidrián (ed), Proceedings of the 9th Int. Symp. on Rock Fragmentation by Blasting, Taylor & Francis. pp 271-276.
- Kwangmin K., 2006. *Blasting Design Using Fracture Toughness and Image Analysis of the Bench Face and Muckpile*. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Langefors U. , Kihlstrom. B., 1978. *The Modern Technology of Rock Blasting*. John Wiley & Sons Inc, p. 438.
- Larsson, B., 1974. *Blasting of low and high benches, fragmentation from production blasting*. Stockholm, The Swedish Rock Blasting Committee, pp. 247–271.
- Lopez Jimeno C., Lopez Jimeno E., Ayala Carcedo F. J., 1995. *Drilling and blasting of rocks*. Balkema, Rotterdam, Brookfield.
- Medeiros C., Teixeira A., 1969. *Nota explicativa da folha 5-C Barcelos, Carta geológica de Portugal*. Direcção geral de minas e serviços geológicos. Ministério da Economia.
- Mitrović S.S. et.al., 2010. *Influence of rock mass blastability on explosive energy distribution*. In: Sanchidrián (ed), Proceedings of the 9th Int. Symp. on Rock Fragmentation by Blasting, Taylor & Francis. pp 249-255.
- Mohanty B., 1996. *Rock fragmentation by blasting: Fragblast-5*. Rotterdam.
- Mota-Engil, SA., 2004 *Estudo de Impacte Ambiental do Projecto de Ampliação da Pedreira "Bouça do Menino"*. Vol. Resumo não técnico. (Relatório inédito).
- Müller B., Hausmann J., Niedzwiedz H., 2010. *Control of rock fragmentation and muck pile geometry during production blasts (environmentally friendly blasting technique)*. In: Sanchidrián (ed), Proceedings of the 9th Int. Symp. on Rock Fragmentation by Blasting, Taylor & Francis, p.227-289
- Narendrula R., Singh S.P. , 2010. *Causes, implications and control of oversize during blasting*. In: Sanchidrián (ed), Proceedings of the 9th Int. Symp. on Rock Fragmentation by Blasting, Taylor & Francis. pp 311-317.

- Olofsson, S.O., 1990. *Applied Explosives Technology for construction and Mining*. Applex.
- Ouchterlony F., 2003. *Influence of blasting on the size distribution and properties of muckpile fragments*. Swebrec: Lulea University of technology, a state-of-the-art review.
- Otal S., Schleifer J., Pirard E., 2010. *Evaluating a calibration method for the estimation of fragmented rock 3D-size-distribution out of 2D images*. In: Sanchidrián (ed), Proceedings of the 9th Int. Symp. on Rock Fragmentation by Blasting, Taylor & Francis. pp 221-228.
- Palangio T, Maerz N., 2004. *Post-Muckpile, Pre-Primary Crusher, Automated Optical Blast Fragmentation Sizing*. *Fragblast* Vol 8, pp 119-136.
- Pinho A., Carvalho J. A. R., Gomes C., Duarte I.M., 2006. *Overview of the evaluation of the state of rock weathering by visual inspection*. IAEG, Vol. 260.
- Rossmannith, V. H. P., 2002. *Advanced blasting in jointed and faulted rock*.
- Sanchidrián J.A., Segarra P., López L.M., 2010. *Evaluation of some distribution functions for describing rock fragmentation data*. In: Sanchidrián (ed), Proceedings of the 9th Int. Symp. on Rock Fragmentation by Blasting, Taylor & Francis. pp 239-248.
- Thornton, D.M., 2010. *The application of electronic monitors to understand blast movement dynamics and improve blast designs*. In: Sanchidrián (ed), Proceedings of the 9th Int. Symp. on Rock Fragmentation by Blasting, Taylor & Francis. pp 287-300.
- Thurley M.J., 2010. *Fragmentation size measurement using 3D surface imaging*. In: Sanchidrián (ed), Proceedings of the 9th Int. Symp. on Rock Fragmentation by Blasting, Taylor & Francis. pp 229-237.
- Wip Ware, 1997. *Product catalogue*. Inc. WipFrag I, II & III.

Sites consultados:

- BP Global. <http://www.bp.com> (consultado em 3 de Abril de 2009)
- Britanite. <http://www.britanite.com> (consultado em 5 de Março de 2009)
- CEEETA - Centro de Estudos em Economia da Energia, dos Transportes e do Ambiente. <http://www.ceeeta.pt>
- DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia. <http://www.dgge.pt> (consultado em 11 de Novembro de 2009)
- E-Geo Sistema Nacional de informação Geocientífica. http://e-Geo.ineti.pt/geociencias/edicoes_online/diversos/explosivos/indice.htm (consultado em 10 de Junho de 2009)
- Google Earth, (link para o programa utilizado). <http://earth.google.com/intl/pt/> (consultado em 5 de Maio de 2010)

Metso. <http://www.metsominerals.com.br> (consultado em 13 de Abril de 2009)

Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento. <http://www.min-economia.pt/> (consultado em Março de 2009)

Mota-Engil. <http://www.mota-engil.pt/> (consultado em Fevereiro de 2009)

REN. <http://www.ren.pt> (consultado em Fevereiro de 2009)

Sec - Sociedade de explosivos civis. <http://sec.no.sapo.pt/> (consultado em 1 de Março de 2009)

U.S. Department of Energy. <http://www.energy.gov> (consultado em 5 de Outubro de 2009)

Anexos

Índice de Anexos (Ver em CD-Rom)

Anexo 1 – Carta geológica de Portugal, Folha 5-C Barcelos

Anexo 2 – Determinação de tensão de rotura por compressão

Anexo 3 – Catálogo dos explosivos utilizados

Anexo 4 – Equipamento de perfuração

Anexo 5 – Determinação da curva granulométrica “in-situ”

Anexo 6 – Curvas granulométricas resultantes das pegas de fogo

Anexos

Índice de Anexos (Ver em CD-Rom)

Anexo 1 – Carta geológica de Portugal, Folha 5-C Barcelos

Anexo 2 – Determinação de tensão de rotura por compressão

Anexo 3 – Catálogo dos explosivos utilizados

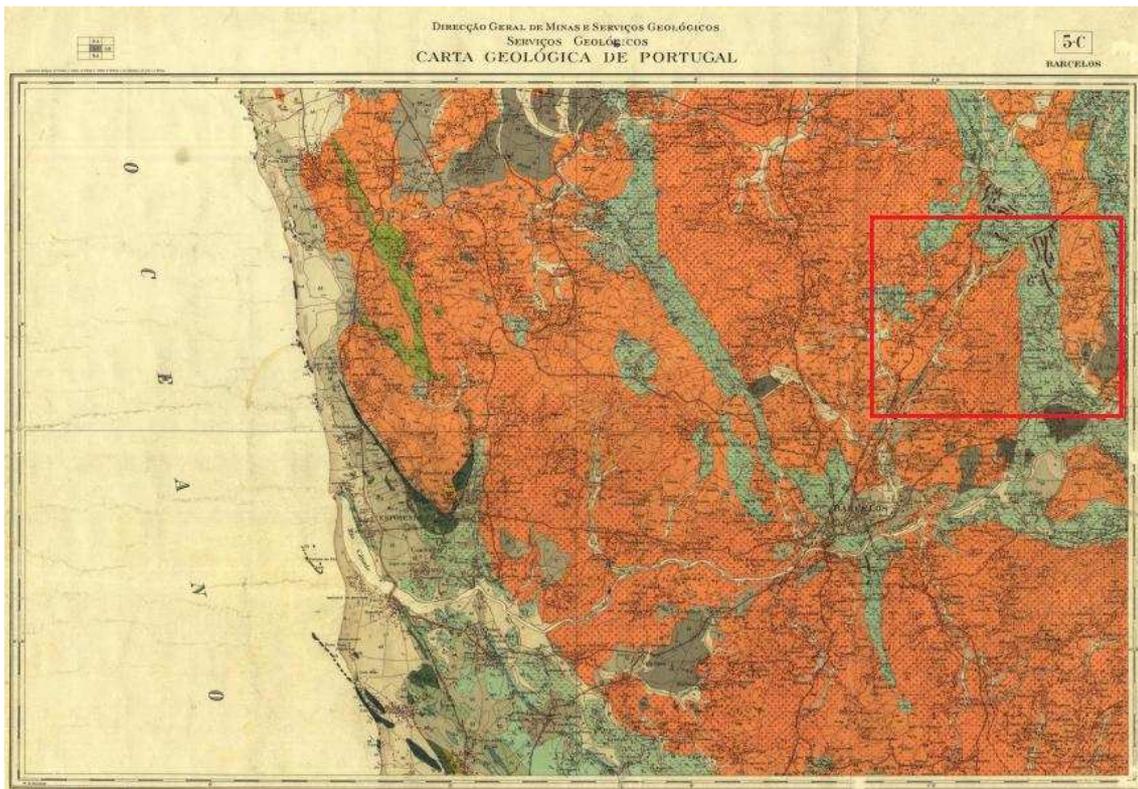
Anexo 4 – Equipamento de perfuração

Anexo 5 – Determinação da curva granulométrica “in-situ”

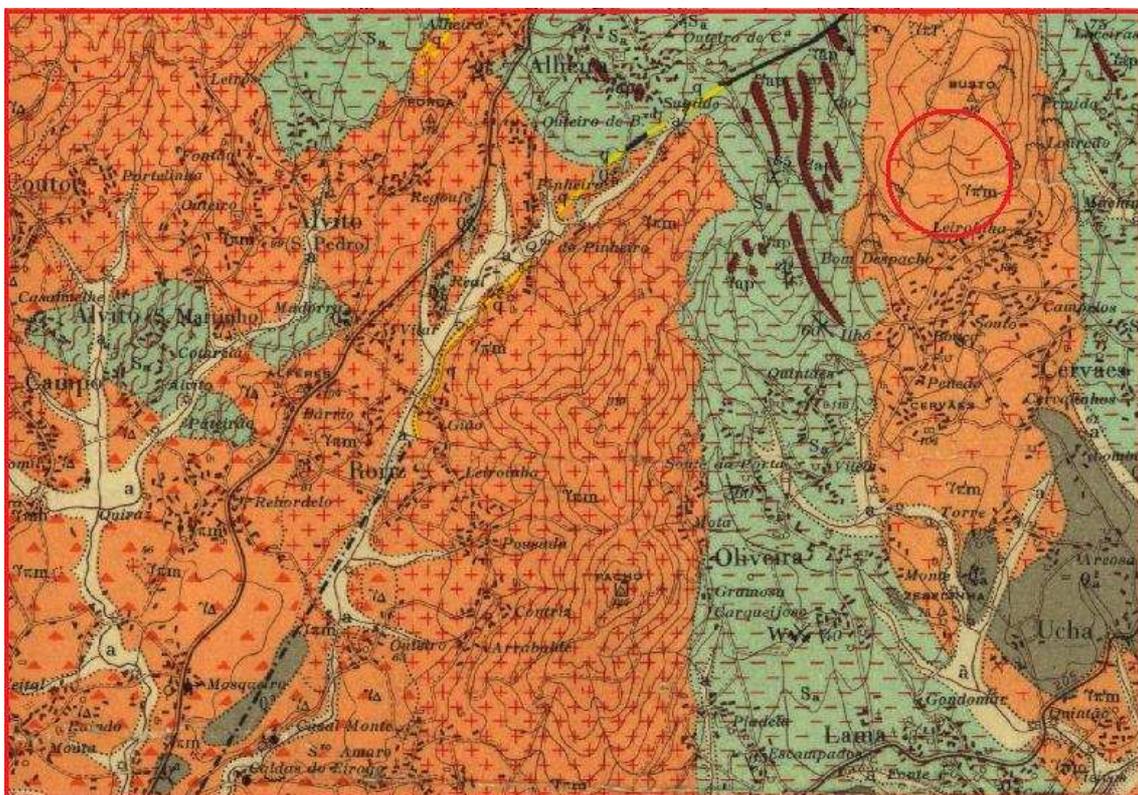
Anexo 6 – Curvas granulométricas resultantes das pegas de fogo

Anexo 1 – Carta geológica de Portugal, Folha 5-C Barcelos

Na seguinte figura está apresentada a Carta geológica de Portugal 5-C referente a Barcelos.



Na seguinte figura está indicada num círculo vermelho a localização da exploração “Bouça do Menino” na Carta geológica de Portugal 5-C.



Legenda:

	<p>Granito porfiróide, de grão grosseiro ou grosseiro a médio</p>	<p>Granito monzonítico (s. l.) predominantemente biotítico</p>	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Rochas eruptivas</p>
	<p>Granito porfiróide, de grão médio, às vezes grosseiro</p>		
	<p>Granito não porfiróide, de grão grosseiro ou grosseiro a médio</p>		
	<p>Granito não porfiróide, de grão médio</p>		
	<p>Granito não porfiróide, de grão fino</p>		
	<p>Granodiorito de grão médio ou médio a fino, frequentemente porfiróide</p>		
	<p>Granito de grão médio ou grosseiro (Granito ds Gondijelos e Granito de Pousa)</p>		

Anexo 2 – Determinação de tensão de rotura por compressão

Determinação de tensão de rotura por compressão

LGMC Laboratório de Geotecnia e materiais de construção	Pedras naturais Determinação de tensão de rotura por compressão				Relatório n.º 2918 Data : 18/07/03	
CICCOPN						
Normas de referência: Norma Portuguesa NP 1040 – 1974						
A. Características do provete						
Forma do provete	Provete cúbico			Provete cilíndrico		
Referência do provete	Dimensões das arestas		Área (mm ²)	Dimensões dos diâmetros		Área (mm ²)
	L1 (mm)	L2 (mm)		d1 (mm)	d2 (mm)	
A0837/03	103,5	103,6	8421,5
A0837/03	102,4	102,4	8235,5
A0837/03	103,1	103,1	8348,5
A0837/03	103,4	103,4	8397,2
B. Tensão de rotura						
Referência do provete	Força de rotura (Mpa)	Tensão de rotura (Mpa)	Observações			
A0837/03	1049,6	124,6	Seco ao ar			
A0837/03	811,7	98,6	Seco ao ar			
A0837/03	984,0	117,9	Seco ao ar			
A0837/03	332,1	39,5	Seco ao ar			
Nome : Mota & Companhia, S.A. Rua Rego Lameiro, 38			Requisição n.º : 03/1803			
Referência : Pedreira de Cervães Ensaiou : Eduardo Fernandes			Data : 08/07/03			

Este ensaio foi realizado em 2003 pelo LGMC - Laboratório de Geotecnia e materiais de construção, uma empresa independente, e está disponível nos arquivos da pedreira "Bouça do Menino".

Anexo 3 – Catálogo dos explosivos utilizados



TECNOLOGIA

QUALIDADE

INOVAÇÃO

ASSISTÊNCIA
TÉCNICA

SERVIÇOS

EXPERIÊNCIA

SEGURANÇA

EMULEX

NOVA GERAÇÃO DE EXPLOSIVOS
EMULSÃO EXPLOSIVA SENSÍVEL AO DETONADOR



Vantagens

Explosivo de alto desempenho, para cargas de fundo, com aplicação generalizada em todas as condições de trabalho. Pode ser utilizado como carga de coluna, em condições particulares de exigência.

Substituição económica de explosivos gelatinosos e pulverulentos tanto em trabalhos subterrâneos, como de superfície.

Segurança acrescida por oferecer maior resistência que as dinamites à detonação por impacto.

Maior vida útil por manterem inalteradas todas as características até 1 ano após o fabrico, em condições normais de armazenagem.

Excelente resistência à água, suportando pressões hidrostáticas até 100 m.

Comodidade na manipulação por não conterem substâncias que provocam dores de cabeça ou alergias.

Versatilidade: devido ao processo de produção, a emulsão pode ser adaptada às necessidades de cada cliente.

Ecológicas: devido à sua composição, as emulsões não têm compromissos ambientais.

AS PROJECCÕES ACONTECEM! PROTEJA-SE



Características

Produto	Densidade (g/cm ³) ± 0,02	Velocidade Detonação (m/s) ± 200	Pressão Detonação (Kb) ±10	Calor Explosão (cal/g)	Potência Relativa (em volume) ANFO = 100	Resistência à água	Geração de fumos
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	
EMULEX 711	1,25	6.350	126	752	145	Excelente	Fraca
EMULEX 721	1,25	6.200	120	937	181	Excelente	Fraca
EMULEX 731	1,25	5.850	107	1.056	204	Excelente	Fraca

- [1] Norma: EN WI 321062 (t de 15 a 25°C)
 [2] Norma: EN WI 321063 (50mm não confinado)
 [3] Cálculo: $(2,502 \cdot 10^6) \cdot (v.o.d.)^2 \cdot (\text{densidade})$
 [4] Norma: EN WI 321064
 [5] Cálculo: ANFO= 910*0,71
 [6] Norma: EN WI 321012

A EMULEX é sensível ao detonador nº 8 e ao cordão detonante.

Apresentação

CARTUCHOS				CAIXA	
Ø min (mm)	Comprimento (mm)	Peso Médio (g)	Revestimento	Nº. de Cartuchos	Peso Líquido (kg)
28	200	147	Papel	170	25
35	220	250	Papel	100	25
40	200	333	Plástico	75	25
40	500	833	Plástico	30	25
50	500	1250	Plástico	20	25
55	500	1464	Plástico	17	25
60	500	1785	Plástico	14	25
65	500	2083	Plástico	12	25
75	500	2500	Plástico	10	25
80	500	3125	Plástico	8	25
85	500	3571	Plástico	7	25
130	900	12500	Saco Ráfia	AVULSO	

Armazenagem

A EMULEX é um explosivo sensível ao detonador que deve ser transportado, armazenado e manipulado de acordo com a legislação em vigor.

Classificação e Transporte

Classificação Explosivo, Tipo E
 Classe 1.1D
 UN Nº 0241

AVISO

A utilização e comercialização de explosivos está regulamentada por lei. O presente boletim tem somente carácter informativo e, em caso algum, poderão ser imputadas à SEC responsabilidades pelo uso ou manipulação dos produtos.



SEC – SOCIEDADE DE EXPLOSIVOS CIVIS, SA.

Sede / Fábrica: Apartado 49 – 7600 ALJUSTREL – Telef. 284 602 189 – Fax. 284 601 508
 Escritório: Av. Duque D'Ávila 95 – 2º - 1000 -139 Lisboa
 Fax. 213 571 315 - Telef. 213 571 311/3/4 - TLM 966 041 659 - 962 373 166
E-mail: sec@sec-sa.pt **Site:** www.sec-sa.pt
 LINHA AZUL PARA ENCOMENDAS : 808 200 461



Grupo CUF

Anexo 4 – Equipamento de perfuração



CARRO DE PERFURAÇÃO
HCR 1000 - EDS



FURUKAWA

MARTELOS DE ALTA PERFORMANCE SÉRIE HD 700

Série HD 700 da FURUKAWA: os martelos que revelam uma performance acima da média.

Com a série HD 700, é mais fácil que nunca perfurar com mais rapidez e em maior profundidade.

As características mais avançadas da série HD 700 da FURUKAWA englobam:

- Sistema "Dual Damper" que afina automaticamente o martelo para uma eficiência máxima independentemente das condições da rocha.
- Novo design do pistão, concebido para maximizar a transmissão de energia e para perfurar de modo eficiente numa grande variedade de tipos de rocha.
- Pressão de percussão, força e rapidez da alimentação e velocidade de rotação, todas ajustáveis manualmente e podendo ser usadas para obter uma qualidade de perfuração ótima.
- Novo design do martelo, o qual permite minimizar o barulho e a vibração da perfuração.
- Simplificação do modo de operar permitindo um uso eficiente até por parte de operadores inexperientes.
- A série HD 700 - a chave para uma perfuração de alta qualidade.



FURUKAWA



Cabine



Painel de controlo



Controlador da perfuração



Alavanca de segurança



Controlo da lança



Controlador das varas



Porta de serviço



FURUKAWA

NOVAS CABINES DA SÉRIE S

De ambos os lados do assento do operador, estão colocadas alavancas de controlo da perfuração, manobráveis pelo operador. A visibilidade durante a perfuração está amplamente melhorada. Ar condicionado pressurizado mantém no interior da cabine um ambiente agradável e limpo.



■ Operação com alavancas de direcção

Duas alavancas multi-funções controlam a perfuração e as operações de troca de varas. As alavancas com design ergonómico foram pensadas para os dias de operações longos, são comandadas sem esforço pelo operador piloto.

■ Indicadores com boa visibilidade

Os indicadores da pressão do óleo e do ar estão montados no poste frontal do lado direito, de modo a que o operador possa avistá-los com facilidade sempre que queira. Este posicionamento permite que o operador verifique as funções da máquina enquanto continua a focalizar a sua atenção na perfuração.

■ Manutenção ao nível do solo

Toda a manutenção diária pode ser levada a cabo ao nível do solo. Os amortecedores a gás/ acumuladores permitem que as portas de serviço articuladas se abram facilmente para qualquer tipo de manutenção.

■ Estrutura de suporte resistente

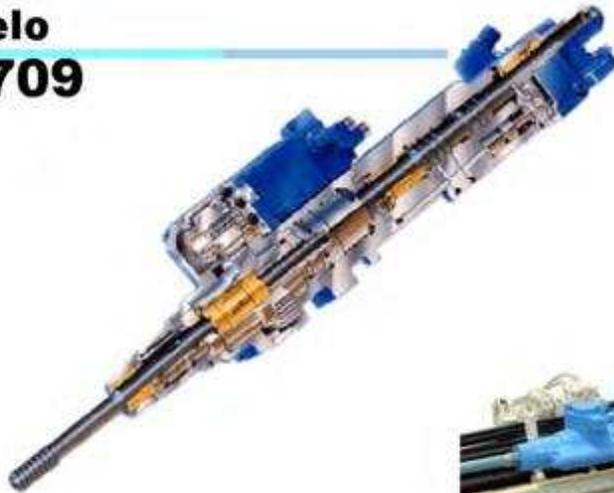
Rastos resistentes que revelam força e durabilidade. Apresentam um design com uma secção que reduz a acumulação de lixo e o desgaste. As rodas dentadas são manufacturadas com materiais sólidos e de desgaste lento para um tempo de vida mais duradouro. Os rolamentos dos rastos e o rolete superior foram forjados e fortalecidos para uma maior durabilidade, foram alvo de lubrificação duradoura para reduzir as exigências da manutenção.

Os elos de ligação dos rastos são forjados a partir de aço manganês, as cavilhas e o casquilho são de metal duro fortalecido. As rodas de guia frontais são fortalecidas e lubrificadas. Rastos com protecção standardizada. A tensão dos rastos é facilmente ajustável com a ajuda de uma pistola de lubrificação.



FURUKAWA

Martelo HD 709



■ Sistema "Dual Damper"

Para obter uma transferência de energia máxima, o sistema minimiza o retorno das vibrações através da manutenção firme e constante do bit contra a rocha durante a perfuração, resultando em perdas de energia menores.

Graças à redução da força de alimentação exigida pelo sistema, os furos tornam-se mais precisos e profundos. Outro dos benefícios é o tempo de vida prolongada das varas e das outras ferramentas de perfuração.

■ Design da válvula compacta

O novo design permite uma nova abordagem à eficiência das operações. Com efeito, uma válvula compacta montada no cilindro do HD700 está posicionada muito próxima do pistão, resultando numa resposta mais rápida, quer da válvula, quer do próprio pistão, e levando a uma melhor performance do martelo.

■ Percussão inversa

Facilita o desencravamento das varas. Um aumento substancial na força de extração permite que a percussão inversa remova uma vara presa de modo mais eficiente.

■ Controlador do martelo IDS-2

O sistema IDS da Furukawa tem sido simplificado e estandardizado, tal como o IDS-2 para o HCR 1000 EDS.

- IDS-2 controla hidráulica e mecanicamente a velocidade de alimentação do martelo durante a perfuração.
- A Furukawa desenvolveu recentemente uma nova válvula que controla a velocidade de alimentação do martelo durante a perfuração.
- Quando o bit perfurador encontra buracos de ar ou lama, ou quando se perde por entre as camadas das rochas, o sistema IDS 2 faz baixar a velocidade da alimentação para um nível pré-ajustado abaixo, até que o bit entre novamente em contacto com rocha sólida. O sistema "Dual Damper" também faz recuar a posição da vara permitindo que o pistão a conduza com uma potência mais reduzida.
- Quando o bit passa por entre as camadas da rocha, a velocidade da alimentação é automaticamente reduzida para manter a precisão do furo.
- IDS-2 reduz os custos totais em aço e reduz as perdas de tempo causadas por varas encravadas e presas.

FURUKAWA

A ÚLTIMA COMBINAÇÃO DE EFICIÊNCIA E POUPANÇA

O novo design do martelo, incorporando o sistema IDS-2, torna a performance da perfuração o mais eficiente possível, com custos de operação também eles o mais baixos possível .



■ Compressor de alto rendimento

O compressor de alto rendimento aumenta o jacto e o volume de ar, permite uma perfuração mais rápida e diminui o desgaste do bit. Também previne que se volte a furar os detritos.

■ Performance melhorada

O sistema de limpeza aumenta o volume de ar ejectado, o que diminui a obstrução do sistema. A caixa de descarga foi desenhada para expelir os detritos de grandes dimensões antes que estes cheguem à caixa principal. Assim, o tempo de vida do filtro é alargado.

■ Sistema duplo de troca de varas

Todos os sistemas duplos de troca de varas hidro-mecânicos são um modelo actualizado do sistema convencional da Furukawa. O tempo dispendido na troca das varas é reduzido.

■ Motor com baixa emissão de poluentes

O motor potente e silencioso cumpre os principais regulamentos da União Europeia, dos Estados Unidos da América e do Japão. Para além de ser limpo, também é económico, dado o seu baixo consumo de combustível. E, graças à estrutura do motor, assente num suporte de borracha, a cabine do operador está isolada das vibrações. Em temperaturas frias, um aquecedor de ar assegura um arranque rápido do equipamento.



FURUKAWA



Extensão da lança



Sistema duplo de troca de varas



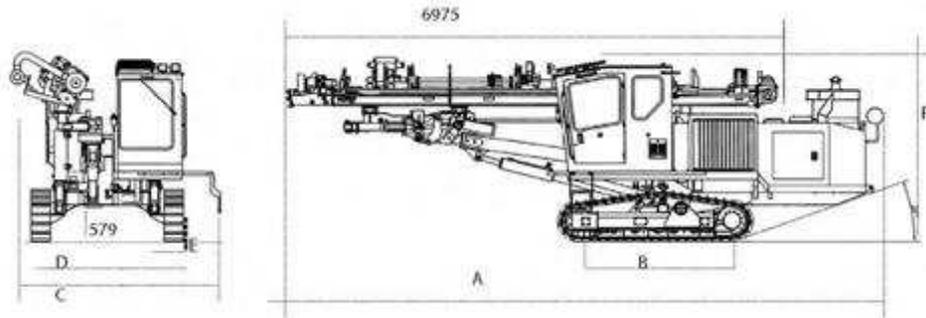
Controlador da troca de varas



Captor de poeiras

FURUKAWA

■ Dimensões



■ Especificações

Modelo		HCR 1000 EDS
Peso operativo com cabine ROPS/FOBS	kg	11700
Peso e dimensões		
A Comprimento total	mm	9260
B Comprimento em contacto com o solo	mm	2380
C Largura total c/ sistema de limpeza	mm	3280
D Largura entre a parte exterior dos rastos	mm	2400
E Largura do rasto	mm	300
F Altura total	mm	2890
Martelo		
Peso	kg	185
Modelo		HD 709
Número de rotações	min ⁻¹	2250-2500
Impactos por minuto	min ⁻¹	0-250
Estrutura de suporte		
Afastamento do solo	mm	579
Ângulo de oscilação	deg	aproximadamente 10
Velocidade de deslocação	km/h	0-3,8
Inclinação	%	57,7 (30 deg)
Motor		
Marca/modelo		CATERPILLAR/ 3126 B
Tipo		Motor diesel refrigerado a ar, carregamento turbo, injeção directa de combustível, regulador electrónico

FURUKAWA

■ Especificações (continuação)

Motor (CONT.)		
Deslocação do pistão	litros	7,2
Rendimento/ velocidade (bruta)	kW/min	Rendimento bruto disponível no volante do motor instalado com todos os acessórios standard. Condições SAE J1349, SAE J1995
Bomba Hidráulica		
Tipo		2 bombas do pistão c/ caudal variável que fornecem óleo tanto para a deslocação como para a perfuração. 2 bombas de carretos para a refrigeração e o captor de poeiras.
Compressor		
Modelo		PDS265- S35A
Descarga de ar	m ³ /min	6,1
Pressão do ar durante a operação	MPa	1,03
Lança		
Modelo		JE326
Ângulo de elevação (cima para baixo)	deg	40-28
Ângulo de balanço (direita para esquerda)	deg	35-10
Comprimento	mm	1200
Coluna		
Modelo		GH831
Comprimento	mm	6975
Comprimento da alimentação / com rotação inversa	mm	4727/ 4552
Comprimento do lado	mm	1500
Ângulo de rotação (direita para esquerda)	deg	30-90
Ângulo de basculamento	deg	180
Puxador da vara	kN	24,5
Captor de poeiras		
Capacidade de sucção	m ³ /min	20
Disposição das varas		
Tipo		Sistema de troca de varas
Quantidade de varas		5+1(vara de arranque)
Bit e varas		
Diâmetro do bit		65-90
Tamanho da vara		32H, 38R, 45R, (38H)
Comprimento da vara	mm(ft)	3050(10 ft) ou 3660(12 ft)
Comprimento da vara de arranque	mm(ft)	36660(12ft) ou 4000(14ft)

O conteúdo destas especificações poderá ser alvo de alterações sem aviso prévio

FURUKAWA

FURUKAWA

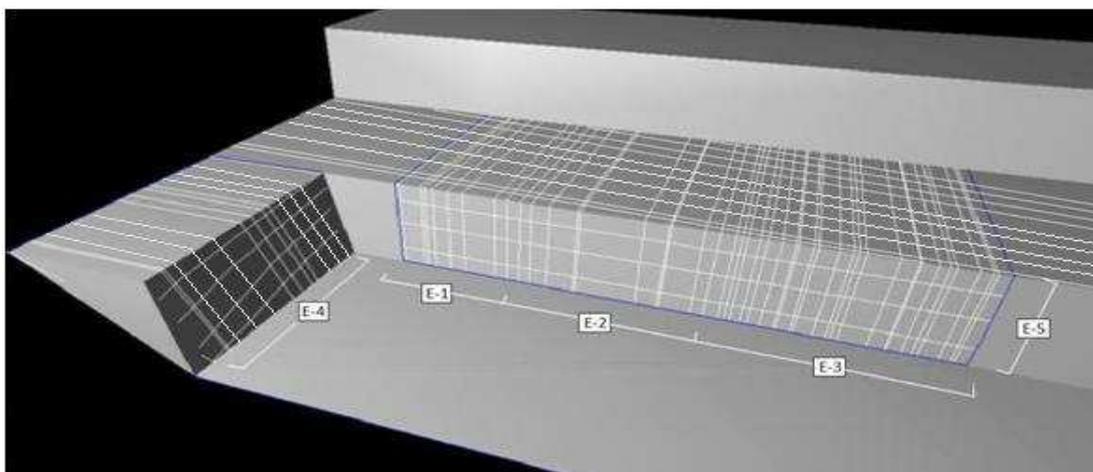


FURUKAWA ROCK DRILL CO., LTD.

15-9, 2 chome, Uchikanda, Chiyoda-ku, Tokyo 101-0047, Japan
Fax +81-3-5297-3944

Anexo 5 – Determinação da curva granulométrica “in-situ”

Para determinar a curva granulométrica do material “in-situ” procedeu-se ao levantamento das fracturas naturais da bancada intermédia. Foram recolhidos dados de cinco “scanlines”, orientadas de forma a permitir estudar a fracturação natural de um paralelepípedo considerado como representativo do maciço em estudo. A representação dessas “scanlines” apresenta-se na figura seguinte.



Para determinar o volume de cada bloco unitário recorreu-se a um programa informático de desenho do tipo CAD e a uma tabela Excel. Para determinar a área em planta de cada um dos blocos unitários relacionaram-se as famílias de descontinuidades verticais ou subverticais recorrendo ao programa do tipo CAD. Para a determinação do volume dos blocos esta área foi relacionada com o espaçamento da família horizontal usando uma tabela Excel. A tabela seguinte resume os valores em que se baseia a curva granulométrica “in-situ”, estando a totalidade dos dados representados nas tabelas seguintes.

Diâmetro Equivalente (m)	Volume Blocos (m³)	n.º de Blocos	% de Blocos	Volume Total (m³)	% em Volume	% de Passados
0,50	0,07	2	0,05	0,13	0,00	0,00
0,60	0,11	36	0,87	4,07	0,03	0,03
0,70	0,18	74	1,78	13,29	0,09	0,11
0,80	0,27	115	2,76	30,83	0,20	0,31
0,90	0,38	166	3,99	63,36	0,41	0,73
1,00	0,52	191	4,59	100,01	0,65	1,38
1,50	1,77	1462	35,14	2583,57	16,81	18,19
2,00	4,19	1393	33,49	5834,98	37,97	56,15
2,50	8,18	580	13,94	4745,11	30,88	87,03
3,00	14,14	141	3,39	1993,34	12,97	100,00
Total		4160	100,00	15368,70	100,00	100,00

As seguintes 2 fichas de campo apresentadas representam as utilizadas para recolher os dados relativos à fracturação natural no local. Os levantamentos são apresentados seguidamente em tabelas.

Dissertação de Mestrado

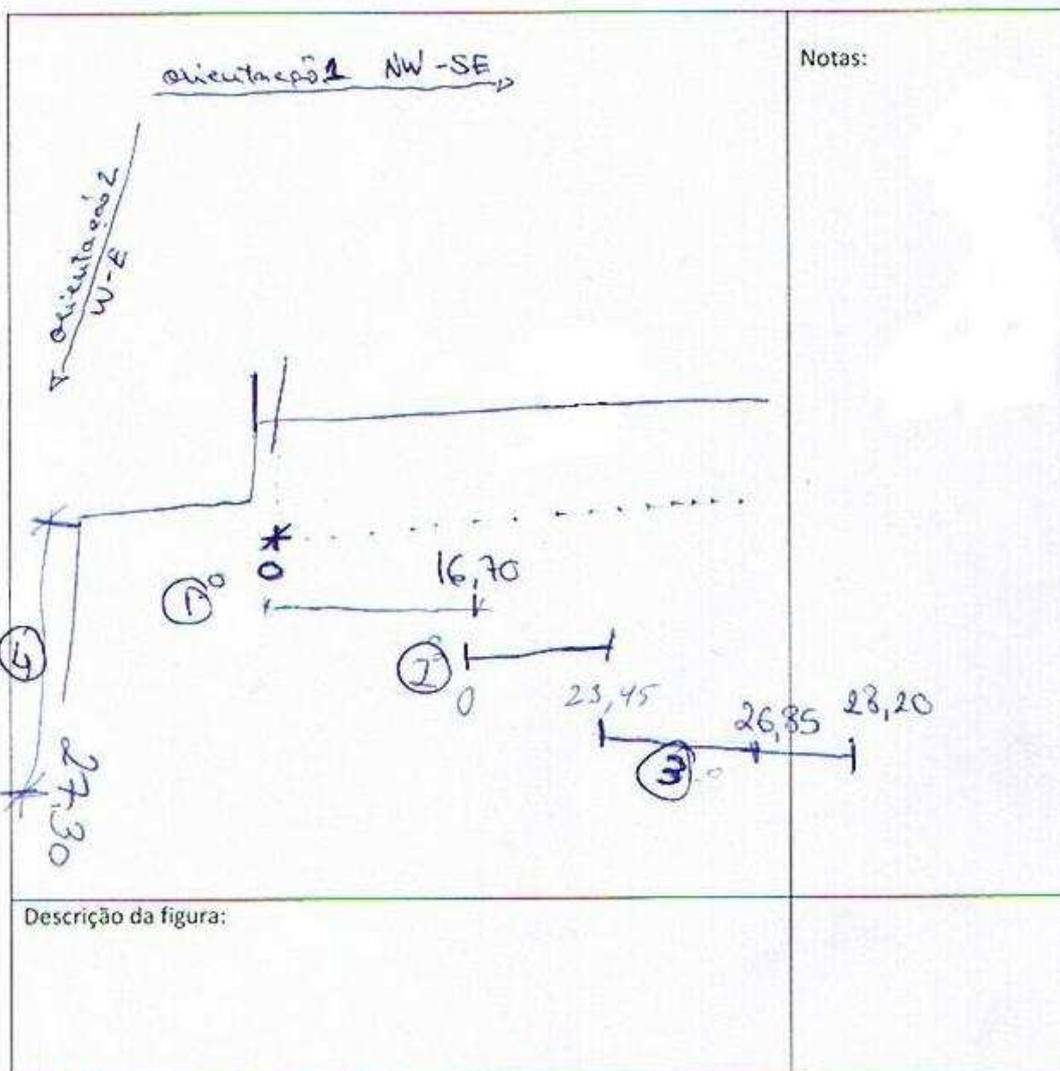
2010

Ficha de campo n.º2

Ângelo Silva

Data (24/03/2009)

Esquema dos levantamentos



FICHA DE LEVANTAMENTO Nº 3

Dissertação de Mestrado

Ângelo Silva (2009)

Orientação: 1
do Perfil NW-SE
do "Scanline" NW-SE
Coordenadas do Ponto de Origem da Fita:

Data: 24, 03, 2009

Localização: Gravões

Nome:

Rubrica:

Descontinuidade nº	Distância a origem (m) D	Litologia	Alteração		Altitude Dir./Inc.	Tipo de descontinuidade	Abertura	Espaçamento (cm) F	Comprimento L	Terminação T	Curvatura C	Rugosidade A	Enchimento	Presença de água	Tipo de Cunha Fav./Def.	Observações
			Tipo	Class.												
1	1,30	granito			N60E:89											
2	2,90				N74E:82											
3	3,05				N62E:88											
4	4,30				N62E:88											
5	5,10				N70E:88											
6	8,50				N68E:88											
7	8,00				N74E:90											
8	8,25				N38E:88											
9	9,30				N38E:90											
10	10,20				N38E:90											
11	12,60				N30E:84											
12	13,65				N38E:86											
13	14,20				N38E:86											
14	14,90				N38E:82											
15	18,05				N28E:88											
16	19,90				N32E:88											
17	20,65				N28E:80											
18	21,60				N26E:80											
19	22,05				N36E:88											
20	23,25				N39E:84											
21	25,25				N32E:86											
22	26,35				N30E:88											
23	28,20															
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30																

Levantamento 1						
distância à origem	espaçamento	direcção			Mergulho	
0,0						
	0,4					
0,4		N	80	E	90	S
	3,0					
3,4		N	84	E	86	S
	0,6					
4,0		N	86	E	90	S
	1,1					
5,1		N	78	E	88	S
	2,1					
7,2		N	84	E	88	S
	1,9					
9,2		N	86	E	90	S
	4,3					
13,5		N	78	E	88	S
	1,6					
15,0		N	74	E	86	S
	1,7					
16,7						

Levantamento 2						
distância à origem	espaçamento	direcção			Mergulho	
0						
	1,5					
1,5		N	70	E	90	S
	2,2					
3,7		N	88	E	84	S
	3,5					
7,2		N	80	E	84	S
	0,35					
7,55		N	80	E	86	S
	3,8					
11,35		N	80	E	86	S
	3,85					
15,2		N	68	E	84	S
	2,75					
17,95		N	62	E	84	S
	0,15					
18,1		N	78	E	88	S
	3,8					
21,9		N	94	E	88	S
	1,55					
23,45						

Levantamento 3						
distância à origem	espaçamento	direcção			Mergulho	
0						
	1,7					
1,7		N	60	E	89	S
	1,2					
2,9		N	74	E	82	S
	0,15					
3,05		N	62	E	88	S
	1,25					
4,3		N	62	E	88	S
	0,8					
5,1		N	70	E	88	S
	2,4					
7,5		N	68	E	88	S
	0,5					
8		N	74	E	90	S
	0,25					

8,25		N	78	E	88	S
	1,55					
9,8		N	88	E	90	S
	0,4					
10,2		N	88	E	90	S
	2,1					
12,3		N	70	E	84	S
	1,35					
13,65		N	72	E	76	S
	0,55					
14,2		N	72	E	76	S
	0,7					
14,9		N	78	E	72	S
	3,15					
18,05		N	88	E	88	S
	1,85					
19,9		N	82	E	88	S
	0,75					
20,65		N	86	E	80	S
	0,95					
21,6		N	86	E	80	S
	1,05					
22,65		N	76	E	88	S
	0,6					
23,25		N	89	E	84	S
	2					
25,25		N	82	E	86	S
	1,6					
26,85		N	80	E	88	S
	1,35					
28,2						

Levantamento 4						
distância à origem	espaçamento	direcção			Mergulho	
0						
	0,26					
0,26		N	160	E	89	
	0,24					
0,5		N	164	E	82	
	0,2					
0,7		N	162	E	88	
	0,3					

1		N	162	E	86	
	0,65					
1,65		N	160	E	88	
	1,1					
2,75		N	168	E	88	
	0,4					
3,15		N	164	E	90	
	0,25					
3,4		N	158	E	88	
	0,22					
3,62		N	160	E	90	
	0,38					
4		N	162	E	90	
	0,32					
4,32		N	158	E	84	
	0,45					
4,77		N	162	E	86	
	0,6					
5,37		N	162	E	86	
	0,55					
5,92		N	158	E	82	
	0,9					
6,82		N	158	E	88	
	0,37					
7,19		N	160	E	88	
	0,45					
7,64		N	156	E	80	
	0,7					
8,34		N	156	E	80	
	0,34					
8,68		N	158	E	88	
	0,25					
8,93		N	158	E	84	
	0,73					
9,66		N	162	E	86	
	0,37					
10,03		N	160	E	88	
	0,25					
10,28						

Levantamento 5
distância à origem
2,15
2,85
2,2
2,8

De seguida relacionaram-se as áreas em planta do desenho CAD com o espaçamento das fracturas sub-horizontais numa folha Excel para obter o volume de todos os blocos individuais como se apresenta nas seguintes tabelas.

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
A1	1,70	2,15	3,66	B1	0,68	2,15	1,46
A2	0,30	2,15	0,65	B2	0,12	2,15	0,26
A3	0,55	2,15	1,18	B3	0,22	2,15	0,47
A4	1,05	2,15	2,26	B4	0,42	2,15	0,90
A5	0,98	2,15	2,10	B5	0,39	2,15	0,84
A6	2,15	2,15	4,62	B6	0,86	2,15	1,85
A7	0,78	2,15	1,67	B7	0,31	2,15	0,67
A8	0,85	2,15	1,83	B8	0,34	2,15	0,73
A9	1,10	2,15	2,37	B9	0,44	2,15	0,95
A10	1,75	2,15	3,76	B10	0,70	2,15	1,51
A11	0,18	2,15	0,38	B11	0,07	2,15	0,15
A12	1,91	2,15	4,11	B12	0,77	2,15	1,64
A13	1,91	2,15	4,11	B13	0,77	2,15	1,64
A14	1,38	2,15	2,96	B14	0,55	2,15	1,18
A15	0,08	2,15	0,16	B15	0,03	2,15	0,06
A16	1,90	2,15	4,09	B16	0,76	2,15	1,63
A17	0,78	2,15	1,67	B17	0,31	2,15	0,67
A18	0,85	2,15	1,83	B18	0,34	2,15	0,73
A19	0,60	2,15	1,29	B19	0,24	2,15	0,52
A20	0,08	2,15	0,16	B20	0,03	2,15	0,06
A21	1,52	2,15	3,26	B21	0,61	2,15	1,30
A22	0,40	2,15	0,86	B22	0,16	2,15	0,34
A23	1,20	2,15	2,58	B23	0,48	2,15	1,03
A24	0,25	2,15	0,54	B24	0,10	2,15	0,22
A25	0,13	2,15	0,27	B25	0,05	2,15	0,11
A26	0,78	2,15	1,67	B26	0,31	2,15	0,67
A27	0,20	2,15	0,43	B27	0,08	2,15	0,17
A28	1,05	2,15	2,26	B28	0,42	2,15	0,90
A29	0,68	2,15	1,45	B29	0,27	2,15	0,58
A30	0,28	2,15	0,59	B30	0,11	2,15	0,24
A31	0,35	2,15	0,75	B31	0,14	2,15	0,30
A32	1,58	2,15	3,39	B32	0,63	2,15	1,35
A33	0,93	2,15	1,99	B33	0,37	2,15	0,80
A34	3,75	2,15	8,06	B34	0,15	2,15	0,32
A35	0,48	2,15	1,02	B35	0,19	2,15	0,41
A36	0,53	2,15	1,13	B36	0,21	2,15	0,45
A37	0,30	2,15	0,65	B37	0,12	2,15	0,26
A38	1,00	2,15	2,15	B38	0,40	2,15	0,86
A39	0,80	2,15	1,72	B39	0,32	2,15	0,69
A40	0,68	2,15	1,45	B40	0,27	2,15	0,58

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
C1	1,02	2,15	2,19	D1	2,21	2,15	4,75
C2	0,18	2,15	0,39	D2	0,39	2,15	0,84
C3	0,33	2,15	0,71	D3	0,72	2,15	1,54
C4	0,63	2,15	1,35	D4	1,37	2,15	2,93
C5	0,59	2,15	1,26	D5	1,27	2,15	2,73
C6	1,29	2,15	2,77	D6	2,80	2,15	6,01
C7	0,47	2,15	1,00	D7	1,01	2,15	2,17
C8	0,51	2,15	1,10	D8	1,11	2,15	2,38
C9	0,66	2,15	1,42	D9	1,43	2,15	3,07
C10	1,05	2,15	2,26	D10	2,28	2,15	4,89
C11	0,11	2,15	0,23	D11	0,23	2,15	0,49
C12	1,15	2,15	2,47	D12	2,49	2,15	5,35
C13	1,15	2,15	2,47	D13	2,49	2,15	5,35
C14	0,83	2,15	1,77	D14	1,79	2,15	3,84
C15	0,05	2,15	0,10	D15	0,10	2,15	0,21
C16	1,14	2,15	2,45	D16	2,47	2,15	5,31
C17	0,47	2,15	1,00	D17	1,01	2,15	2,17
C18	0,51	2,15	1,10	D18	1,11	2,15	2,38
C19	0,36	2,15	0,77	D19	0,78	2,15	1,68
C20	0,05	2,15	0,10	D20	0,10	2,15	0,21
C21	0,91	2,15	1,96	D21	1,97	2,15	4,24
C22	0,24	2,15	0,52	D22	0,52	2,15	1,12
C23	0,72	2,15	1,55	D23	1,56	2,15	3,35
C24	0,15	2,15	0,32	D24	0,33	2,15	0,70
C25	0,08	2,15	0,16	D25	0,16	2,15	0,35
C26	0,47	2,15	1,00	D26	1,01	2,15	2,17
C27	0,12	2,15	0,26	D27	0,26	2,15	0,56
C28	0,63	2,15	1,35	D28	1,37	2,15	2,93
C29	0,41	2,15	0,87	D29	0,88	2,15	1,89
C30	0,17	2,15	0,35	D30	0,36	2,15	0,77
C31	0,21	2,15	0,45	D31	0,46	2,15	0,98
C32	0,95	2,15	2,03	D32	2,05	2,15	4,40
C33	0,56	2,15	1,19	D33	1,20	2,15	2,59
C34	0,23	2,15	0,48	D34	0,49	2,15	1,05
C35	0,29	2,15	0,61	D35	0,62	2,15	1,33
C36	0,32	2,15	0,68	D36	0,68	2,15	1,47
C37	0,18	2,15	0,39	D37	0,39	2,15	0,84
C38	0,60	2,15	1,29	D38	1,30	2,15	2,80
C39	0,48	2,15	1,03	D39	1,04	2,15	2,24
C40	0,41	2,15	0,87	D40	0,88	2,15	1,89

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
E1	3,74	2,15	8,04	F1	1,36	2,15	2,92
E2	0,66	2,15	1,42	F2	0,24	2,15	0,52
E3	1,21	2,15	2,60	F3	0,44	2,15	0,95
E4	2,31	2,15	4,97	F4	0,84	2,15	1,81
E5	2,15	2,15	4,61	F5	0,78	2,15	1,68
E6	4,73	2,15	10,17	F6	1,72	2,15	3,70
E7	1,71	2,15	3,67	F7	0,62	2,15	1,33
E8	1,87	2,15	4,02	F8	0,68	2,15	1,46
E9	2,42	2,15	5,20	F9	0,88	2,15	1,89
E10	3,85	2,15	8,28	F10	1,40	2,15	3,01
E11	0,39	2,15	0,83	F11	0,14	2,15	0,30
E12	4,21	2,15	9,05	F12	1,53	2,15	3,29
E13	4,21	2,15	9,05	F13	1,53	2,15	3,29
E14	3,03	2,15	6,50	F14	1,10	2,15	2,37
E15	0,17	2,15	0,35	F15	0,06	2,15	0,13
E16	4,18	2,15	8,99	F16	1,52	2,15	3,27
E17	1,71	2,15	3,67	F17	0,62	2,15	1,33
E18	1,87	2,15	4,02	F18	0,68	2,15	1,46
E19	1,32	2,15	2,84	F19	0,48	2,15	1,03
E20	0,17	2,15	0,35	F20	0,06	2,15	0,13
E21	3,34	2,15	7,17	F21	1,21	2,15	2,61
E22	0,88	2,15	1,89	F22	0,32	2,15	0,69
E23	2,64	2,15	5,68	F23	0,96	2,15	2,06
E24	0,55	2,15	1,18	F24	0,20	2,15	0,43
E25	0,28	2,15	0,59	F25	0,10	2,15	0,22
E26	1,71	2,15	3,67	F26	0,62	2,15	1,33
E27	0,44	2,15	0,95	F27	0,16	2,15	0,34
E28	2,31	2,15	4,97	F28	0,84	2,15	1,81
E29	1,49	2,15	3,19	F29	0,54	2,15	1,16
E30	0,61	2,15	1,30	F30	0,22	2,15	0,47
E31	0,77	2,15	1,66	F31	0,28	2,15	0,60
E32	3,47	2,15	7,45	F32	1,26	2,15	2,71
E33	2,04	2,15	4,38	F33	0,74	2,15	1,59
E34	0,83	2,15	1,77	F34	0,30	2,15	0,65
E35	1,05	2,15	2,25	F35	0,38	2,15	0,82
E36	1,16	2,15	2,48	F36	0,42	2,15	0,90
E37	0,66	2,15	1,42	F37	0,24	2,15	0,52
E38	2,20	2,15	4,73	F38	0,80	2,15	1,72
E39	1,76	2,15	3,78	F39	0,64	2,15	1,38
E40	1,49	2,15	3,19	F40	0,54	2,15	1,16

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
G1	0,85	2,15	1,83	H1	0,75	2,15	1,61
G2	0,15	2,15	0,32	H2	0,13	2,15	0,28
G3	0,28	2,15	0,59	H3	0,24	2,15	0,52
G4	0,53	2,15	1,13	H4	0,46	2,15	0,99
G5	0,49	2,15	1,05	H5	0,43	2,15	0,92
G6	1,08	2,15	2,31	H6	0,95	2,15	2,03
G7	0,39	2,15	0,83	H7	0,34	2,15	0,73
G8	0,43	2,15	0,91	H8	0,37	2,15	0,80
G9	0,55	2,15	1,18	H9	0,48	2,15	1,04
G10	0,88	2,15	1,88	H10	0,77	2,15	1,66
G11	0,09	2,15	0,19	H11	0,08	2,15	0,17
G12	0,96	2,15	2,06	H12	0,84	2,15	1,81
G13	0,96	2,15	2,06	H13	0,84	2,15	1,81
G14	0,69	2,15	1,48	H14	0,61	2,15	1,30
G15	0,04	2,15	0,08	H15	0,03	2,15	0,07
G16	0,95	2,15	2,04	H16	0,84	2,15	1,80
G17	0,39	2,15	0,83	H17	0,34	2,15	0,73
G18	0,43	2,15	0,91	H18	0,37	2,15	0,80
G19	0,30	2,15	0,65	H19	0,26	2,15	0,57
G20	0,04	2,15	0,08	H20	0,03	2,15	0,07
G21	0,76	2,15	1,63	H21	0,67	2,15	1,43
G22	0,20	2,15	0,43	H22	0,18	2,15	0,38
G23	0,60	2,15	1,29	H23	0,53	2,15	1,14
G24	0,13	2,15	0,27	H24	0,11	2,15	0,24
G25	0,06	2,15	0,13	H25	0,06	2,15	0,12
G26	0,39	2,15	0,83	H26	0,34	2,15	0,73
G27	0,10	2,15	0,22	H27	0,09	2,15	0,19
G28	0,53	2,15	1,13	H28	0,46	2,15	0,99
G29	0,34	2,15	0,73	H29	0,30	2,15	0,64
G30	0,14	2,15	0,30	H30	0,12	2,15	0,26
G31	0,18	2,15	0,38	H31	0,15	2,15	0,33
G32	0,79	2,15	1,69	H32	0,69	2,15	1,49
G33	0,46	2,15	0,99	H33	0,41	2,15	0,88
G34	0,19	2,15	0,40	H34	0,17	2,15	0,35
G35	0,24	2,15	0,51	H35	0,21	2,15	0,45
G36	0,26	2,15	0,56	H36	0,23	2,15	0,50
G37	0,15	2,15	0,32	H37	0,13	2,15	0,28
G38	0,50	2,15	1,08	H38	0,44	2,15	0,95
G39	0,40	2,15	0,86	H39	0,35	2,15	0,76
G40	0,34	2,15	0,73	H40	0,30	2,15	0,64

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
I1	1,29	2,15	2,78	J1	1,09	2,15	2,34
I2	0,23	2,15	0,49	J2	0,19	2,15	0,41
I3	0,42	2,15	0,90	J3	0,35	2,15	0,76
I4	0,80	2,15	1,72	J4	0,67	2,15	1,44
I5	0,74	2,15	1,59	J5	0,62	2,15	1,34
I6	1,63	2,15	3,51	J6	1,38	2,15	2,96
I7	0,59	2,15	1,27	J7	0,50	2,15	1,07
I8	0,65	2,15	1,39	J8	0,54	2,15	1,17
I9	0,84	2,15	1,80	J9	0,70	2,15	1,51
I10	1,33	2,15	2,86	J10	1,12	2,15	2,41
I11	0,13	2,15	0,29	J11	0,11	2,15	0,24
I12	1,45	2,15	3,13	J12	1,22	2,15	2,63
I13	1,45	2,15	3,13	J13	1,22	2,15	2,63
I14	1,05	2,15	2,25	J14	0,88	2,15	1,89
I15	0,06	2,15	0,12	J15	0,05	2,15	0,10
I16	1,44	2,15	3,10	J16	1,22	2,15	2,61
I17	0,59	2,15	1,27	J17	0,50	2,15	1,07
I18	0,65	2,15	1,39	J18	0,54	2,15	1,17
I19	0,46	2,15	0,98	J19	0,38	2,15	0,83
I20	0,06	2,15	0,12	J20	0,05	2,15	0,10
I21	1,15	2,15	2,48	J21	0,97	2,15	2,09
I22	0,30	2,15	0,65	J22	0,26	2,15	0,55
I23	0,91	2,15	1,96	J23	0,77	2,15	1,65
I24	0,19	2,15	0,41	J24	0,16	2,15	0,34
I25	0,10	2,15	0,20	J25	0,08	2,15	0,17
I26	0,59	2,15	1,27	J26	0,50	2,15	1,07
I27	0,15	2,15	0,33	J27	0,13	2,15	0,28
I28	0,80	2,15	1,72	J28	0,67	2,15	1,44
I29	0,51	2,15	1,10	J29	0,43	2,15	0,93
I30	0,21	2,15	0,45	J30	0,18	2,15	0,38
I31	0,27	2,15	0,57	J31	0,22	2,15	0,48
I32	1,20	2,15	2,57	J32	1,01	2,15	2,17
I33	0,70	2,15	1,51	J33	0,59	2,15	1,27
I34	0,29	2,15	0,61	J34	0,24	2,15	0,52
I35	0,36	2,15	0,78	J35	0,30	2,15	0,65
I36	0,40	2,15	0,86	J36	0,34	2,15	0,72
I37	0,23	2,15	0,49	J37	0,19	2,15	0,41
I38	0,76	2,15	1,63	J38	0,64	2,15	1,38
I39	0,61	2,15	1,31	J39	0,51	2,15	1,10
I40	0,51	2,15	1,10	J40	0,43	2,15	0,93

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
K1	1,53	2,15	3,29	L1	2,04	2,15	4,39
K2	0,27	2,15	0,58	L2	0,36	2,15	0,77
K3	0,50	2,15	1,06	L3	0,66	2,15	1,42
K4	0,95	2,15	2,03	L4	1,26	2,15	2,71
K5	0,88	2,15	1,89	L5	1,17	2,15	2,52
K6	1,94	2,15	4,16	L6	2,58	2,15	5,55
K7	0,70	2,15	1,50	L7	0,93	2,15	2,00
K8	0,77	2,15	1,64	L8	1,02	2,15	2,19
K9	0,99	2,15	2,13	L9	1,32	2,15	2,84
K10	1,58	2,15	3,39	L10	2,10	2,15	4,52
K11	0,16	2,15	0,34	L11	0,21	2,15	0,45
K12	1,72	2,15	3,70	L12	2,30	2,15	4,93
K13	1,72	2,15	3,70	L13	2,30	2,15	4,93
K14	1,24	2,15	2,66	L14	1,65	2,15	3,55
K15	0,07	2,15	0,15	L15	0,09	2,15	0,19
K16	1,71	2,15	3,68	L16	2,28	2,15	4,90
K17	0,70	2,15	1,50	L17	0,93	2,15	2,00
K18	0,77	2,15	1,64	L18	1,02	2,15	2,19
K19	0,54	2,15	1,16	L19	0,72	2,15	1,55
K20	0,07	2,15	0,15	L20	0,09	2,15	0,19
K21	1,37	2,15	2,94	L21	1,82	2,15	3,91
K22	0,36	2,15	0,77	L22	0,48	2,15	1,03
K23	1,08	2,15	2,32	L23	1,44	2,15	3,10
K24	0,23	2,15	0,48	L24	0,30	2,15	0,65
K25	0,11	2,15	0,24	L25	0,15	2,15	0,32
K26	0,70	2,15	1,50	L26	0,93	2,15	2,00
K27	0,18	2,15	0,39	L27	0,24	2,15	0,52
K28	0,95	2,15	2,03	L28	1,26	2,15	2,71
K29	0,61	2,15	1,31	L29	0,81	2,15	1,74
K30	0,25	2,15	0,53	L30	0,33	2,15	0,71
K31	0,32	2,15	0,68	L31	0,42	2,15	0,90
K32	1,42	2,15	3,05	L32	1,89	2,15	4,06
K33	0,83	2,15	1,79	L33	1,11	2,15	2,39
K34	0,34	2,15	0,73	L34	0,45	2,15	0,97
K35	0,43	2,15	0,92	L35	0,57	2,15	1,23
K36	0,47	2,15	1,02	L36	0,63	2,15	1,35
K37	0,27	2,15	0,58	L37	0,36	2,15	0,77
K38	0,90	2,15	1,94	L38	1,20	2,15	2,58
K39	0,72	2,15	1,55	L39	0,96	2,15	2,06
K40	0,61	2,15	1,31	L40	0,81	2,15	1,74

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
M1	1,87	2,15	4,02	N1	3,06	2,15	6,58
M2	0,33	2,15	0,71	N2	0,54	2,15	1,16
M3	0,61	2,15	1,30	N3	0,99	2,15	2,13
M4	1,16	2,15	2,48	N4	1,89	2,15	4,06
M5	1,07	2,15	2,31	N5	1,76	2,15	3,77
M6	2,37	2,15	5,08	N6	3,87	2,15	8,32
M7	0,85	2,15	1,83	N7	1,40	2,15	3,00
M8	0,94	2,15	2,01	N8	1,53	2,15	3,29
M9	1,21	2,15	2,60	N9	1,98	2,15	4,26
M10	1,93	2,15	4,14	N10	3,15	2,15	6,77
M11	0,19	2,15	0,41	N11	0,32	2,15	0,68
M12	2,10	2,15	4,52	N12	3,44	2,15	7,40
M13	2,10	2,15	4,52	N13	3,44	2,15	7,40
M14	1,51	2,15	3,25	N14	2,48	2,15	5,32
M15	0,08	2,15	0,18	N15	0,14	2,15	0,29
M16	2,09	2,15	4,49	N16	3,42	2,15	7,35
M17	0,85	2,15	1,83	N17	1,40	2,15	3,00
M18	0,94	2,15	2,01	N18	1,53	2,15	3,29
M19	0,66	2,15	1,42	N19	1,08	2,15	2,32
M20	0,08	2,15	0,18	N20	0,14	2,15	0,29
M21	1,67	2,15	3,59	N21	2,73	2,15	5,87
M22	0,44	2,15	0,95	N22	0,72	2,15	1,55
M23	1,32	2,15	2,84	N23	2,16	2,15	4,64
M24	0,28	2,15	0,59	N24	0,45	2,15	0,97
M25	0,14	2,15	0,30	N25	0,23	2,15	0,48
M26	0,85	2,15	1,83	N26	1,40	2,15	3,00
M27	0,22	2,15	0,47	N27	0,36	2,15	0,77
M28	1,16	2,15	2,48	N28	1,89	2,15	4,06
M29	0,74	2,15	1,60	N29	1,22	2,15	2,61
M30	0,30	2,15	0,65	N30	0,50	2,15	1,06
M31	0,39	2,15	0,83	N31	0,63	2,15	1,35
M32	1,73	2,15	3,72	N32	2,84	2,15	6,10
M33	1,02	2,15	2,19	N33	1,67	2,15	3,58
M34	0,41	2,15	0,89	N34	0,68	2,15	1,45
M35	0,52	2,15	1,12	N35	0,86	2,15	1,84
M36	0,58	2,15	1,24	N36	0,95	2,15	2,03
M37	0,33	2,15	0,71	N37	0,54	2,15	1,16
M38	1,10	2,15	2,37	N38	1,80	2,15	3,87
M39	0,88	2,15	1,89	N39	1,44	2,15	3,10
M40	0,74	2,15	1,60	N40	1,22	2,15	2,61

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
O1	1,26	2,15	2,70	P1	1,53	2,15	3,29
O2	0,22	2,15	0,48	P2	0,27	2,15	0,58
O3	0,41	2,15	0,88	P3	0,50	2,15	1,06
O4	0,78	2,15	1,67	P4	0,95	2,15	2,03
O5	0,72	2,15	1,55	P5	0,88	2,15	1,89
O6	1,59	2,15	3,42	P6	1,94	2,15	4,16
O7	0,57	2,15	1,23	P7	0,70	2,15	1,50
O8	0,63	2,15	1,35	P8	0,77	2,15	1,64
O9	0,81	2,15	1,75	P9	0,99	2,15	2,13
O10	1,30	2,15	2,78	P10	1,58	2,15	3,39
O11	0,13	2,15	0,28	P11	0,16	2,15	0,34
O12	1,42	2,15	3,04	P12	1,72	2,15	3,70
O13	1,42	2,15	3,04	P13	1,72	2,15	3,70
O14	1,02	2,15	2,19	P14	1,24	2,15	2,66
O15	0,06	2,15	0,12	P15	0,07	2,15	0,15
O16	1,41	2,15	3,02	P16	1,71	2,15	3,68
O17	0,57	2,15	1,23	P17	0,70	2,15	1,50
O18	0,63	2,15	1,35	P18	0,77	2,15	1,64
O19	0,44	2,15	0,95	P19	0,54	2,15	1,16
O20	0,06	2,15	0,12	P20	0,07	2,15	0,15
O21	1,12	2,15	2,41	P21	1,37	2,15	2,94
O22	0,30	2,15	0,64	P22	0,36	2,15	0,77
O23	0,89	2,15	1,91	P23	1,08	2,15	2,32
O24	0,19	2,15	0,40	P24	0,23	2,15	0,48
O25	0,09	2,15	0,20	P25	0,11	2,15	0,24
O26	0,57	2,15	1,23	P26	0,70	2,15	1,50
O27	0,15	2,15	0,32	P27	0,18	2,15	0,39
O28	0,78	2,15	1,67	P28	0,95	2,15	2,03
O29	0,50	2,15	1,07	P29	0,60	2,15	1,30
O30	0,20	2,15	0,44	P30	0,25	2,15	0,53
O31	0,26	2,15	0,56	P31	0,32	2,15	0,68
O32	1,17	2,15	2,51	P32	1,42	2,15	3,05
O33	0,68	2,15	1,47	P33	0,83	2,15	1,79
O34	0,28	2,15	0,60	P34	0,34	2,15	0,73
O35	0,35	2,15	0,76	P35	0,43	2,15	0,92
O36	0,39	2,15	0,84	P36	0,47	2,15	1,02
O37	0,22	2,15	0,48	P37	0,27	2,15	0,58
O38	0,74	2,15	1,59	P38	0,90	2,15	1,94
O39	0,59	2,15	1,27	P39	0,72	2,15	1,55
O40	0,50	2,15	1,07	P40	0,61	2,15	1,31

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
Q1	2,38	2,15	5,12	R1	1,16	2,15	2,49
Q2	0,42	2,15	0,90	R2	0,20	2,15	0,44
Q3	0,77	2,15	1,66	R3	0,37	2,15	0,80
Q4	1,47	2,15	3,16	R4	0,71	2,15	1,54
Q5	1,37	2,15	2,93	R5	0,66	2,15	1,43
Q6	3,01	2,15	6,47	R6	1,46	2,15	3,14
Q7	1,09	2,15	2,33	R7	0,53	2,15	1,13
Q8	1,19	2,15	2,56	R8	0,58	2,15	1,24
Q9	1,54	2,15	3,31	R9	0,75	2,15	1,61
Q10	2,45	2,15	5,27	R10	1,12	2,15	2,41
Q11	0,25	2,15	0,53	R11	0,12	2,15	0,26
Q12	2,68	2,15	5,76	R12	1,30	2,15	2,80
Q13	2,68	2,15	5,76	R13	1,30	2,15	2,80
Q14	1,93	2,15	4,14	R14	0,94	2,15	2,01
Q15	0,11	2,15	0,23	R15	0,05	2,15	0,11
Q16	2,66	2,15	5,72	R16	1,29	2,15	2,78
Q17	1,09	2,15	2,33	R17	0,53	2,15	1,13
Q18	1,19	2,15	2,56	R18	0,58	2,15	1,24
Q19	0,84	2,15	1,81	R19	0,41	2,15	0,88
Q20	0,11	2,15	0,23	R20	0,05	2,15	0,11
Q21	2,12	2,15	4,57	R21	1,03	2,15	2,22
Q22	0,56	2,15	1,20	R22	0,27	2,15	0,58
Q23	1,68	2,15	3,61	R23	0,82	2,15	1,75
Q24	0,35	2,15	0,75	R24	0,17	2,15	0,37
Q25	0,18	2,15	0,38	R25	0,09	2,15	0,18
Q26	1,09	2,15	2,33	R26	0,53	2,15	1,13
Q27	0,28	2,15	0,60	R27	0,14	2,15	0,29
Q28	1,47	2,15	3,16	R28	0,71	2,15	1,54
Q29	0,95	2,15	2,03	R29	0,46	2,15	0,99
Q30	0,39	2,15	0,83	R30	0,19	2,15	0,40
Q31	0,49	2,15	1,05	R31	0,24	2,15	0,51
Q32	2,21	2,15	4,74	R32	1,07	2,15	2,30
Q33	1,30	2,15	2,78	R33	0,63	2,15	1,35
Q34	0,53	2,15	1,13	R34	0,26	2,15	0,55
Q35	0,67	2,15	1,43	R35	0,32	2,15	0,69
Q36	0,74	2,15	1,58	R36	0,36	2,15	0,77
Q37	0,42	2,15	0,90	R37	0,20	2,15	0,44
Q38	1,40	2,15	3,01	R38	0,68	2,15	1,46
Q39	1,12	2,15	2,41	R39	0,54	2,15	1,17
Q40	0,95	2,15	2,03	R40	0,46	2,15	0,99

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
S1	3,33	2,15	7,16	T1	2,11	2,15	4,53
S2	0,59	2,15	1,26	T2	0,37	2,15	0,80
S3	1,08	2,15	2,32	T3	0,68	2,15	1,47
S4	2,06	2,15	4,42	T4	1,30	2,15	2,80
S5	1,91	2,15	4,11	T5	1,21	2,15	2,60
S6	4,21	2,15	9,06	T6	2,67	2,15	5,73
S7	1,52	2,15	3,27	T7	0,96	2,15	2,07
S8	1,67	2,15	3,58	T8	1,05	2,15	2,27
S9	2,16	2,15	4,64	T9	1,36	2,15	2,93
S10	3,43	2,15	7,37	T10	2,17	2,15	4,67
S11	0,34	2,15	0,74	T11	0,22	2,15	0,47
S12	3,75	2,15	8,06	T12	2,37	2,15	5,10
S13	3,75	2,15	8,06	T13	2,37	2,15	5,10
S14	2,70	2,15	5,79	T14	1,71	2,15	3,67
S15	0,15	2,15	0,32	T15	0,09	2,15	0,20
S16	3,72	2,15	8,01	T16	2,36	2,15	5,07
S17	1,52	2,15	3,27	T17	0,96	2,15	2,07
S18	1,67	2,15	3,58	T18	1,05	2,15	2,27
S19	1,18	2,15	2,53	T19	0,74	2,15	1,60
S20	0,15	2,15	0,32	T20	0,09	2,15	0,20
S21	2,97	2,15	6,39	T21	1,88	2,15	4,04
S22	0,78	2,15	1,69	T22	0,50	2,15	1,07
S23	2,35	2,15	5,06	T23	1,49	2,15	3,20
S24	0,49	2,15	1,05	T24	0,31	2,15	0,67
S25	0,25	2,15	0,53	T25	0,16	2,15	0,33
S26	1,52	2,15	3,27	T26	0,96	2,15	2,07
S27	0,39	2,15	0,84	T27	0,25	2,15	0,53
S28	2,06	2,15	4,42	T28	1,30	2,15	2,80
S29	1,32	2,15	2,84	T29	0,84	2,15	1,80
S30	0,54	2,15	1,16	T30	0,34	2,15	0,73
S31	0,69	2,15	1,47	T31	0,43	2,15	0,93
S32	3,09	2,15	6,64	T32	1,95	2,15	4,20
S33	1,81	2,15	3,90	T33	1,15	2,15	2,47
S34	0,74	2,15	1,58	T34	0,47	2,15	1,00
S35	0,93	2,15	2,00	T35	0,59	2,15	1,27
S36	1,03	2,15	2,21	T36	0,65	2,15	1,40
S37	0,59	2,15	1,26	T37	0,37	2,15	0,80
S38	1,96	2,15	4,21	T38	1,24	2,15	2,67
S39	1,57	2,15	3,37	T39	0,99	2,15	2,13
S40	1,32	2,15	2,84	T40	0,84	2,15	1,80

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
U1	1,43	2,15	3,07	V1	1,70	2,15	3,66
U2	0,25	2,15	0,54	V2	0,30	2,15	0,65
U3	0,46	2,15	0,99	V3	0,55	2,15	1,18
U4	0,88	2,15	1,90	V4	1,05	2,15	2,26
U5	0,82	2,15	1,76	V5	0,98	2,15	2,10
U6	1,81	2,15	3,88	V6	2,15	2,15	4,62
U7	0,65	2,15	1,40	V7	0,78	2,15	1,67
U8	0,71	2,15	1,54	V8	0,85	2,15	1,83
U9	0,92	2,15	1,99	V9	1,10	2,15	2,37
U10	1,47	2,15	3,16	V10	1,75	2,15	3,76
U11	0,15	2,15	0,32	V11	0,18	2,15	0,38
U12	1,61	2,15	3,45	V12	1,91	2,15	4,11
U13	1,61	2,15	3,45	V13	1,91	2,15	4,11
U14	1,16	2,15	2,48	V14	1,38	2,15	2,96
U15	0,06	2,15	0,14	V15	0,08	2,15	0,16
U16	1,60	2,15	3,43	V16	1,90	2,15	4,09
U17	0,65	2,15	1,40	V17	0,78	2,15	1,67
U18	0,71	2,15	1,54	V18	0,85	2,15	1,83
U19	0,50	2,15	1,08	V19	0,60	2,15	1,29
U20	0,06	2,15	0,14	V20	0,08	2,15	0,16
U21	1,27	2,15	2,74	V21	1,52	2,15	3,26
U22	0,34	2,15	0,72	V22	0,40	2,15	0,86
U23	1,01	2,15	2,17	V23	1,20	2,15	2,58
U24	0,21	2,15	0,45	V24	0,25	2,15	0,54
U25	0,11	2,15	0,23	V25	0,13	2,15	0,27
U26	0,65	2,15	1,40	V26	0,78	2,15	1,67
U27	0,17	2,15	0,36	V27	0,20	2,15	0,43
U28	0,88	2,15	1,90	V28	1,05	2,15	2,26
U29	0,57	2,15	1,22	V29	0,68	2,15	1,45
U30	0,23	2,15	0,50	V30	0,28	2,15	0,59
U31	0,29	2,15	0,63	V31	0,35	2,15	0,75
U32	1,32	2,15	2,84	V32	1,58	2,15	3,39
U33	0,78	2,15	1,67	V33	0,93	2,15	1,99
U34	0,32	2,15	0,68	V34	0,38	2,15	0,81
U35	0,40	2,15	0,86	V35	0,48	2,15	1,02
U36	0,44	2,15	0,95	V36	0,53	2,15	1,13
U37	0,25	2,15	0,54	V37	0,30	2,15	0,65
U38	0,84	2,15	1,81	V38	1,00	2,15	2,15
U39	0,67	2,15	1,44	V39	0,80	2,15	1,72
U40	0,57	2,15	1,22	V40	0,68	2,15	1,45

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
W1	3,74	2,15	8,04	X1	2,55	2,15	5,48
W2	0,66	2,15	1,42	X2	0,45	2,15	0,97
W3	1,21	2,15	2,60	X3	0,83	2,15	1,77
W4	2,31	2,15	4,97	X4	1,58	2,15	3,39
W5	2,15	2,15	4,61	X5	1,46	2,15	3,14
W6	4,73	2,15	10,17	X6	3,23	2,15	6,93
W7	1,71	2,15	3,67	X7	1,16	2,15	2,50
W8	1,87	2,15	4,02	X8	1,28	2,15	2,74
W9	2,42	2,15	5,20	X9	1,65	2,15	3,55
W10	3,85	2,15	8,28	X10	2,63	2,15	5,64
W11	0,39	2,15	0,83	X11	0,26	2,15	0,56
W12	4,21	2,15	9,05	X12	2,87	2,15	6,17
W13	4,21	2,15	9,05	X13	2,87	2,15	6,17
W14	3,03	2,15	6,50	X14	2,06	2,15	4,43
W15	0,17	2,15	0,35	X15	0,11	2,15	0,24
W16	4,18	2,15	8,99	X16	2,85	2,15	6,13
W17	1,71	2,15	3,67	X17	1,16	2,15	2,50
W18	1,87	2,15	4,02	X18	1,28	2,15	2,74
W19	1,32	2,15	2,84	X19	0,90	2,15	1,94
W20	0,17	2,15	0,35	X20	0,11	2,15	0,24
W21	3,34	2,15	7,17	X21	2,28	2,15	4,89
W22	0,88	2,15	1,89	X22	0,60	2,15	1,29
W23	2,64	2,15	5,68	X23	1,80	2,15	3,87
W24	0,55	2,15	1,18	X24	0,38	2,15	0,81
W25	0,28	2,15	0,59	X25	0,19	2,15	0,40
W26	1,71	2,15	3,67	X26	1,16	2,15	2,50
W27	0,44	2,15	0,95	X27	0,30	2,15	0,65
W28	2,31	2,15	4,97	X28	1,76	2,15	3,78
W29	1,49	2,15	3,19	X29	1,01	2,15	2,18
W30	0,61	2,15	1,30	X30	0,41	2,15	0,89
W31	0,77	2,15	1,66	X31	0,53	2,15	1,13
W32	3,47	2,15	7,45	X32	2,36	2,15	5,08
W33	2,04	2,15	4,38	X33	1,39	2,15	2,98
W34	0,83	2,15	1,77	X34	0,56	2,15	1,21
W35	1,05	2,15	2,25	X35	0,71	2,15	1,53
W36	1,16	2,15	2,48	X36	0,79	2,15	1,69
W37	0,66	2,15	1,42	X37	0,45	2,15	0,97
W38	2,20	2,15	4,73	X38	1,50	2,15	3,23
W39	1,76	2,15	3,78	X39	1,20	2,15	2,58
W40	4,90	2,15	10,54	X40	1,01	2,15	2,18

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
Y1	2,79	2,15	5,99	Z1	3,74	2,15	8,04
Y2	0,49	2,15	1,06	Z2	0,66	2,15	1,42
Y3	0,90	2,15	1,94	Z3	1,21	2,15	2,60
Y4	1,72	2,15	3,70	Z4	2,31	2,15	4,97
Y5	1,60	2,15	3,44	Z5	2,15	2,15	4,61
Y6	3,53	2,15	7,58	Z6	4,73	2,15	10,17
Y7	1,27	2,15	2,73	Z7	1,71	2,15	3,67
Y8	1,39	2,15	3,00	Z8	1,87	2,15	4,02
Y9	1,80	2,15	3,88	Z9	2,42	2,15	5,20
Y10	2,87	2,15	6,17	Z10	3,85	2,15	8,28
Y11	0,29	2,15	0,62	Z11	0,39	2,15	0,83
Y12	3,14	2,15	6,74	Z12	4,21	2,15	9,05
Y13	3,14	2,15	6,74	Z13	4,21	2,15	9,05
Y14	2,26	2,15	4,85	Z14	3,03	2,15	6,50
Y15	0,12	2,15	0,26	Z15	0,17	2,15	0,35
Y16	3,12	2,15	6,70	Z16	4,18	2,15	8,99
Y17	1,27	2,15	2,73	Z17	1,71	2,15	3,67
Y18	1,39	2,15	3,00	Z18	1,87	2,15	4,02
Y19	0,98	2,15	2,12	Z19	1,32	2,15	2,84
Y20	0,12	2,15	0,26	Z20	0,17	2,15	0,35
Y21	2,49	2,15	5,35	Z21	3,34	2,15	7,17
Y22	0,66	2,15	1,41	Z22	0,88	2,15	1,89
Y23	1,97	2,15	4,23	Z23	2,64	2,15	5,68
Y24	0,41	2,15	0,88	Z24	0,55	2,15	1,18
Y25	0,21	2,15	0,44	Z25	0,28	2,15	0,59
Y26	1,27	2,15	2,73	Z26	1,71	2,15	3,67
Y27	0,33	2,15	0,71	Z27	0,44	2,15	0,95
Y28	1,72	2,15	3,70	Z28	2,31	2,15	4,97
Y29	1,11	2,15	2,38	Z29	1,49	2,15	3,19
Y30	0,45	2,15	0,97	Z30	0,61	2,15	1,30
Y31	0,57	2,15	1,23	Z31	0,77	2,15	1,66
Y32	2,58	2,15	5,55	Z32	3,47	2,15	7,45
Y33	1,52	2,15	3,26	Z33	2,04	2,15	4,38
Y34	0,62	2,15	1,32	Z34	0,83	2,15	1,77
Y35	0,78	2,15	1,67	Z35	1,05	2,15	2,25
Y36	0,86	2,15	1,85	Z36	1,16	2,15	2,48
Y37	0,49	2,15	1,06	Z37	0,66	2,15	1,42
Y38	1,64	2,15	3,53	Z38	2,20	2,15	4,73
Y39	1,31	2,15	2,82	Z39	1,76	2,15	3,78
Y40	1,11	2,15	2,38	Z40	1,49	2,15	3,19

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
A1	1,70	2,85	4,85	B1	0,68	2,85	1,94
A2	0,30	2,85	0,86	B2	0,12	2,85	0,34
A3	0,55	2,85	1,57	B3	0,22	2,85	0,63
A4	1,05	2,85	2,99	B4	0,42	2,85	1,20
A5	0,98	2,85	2,78	B5	0,39	2,85	1,11
A6	2,15	2,85	6,13	B6	0,86	2,85	2,45
A7	0,78	2,85	2,21	B7	0,31	2,85	0,88
A8	0,85	2,85	2,42	B8	0,34	2,85	0,97
A9	1,10	2,85	3,14	B9	0,44	2,85	1,25
A10	1,75	2,85	4,99	B10	0,70	2,85	2,00
A11	0,18	2,85	0,50	B11	0,07	2,85	0,20
A12	1,91	2,85	5,45	B12	0,77	2,85	2,18
A13	1,91	2,85	5,45	B13	0,77	2,85	2,18
A14	1,38	2,85	3,92	B14	0,55	2,85	1,57
A15	0,08	2,85	0,21	B15	0,03	2,85	0,09
A16	1,90	2,85	5,42	B16	0,76	2,85	2,17
A17	0,78	2,85	2,21	B17	0,31	2,85	0,88
A18	0,85	2,85	2,42	B18	0,34	2,85	0,97
A19	0,60	2,85	1,71	B19	0,24	2,85	0,68
A20	0,08	2,85	0,21	B20	0,03	2,85	0,09
A21	1,52	2,85	4,32	B21	0,61	2,85	1,73
A22	0,40	2,85	1,14	B22	0,16	2,85	0,46
A23	1,20	2,85	3,42	B23	0,48	2,85	1,37
A24	0,25	2,85	0,71	B24	0,10	2,85	0,29
A25	0,13	2,85	0,36	B25	0,05	2,85	0,14
A26	0,78	2,85	2,21	B26	0,31	2,85	0,88
A27	0,20	2,85	0,57	B27	0,08	2,85	0,23
A28	1,05	2,85	2,99	B28	0,42	2,85	1,20
A29	0,68	2,85	1,92	B29	0,27	2,85	0,77
A30	0,28	2,85	0,78	B30	0,11	2,85	0,31
A31	0,35	2,85	1,00	B31	0,14	2,85	0,40
A32	1,58	2,85	4,49	B32	0,63	2,85	1,80
A33	0,93	2,85	2,64	B33	0,37	2,85	1,05
A34	3,75	2,85	10,69	B34	0,15	2,85	0,43
A35	0,48	2,85	1,35	B35	0,19	2,85	0,54
A36	0,53	2,85	1,50	B36	0,21	2,85	0,60
A37	0,30	2,85	0,86	B37	0,12	2,85	0,34
A38	1,00	2,85	2,85	B38	0,40	2,85	1,14
A39	0,80	2,85	2,28	B39	0,32	2,85	0,91
A40	0,68	2,85	1,92	B40	0,27	2,85	0,77

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
C1	1,02	2,85	2,91	D1	2,21	2,85	6,30
C2	0,18	2,85	0,51	D2	0,39	2,85	1,11
C3	0,33	2,85	0,94	D3	0,72	2,85	2,04
C4	0,63	2,85	1,80	D4	1,37	2,85	3,89
C5	0,59	2,85	1,67	D5	1,27	2,85	3,61
C6	1,29	2,85	3,68	D6	2,80	2,85	7,97
C7	0,47	2,85	1,33	D7	1,01	2,85	2,87
C8	0,51	2,85	1,45	D8	1,11	2,85	3,15
C9	0,66	2,85	1,88	D9	1,43	2,85	4,08
C10	1,05	2,85	2,99	D10	2,28	2,85	6,48
C11	0,11	2,85	0,30	D11	0,23	2,85	0,65
C12	1,15	2,85	3,27	D12	2,49	2,85	7,09
C13	1,15	2,85	3,27	D13	2,49	2,85	7,09
C14	0,83	2,85	2,35	D14	1,79	2,85	5,09
C15	0,05	2,85	0,13	D15	0,10	2,85	0,28
C16	1,14	2,85	3,25	D16	2,47	2,85	7,04
C17	0,47	2,85	1,33	D17	1,01	2,85	2,87
C18	0,51	2,85	1,45	D18	1,11	2,85	3,15
C19	0,36	2,85	1,03	D19	0,78	2,85	2,22
C20	0,05	2,85	0,13	D20	0,10	2,85	0,28
C21	0,91	2,85	2,60	D21	1,97	2,85	5,62
C22	0,24	2,85	0,68	D22	0,52	2,85	1,48
C23	0,72	2,85	2,05	D23	1,56	2,85	4,45
C24	0,15	2,85	0,43	D24	0,33	2,85	0,93
C25	0,08	2,85	0,21	D25	0,16	2,85	0,46
C26	0,47	2,85	1,33	D26	1,01	2,85	2,87
C27	0,12	2,85	0,34	D27	0,26	2,85	0,74
C28	0,63	2,85	1,80	D28	1,37	2,85	3,89
C29	0,41	2,85	1,15	D29	0,88	2,85	2,50
C30	0,17	2,85	0,47	D30	0,36	2,85	1,02
C31	0,21	2,85	0,60	D31	0,46	2,85	1,30
C32	0,95	2,85	2,69	D32	2,05	2,85	5,84
C33	0,56	2,85	1,58	D33	1,20	2,85	3,43
C34	0,23	2,85	0,64	D34	0,49	2,85	1,39
C35	0,29	2,85	0,81	D35	0,62	2,85	1,76
C36	0,32	2,85	0,90	D36	0,68	2,85	1,95
C37	0,18	2,85	0,51	D37	0,39	2,85	1,11
C38	0,60	2,85	1,71	D38	1,30	2,85	3,71
C39	0,48	2,85	1,37	D39	1,04	2,85	2,96
C40	0,41	2,85	1,15	D40	0,88	2,85	2,50

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
E1	3,74	2,85	10,66	F1	1,36	2,85	3,88
E2	0,66	2,85	1,88	F2	0,24	2,85	0,68
E3	1,21	2,85	3,45	F3	0,44	2,85	1,25
E4	2,31	2,85	6,58	F4	0,84	2,85	2,39
E5	2,15	2,85	6,11	F5	0,78	2,85	2,22
E6	4,73	2,85	13,48	F6	1,72	2,85	4,90
E7	1,71	2,85	4,86	F7	0,62	2,85	1,77
E8	1,87	2,85	5,33	F8	0,68	2,85	1,94
E9	2,42	2,85	6,90	F9	0,88	2,85	2,51
E10	3,85	2,85	10,97	F10	1,40	2,85	3,99
E11	0,39	2,85	1,10	F11	0,14	2,85	0,40
E12	4,21	2,85	11,99	F12	1,53	2,85	4,36
E13	4,21	2,85	11,99	F13	1,53	2,85	4,36
E14	3,03	2,85	8,62	F14	1,10	2,85	3,14
E15	0,17	2,85	0,47	F15	0,06	2,85	0,17
E16	4,18	2,85	11,91	F16	1,52	2,85	4,33
E17	1,71	2,85	4,86	F17	0,62	2,85	1,77
E18	1,87	2,85	5,33	F18	0,68	2,85	1,94
E19	1,32	2,85	3,76	F19	0,48	2,85	1,37
E20	0,17	2,85	0,47	F20	0,06	2,85	0,17
E21	3,34	2,85	9,51	F21	1,21	2,85	3,46
E22	0,88	2,85	2,51	F22	0,32	2,85	0,91
E23	2,64	2,85	7,52	F23	0,96	2,85	2,74
E24	0,55	2,85	1,57	F24	0,20	2,85	0,57
E25	0,28	2,85	0,78	F25	0,10	2,85	0,29
E26	1,71	2,85	4,86	F26	0,62	2,85	1,77
E27	0,44	2,85	1,25	F27	0,16	2,85	0,46
E28	2,31	2,85	6,58	F28	0,84	2,85	2,39
E29	1,49	2,85	4,23	F29	0,54	2,85	1,54
E30	0,61	2,85	1,72	F30	0,22	2,85	0,63
E31	0,77	2,85	2,19	F31	0,28	2,85	0,80
E32	3,47	2,85	9,88	F32	1,26	2,85	3,59
E33	2,04	2,85	5,80	F33	0,74	2,85	2,11
E34	0,83	2,85	2,35	F34	0,30	2,85	0,86
E35	1,05	2,85	2,98	F35	0,38	2,85	1,08
E36	1,16	2,85	3,29	F36	0,42	2,85	1,20
E37	0,66	2,85	1,88	F37	0,24	2,85	0,68
E38	2,20	2,85	6,27	F38	0,80	2,85	2,28
E39	1,76	2,85	5,02	F39	0,64	2,85	1,82
E40	1,49	2,85	4,23	F40	0,54	2,85	1,54

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
G1	0,85	2,85	2,42	H1	0,75	2,85	2,13
G2	0,15	2,85	0,43	H2	0,13	2,85	0,38
G3	0,28	2,85	0,78	H3	0,24	2,85	0,69
G4	0,53	2,85	1,50	H4	0,46	2,85	1,32
G5	0,49	2,85	1,39	H5	0,43	2,85	1,22
G6	1,08	2,85	3,06	H6	0,95	2,85	2,70
G7	0,39	2,85	1,10	H7	0,34	2,85	0,97
G8	0,43	2,85	1,21	H8	0,37	2,85	1,07
G9	0,55	2,85	1,57	H9	0,48	2,85	1,38
G10	0,88	2,85	2,49	H10	0,77	2,85	2,19
G11	0,09	2,85	0,25	H11	0,08	2,85	0,22
G12	0,96	2,85	2,73	H12	0,84	2,85	2,40
G13	0,96	2,85	2,73	H13	0,84	2,85	2,40
G14	0,69	2,85	1,96	H14	0,61	2,85	1,72
G15	0,04	2,85	0,11	H15	0,03	2,85	0,09
G16	0,95	2,85	2,71	H16	0,84	2,85	2,38
G17	0,39	2,85	1,10	H17	0,34	2,85	0,97
G18	0,43	2,85	1,21	H18	0,37	2,85	1,07
G19	0,30	2,85	0,86	H19	0,26	2,85	0,75
G20	0,04	2,85	0,11	H20	0,03	2,85	0,09
G21	0,76	2,85	2,16	H21	0,67	2,85	1,90
G22	0,20	2,85	0,57	H22	0,18	2,85	0,50
G23	0,60	2,85	1,71	H23	0,53	2,85	1,50
G24	0,13	2,85	0,36	H24	0,11	2,85	0,31
G25	0,06	2,85	0,18	H25	0,06	2,85	0,16
G26	0,39	2,85	1,10	H26	0,34	2,85	0,97
G27	0,10	2,85	0,29	H27	0,09	2,85	0,25
G28	0,53	2,85	1,50	H28	0,46	2,85	1,32
G29	0,34	2,85	0,96	H29	0,30	2,85	0,85
G30	0,14	2,85	0,39	H30	0,12	2,85	0,34
G31	0,18	2,85	0,50	H31	0,15	2,85	0,44
G32	0,79	2,85	2,24	H32	0,69	2,85	1,98
G33	0,46	2,85	1,32	H33	0,41	2,85	1,16
G34	0,19	2,85	0,53	H34	0,17	2,85	0,47
G35	0,24	2,85	0,68	H35	0,21	2,85	0,60
G36	0,26	2,85	0,75	H36	0,23	2,85	0,66
G37	0,15	2,85	0,43	H37	0,13	2,85	0,38
G38	0,50	2,85	1,43	H38	0,44	2,85	1,25
G39	0,40	2,85	1,14	H39	0,35	2,85	1,00
G40	0,34	2,85	0,96	H40	0,30	2,85	0,85

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
I1	1,29	2,85	3,68	J1	1,09	2,85	3,10
I2	0,23	2,85	0,65	J2	0,19	2,85	0,55
I3	0,42	2,85	1,19	J3	0,35	2,85	1,00
I4	0,80	2,85	2,27	J4	0,67	2,85	1,92
I5	0,74	2,85	2,11	J5	0,62	2,85	1,78
I6	1,63	2,85	4,66	J6	1,38	2,85	3,92
I7	0,59	2,85	1,68	J7	0,50	2,85	1,41
I8	0,65	2,85	1,84	J8	0,54	2,85	1,55
I9	0,84	2,85	2,38	J9	0,70	2,85	2,01
I10	1,33	2,85	3,79	J10	1,12	2,85	3,19
I11	0,13	2,85	0,38	J11	0,11	2,85	0,32
I12	1,45	2,85	4,14	J12	1,22	2,85	3,49
I13	1,45	2,85	4,14	J13	1,22	2,85	3,49
I14	1,05	2,85	2,98	J14	0,88	2,85	2,51
I15	0,06	2,85	0,16	J15	0,05	2,85	0,14
I16	1,44	2,85	4,12	J16	1,22	2,85	3,47
I17	0,59	2,85	1,68	J17	0,50	2,85	1,41
I18	0,65	2,85	1,84	J18	0,54	2,85	1,55
I19	0,46	2,85	1,30	J19	0,38	2,85	1,09
I20	0,06	2,85	0,16	J20	0,05	2,85	0,14
I21	1,15	2,85	3,29	J21	0,97	2,85	2,77
I22	0,30	2,85	0,87	J22	0,26	2,85	0,73
I23	0,91	2,85	2,60	J23	0,77	2,85	2,19
I24	0,19	2,85	0,54	J24	0,16	2,85	0,46
I25	0,10	2,85	0,27	J25	0,08	2,85	0,23
I26	0,59	2,85	1,68	J26	0,50	2,85	1,41
I27	0,15	2,85	0,43	J27	0,13	2,85	0,36
I28	0,80	2,85	2,27	J28	0,67	2,85	1,92
I29	0,51	2,85	1,46	J29	0,43	2,85	1,23
I30	0,21	2,85	0,60	J30	0,18	2,85	0,50
I31	0,27	2,85	0,76	J31	0,22	2,85	0,64
I32	1,20	2,85	3,41	J32	1,01	2,85	2,87
I33	0,70	2,85	2,00	J33	0,59	2,85	1,69
I34	0,29	2,85	0,81	J34	0,24	2,85	0,68
I35	0,36	2,85	1,03	J35	0,30	2,85	0,87
I36	0,40	2,85	1,14	J36	0,34	2,85	0,96
I37	0,23	2,85	0,65	J37	0,19	2,85	0,55
I38	0,76	2,85	2,17	J38	0,64	2,85	1,82
I39	0,61	2,85	1,73	J39	0,51	2,85	1,46
I40	0,51	2,85	1,46	J40	0,43	2,85	1,23

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
K1	1,53	2,85	4,36	L1	2,04	2,85	5,81
K2	0,27	2,85	0,77	L2	0,36	2,85	1,03
K3	0,50	2,85	1,41	L3	0,66	2,85	1,88
K4	0,95	2,85	2,69	L4	1,26	2,85	3,59
K5	0,88	2,85	2,50	L5	1,17	2,85	3,33
K6	1,94	2,85	5,51	L6	2,58	2,85	7,35
K7	0,70	2,85	1,99	L7	0,93	2,85	2,65
K8	0,77	2,85	2,18	L8	1,02	2,85	2,91
K9	0,99	2,85	2,82	L9	1,32	2,85	3,76
K10	1,58	2,85	4,49	L10	2,10	2,85	5,99
K11	0,16	2,85	0,45	L11	0,21	2,85	0,60
K12	1,72	2,85	4,91	L12	2,30	2,85	6,54
K13	1,72	2,85	4,91	L13	2,30	2,85	6,54
K14	1,24	2,85	3,53	L14	1,65	2,85	4,70
K15	0,07	2,85	0,19	L15	0,09	2,85	0,26
K16	1,71	2,85	4,87	L16	2,28	2,85	6,50
K17	0,70	2,85	1,99	L17	0,93	2,85	2,65
K18	0,77	2,85	2,18	L18	1,02	2,85	2,91
K19	0,54	2,85	1,54	L19	0,72	2,85	2,05
K20	0,07	2,85	0,19	L20	0,09	2,85	0,26
K21	1,37	2,85	3,89	L21	1,82	2,85	5,19
K22	0,36	2,85	1,03	L22	0,48	2,85	1,37
K23	1,08	2,85	3,08	L23	1,44	2,85	4,10
K24	0,23	2,85	0,64	L24	0,30	2,85	0,86
K25	0,11	2,85	0,32	L25	0,15	2,85	0,43
K26	0,70	2,85	1,99	L26	0,93	2,85	2,65
K27	0,18	2,85	0,51	L27	0,24	2,85	0,68
K28	0,95	2,85	2,69	L28	1,26	2,85	3,59
K29	0,61	2,85	1,73	L29	0,81	2,85	2,31
K30	0,25	2,85	0,71	L30	0,33	2,85	0,94
K31	0,32	2,85	0,90	L31	0,42	2,85	1,20
K32	1,42	2,85	4,04	L32	1,89	2,85	5,39
K33	0,83	2,85	2,37	L33	1,11	2,85	3,16
K34	0,34	2,85	0,96	L34	0,45	2,85	1,28
K35	0,43	2,85	1,22	L35	0,57	2,85	1,62
K36	0,47	2,85	1,35	L36	0,63	2,85	1,80
K37	0,27	2,85	0,77	L37	0,36	2,85	1,03
K38	0,90	2,85	2,57	L38	1,20	2,85	3,42
K39	0,72	2,85	2,05	L39	0,96	2,85	2,74
K40	0,61	2,85	1,73	L40	0,81	2,85	2,31

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
M1	1,87	2,85	5,33	N1	3,06	2,85	8,72
M2	0,33	2,85	0,94	N2	0,54	2,85	1,54
M3	0,61	2,85	1,72	N3	0,99	2,85	2,82
M4	1,16	2,85	3,29	N4	1,89	2,85	5,39
M5	1,07	2,85	3,06	N5	1,76	2,85	5,00
M6	2,37	2,85	6,74	N6	3,87	2,85	11,03
M7	0,85	2,85	2,43	N7	1,40	2,85	3,98
M8	0,94	2,85	2,66	N8	1,53	2,85	4,36
M9	1,21	2,85	3,45	N9	1,98	2,85	5,64
M10	1,93	2,85	5,49	N10	3,15	2,85	8,98
M11	0,19	2,85	0,55	N11	0,32	2,85	0,90
M12	2,10	2,85	6,00	N12	3,44	2,85	9,81
M13	2,10	2,85	6,00	N13	3,44	2,85	9,81
M14	1,51	2,85	4,31	N14	2,48	2,85	7,05
M15	0,08	2,85	0,24	N15	0,14	2,85	0,38
M16	2,09	2,85	5,96	N16	3,42	2,85	9,75
M17	0,85	2,85	2,43	N17	1,40	2,85	3,98
M18	0,94	2,85	2,66	N18	1,53	2,85	4,36
M19	0,66	2,85	1,88	N19	1,08	2,85	3,08
M20	0,08	2,85	0,24	N20	0,14	2,85	0,38
M21	1,67	2,85	4,76	N21	2,73	2,85	7,78
M22	0,44	2,85	1,25	N22	0,72	2,85	2,05
M23	1,32	2,85	3,76	N23	2,16	2,85	6,16
M24	0,28	2,85	0,78	N24	0,45	2,85	1,28
M25	0,14	2,85	0,39	N25	0,23	2,85	0,64
M26	0,85	2,85	2,43	N26	1,40	2,85	3,98
M27	0,22	2,85	0,63	N27	0,36	2,85	1,03
M28	1,16	2,85	3,29	N28	1,89	2,85	5,39
M29	0,74	2,85	2,12	N29	1,22	2,85	3,46
M30	0,30	2,85	0,86	N30	0,50	2,85	1,41
M31	0,39	2,85	1,10	N31	0,63	2,85	1,80
M32	1,73	2,85	4,94	N32	2,84	2,85	8,08
M33	1,02	2,85	2,90	N33	1,67	2,85	4,75
M34	0,41	2,85	1,18	N34	0,68	2,85	1,92
M35	0,52	2,85	1,49	N35	0,86	2,85	2,44
M36	0,58	2,85	1,65	N36	0,95	2,85	2,69
M37	0,33	2,85	0,94	N37	0,54	2,85	1,54
M38	1,10	2,85	3,14	N38	1,80	2,85	5,13
M39	0,88	2,85	2,51	N39	1,44	2,85	4,10
M40	0,74	2,85	2,12	N40	1,22	2,85	3,46

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
O1	1,26	2,85	3,59	P1	1,53	2,85	4,36
O2	0,22	2,85	0,63	P2	0,27	2,85	0,77
O3	0,41	2,85	1,16	P3	0,50	2,85	1,41
O4	0,78	2,85	2,21	P4	0,95	2,85	2,69
O5	0,72	2,85	2,06	P5	0,88	2,85	2,50
O6	1,59	2,85	4,53	P6	1,94	2,85	5,51
O7	0,57	2,85	1,63	P7	0,70	2,85	1,99
O8	0,63	2,85	1,79	P8	0,77	2,85	2,18
O9	0,81	2,85	2,32	P9	0,99	2,85	2,82
O10	1,30	2,85	3,69	P10	1,58	2,85	4,49
O11	0,13	2,85	0,37	P11	0,16	2,85	0,45
O12	1,42	2,85	4,03	P12	1,72	2,85	4,91
O13	1,42	2,85	4,03	P13	1,72	2,85	4,91
O14	1,02	2,85	2,90	P14	1,24	2,85	3,53
O15	0,06	2,85	0,16	P15	0,07	2,85	0,19
O16	1,41	2,85	4,01	P16	1,71	2,85	4,87
O17	0,57	2,85	1,63	P17	0,70	2,85	1,99
O18	0,63	2,85	1,79	P18	0,77	2,85	2,18
O19	0,44	2,85	1,27	P19	0,54	2,85	1,54
O20	0,06	2,85	0,16	P20	0,07	2,85	0,19
O21	1,12	2,85	3,20	P21	1,37	2,85	3,89
O22	0,30	2,85	0,84	P22	0,36	2,85	1,03
O23	0,89	2,85	2,53	P23	1,08	2,85	3,08
O24	0,19	2,85	0,53	P24	0,23	2,85	0,64
O25	0,09	2,85	0,26	P25	0,11	2,85	0,32
O26	0,57	2,85	1,63	P26	0,70	2,85	1,99
O27	0,15	2,85	0,42	P27	0,18	2,85	0,51
O28	0,78	2,85	2,21	P28	0,95	2,85	2,69
O29	0,50	2,85	1,42	P29	0,60	2,85	1,72
O30	0,20	2,85	0,58	P30	0,25	2,85	0,71
O31	0,26	2,85	0,74	P31	0,32	2,85	0,90
O32	1,17	2,85	3,32	P32	1,42	2,85	4,04
O33	0,68	2,85	1,95	P33	0,83	2,85	2,37
O34	0,28	2,85	0,79	P34	0,34	2,85	0,96
O35	0,35	2,85	1,00	P35	0,43	2,85	1,22
O36	0,39	2,85	1,11	P36	0,47	2,85	1,35
O37	0,22	2,85	0,63	P37	0,27	2,85	0,77
O38	0,74	2,85	2,11	P38	0,90	2,85	2,57
O39	0,59	2,85	1,69	P39	0,72	2,85	2,05
O40	0,50	2,85	1,42	P40	0,61	2,85	1,73

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
Q1	2,38	2,85	6,78	R1	1,16	2,85	3,29
Q2	0,42	2,85	1,20	R2	0,20	2,85	0,58
Q3	0,77	2,85	2,19	R3	0,37	2,85	1,07
Q4	1,47	2,85	4,19	R4	0,71	2,85	2,03
Q5	1,37	2,85	3,89	R5	0,66	2,85	1,89
Q6	3,01	2,85	8,58	R6	1,46	2,85	4,17
Q7	1,09	2,85	3,09	R7	0,53	2,85	1,50
Q8	1,19	2,85	3,39	R8	0,58	2,85	1,65
Q9	1,54	2,85	4,39	R9	0,75	2,85	2,13
Q10	2,45	2,85	6,98	R10	1,12	2,85	3,19
Q11	0,25	2,85	0,70	R11	0,12	2,85	0,34
Q12	2,68	2,85	7,63	R12	1,30	2,85	3,71
Q13	2,68	2,85	7,63	R13	1,30	2,85	3,71
Q14	1,93	2,85	5,49	R14	0,94	2,85	2,66
Q15	0,11	2,85	0,30	R15	0,05	2,85	0,15
Q16	2,66	2,85	7,58	R16	1,29	2,85	3,68
Q17	1,09	2,85	3,09	R17	0,53	2,85	1,50
Q18	1,19	2,85	3,39	R18	0,58	2,85	1,65
Q19	0,84	2,85	2,39	R19	0,41	2,85	1,16
Q20	0,11	2,85	0,30	R20	0,05	2,85	0,15
Q21	2,12	2,85	6,05	R21	1,03	2,85	2,94
Q22	0,56	2,85	1,60	R22	0,27	2,85	0,78
Q23	1,68	2,85	4,79	R23	0,82	2,85	2,33
Q24	0,35	2,85	1,00	R24	0,17	2,85	0,48
Q25	0,18	2,85	0,50	R25	0,09	2,85	0,24
Q26	1,09	2,85	3,09	R26	0,53	2,85	1,50
Q27	0,28	2,85	0,80	R27	0,14	2,85	0,39
Q28	1,47	2,85	4,19	R28	0,71	2,85	2,03
Q29	0,95	2,85	2,69	R29	0,46	2,85	1,31
Q30	0,39	2,85	1,10	R30	0,19	2,85	0,53
Q31	0,49	2,85	1,40	R31	0,24	2,85	0,68
Q32	2,21	2,85	6,28	R32	1,07	2,85	3,05
Q33	1,30	2,85	3,69	R33	0,63	2,85	1,79
Q34	0,53	2,85	1,50	R34	0,26	2,85	0,73
Q35	0,67	2,85	1,90	R35	0,32	2,85	0,92
Q36	0,74	2,85	2,09	R36	0,36	2,85	1,02
Q37	0,42	2,85	1,20	R37	0,20	2,85	0,58
Q38	1,40	2,85	3,99	R38	0,68	2,85	1,94
Q39	1,12	2,85	3,19	R39	0,54	2,85	1,55
Q40	0,95	2,85	2,69	R40	0,46	2,85	1,31

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
S1	3,33	2,85	9,50	T1	2,11	2,85	6,01
S2	0,59	2,85	1,68	T2	0,37	2,85	1,06
S3	1,08	2,85	3,07	T3	0,68	2,85	1,94
S4	2,06	2,85	5,87	T4	1,30	2,85	3,71
S5	1,91	2,85	5,45	T5	1,21	2,85	3,45
S6	4,21	2,85	12,01	T6	2,67	2,85	7,60
S7	1,52	2,85	4,33	T7	0,96	2,85	2,74
S8	1,67	2,85	4,75	T8	1,05	2,85	3,00
S9	2,16	2,85	6,14	T9	1,36	2,85	3,89
S10	3,43	2,85	9,78	T10	2,17	2,85	6,18
S11	0,34	2,85	0,98	T11	0,22	2,85	0,62
S12	3,75	2,85	10,68	T12	2,37	2,85	6,76
S13	3,75	2,85	10,68	T13	2,37	2,85	6,76
S14	2,70	2,85	7,68	T14	1,71	2,85	4,86
S15	0,15	2,85	0,42	T15	0,09	2,85	0,27
S16	3,72	2,85	10,61	T16	2,36	2,85	6,71
S17	1,52	2,85	4,33	T17	0,96	2,85	2,74
S18	1,67	2,85	4,75	T18	1,05	2,85	3,00
S19	1,18	2,85	3,35	T19	0,74	2,85	2,12
S20	0,15	2,85	0,42	T20	0,09	2,85	0,27
S21	2,97	2,85	8,47	T21	1,88	2,85	5,36
S22	0,78	2,85	2,23	T22	0,50	2,85	1,41
S23	2,35	2,85	6,70	T23	1,49	2,85	4,24
S24	0,49	2,85	1,40	T24	0,31	2,85	0,88
S25	0,25	2,85	0,70	T25	0,16	2,85	0,44
S26	1,52	2,85	4,33	T26	0,96	2,85	2,74
S27	0,39	2,85	1,12	T27	0,25	2,85	0,71
S28	2,06	2,85	5,87	T28	1,30	2,85	3,71
S29	1,32	2,85	3,77	T29	0,84	2,85	2,39
S30	0,54	2,85	1,54	T30	0,34	2,85	0,97
S31	0,69	2,85	1,96	T31	0,43	2,85	1,24
S32	3,09	2,85	8,80	T32	1,95	2,85	5,57
S33	1,81	2,85	5,17	T33	1,15	2,85	3,27
S34	0,74	2,85	2,09	T34	0,47	2,85	1,33
S35	0,93	2,85	2,65	T35	0,59	2,85	1,68
S36	1,03	2,85	2,93	T36	0,65	2,85	1,86
S37	0,59	2,85	1,68	T37	0,37	2,85	1,06
S38	1,96	2,85	5,59	T38	1,24	2,85	3,53
S39	1,57	2,85	4,47	T39	0,99	2,85	2,83
S40	1,32	2,85	3,77	T40	0,84	2,85	2,39

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
U1	1,43	2,85	4,07	V1	1,70	2,85	4,85
U2	0,25	2,85	0,72	V2	0,30	2,85	0,86
U3	0,46	2,85	1,32	V3	0,55	2,85	1,57
U4	0,88	2,85	2,51	V4	1,05	2,85	2,99
U5	0,82	2,85	2,33	V5	0,98	2,85	2,78
U6	1,81	2,85	5,15	V6	2,15	2,85	6,13
U7	0,65	2,85	1,86	V7	0,78	2,85	2,21
U8	0,71	2,85	2,03	V8	0,85	2,85	2,42
U9	0,92	2,85	2,63	V9	1,10	2,85	3,14
U10	1,47	2,85	4,19	V10	1,75	2,85	4,99
U11	0,15	2,85	0,42	V11	0,18	2,85	0,50
U12	1,61	2,85	4,58	V12	1,91	2,85	5,45
U13	1,61	2,85	4,58	V13	1,91	2,85	5,45
U14	1,16	2,85	3,29	V14	1,38	2,85	3,92
U15	0,06	2,85	0,18	V15	0,08	2,85	0,21
U16	1,60	2,85	4,55	V16	1,90	2,85	5,42
U17	0,65	2,85	1,86	V17	0,78	2,85	2,21
U18	0,71	2,85	2,03	V18	0,85	2,85	2,42
U19	0,50	2,85	1,44	V19	0,60	2,85	1,71
U20	0,06	2,85	0,18	V20	0,08	2,85	0,21
U21	1,27	2,85	3,63	V21	1,52	2,85	4,32
U22	0,34	2,85	0,96	V22	0,40	2,85	1,14
U23	1,01	2,85	2,87	V23	1,20	2,85	3,42
U24	0,21	2,85	0,60	V24	0,25	2,85	0,71
U25	0,11	2,85	0,30	V25	0,13	2,85	0,36
U26	0,65	2,85	1,86	V26	0,78	2,85	2,21
U27	0,17	2,85	0,48	V27	0,20	2,85	0,57
U28	0,88	2,85	2,51	V28	1,05	2,85	2,99
U29	0,57	2,85	1,62	V29	0,68	2,85	1,92
U30	0,23	2,85	0,66	V30	0,28	2,85	0,78
U31	0,29	2,85	0,84	V31	0,35	2,85	1,00
U32	1,32	2,85	3,77	V32	1,58	2,85	4,49
U33	0,78	2,85	2,21	V33	0,93	2,85	2,64
U34	0,32	2,85	0,90	V34	0,38	2,85	1,07
U35	0,40	2,85	1,14	V35	0,48	2,85	1,35
U36	0,44	2,85	1,26	V36	0,53	2,85	1,50
U37	0,25	2,85	0,72	V37	0,30	2,85	0,86
U38	0,84	2,85	2,39	V38	1,00	2,85	2,85
U39	0,67	2,85	1,92	V39	0,80	2,85	2,28
U40	0,57	2,85	1,62	V40	0,68	2,85	1,92

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
W1	3,74	2,85	10,66	X1	2,55	2,85	7,27
W2	0,66	2,85	1,88	X2	0,45	2,85	1,28
W3	1,21	2,85	3,45	X3	0,83	2,85	2,35
W4	2,31	2,85	6,58	X4	1,58	2,85	4,49
W5	2,15	2,85	6,11	X5	1,46	2,85	4,17
W6	4,73	2,85	13,48	X6	3,23	2,85	9,19
W7	1,71	2,85	4,86	X7	1,16	2,85	3,31
W8	1,87	2,85	5,33	X8	1,28	2,85	3,63
W9	2,42	2,85	6,90	X9	1,65	2,85	4,70
W10	3,85	2,85	10,97	X10	2,63	2,85	7,48
W11	0,39	2,85	1,10	X11	0,26	2,85	0,75
W12	4,21	2,85	11,99	X12	2,87	2,85	8,18
W13	4,21	2,85	11,99	X13	2,87	2,85	8,18
W14	3,03	2,85	8,62	X14	2,06	2,85	5,88
W15	0,17	2,85	0,47	X15	0,11	2,85	0,32
W16	4,18	2,85	11,91	X16	2,85	2,85	8,12
W17	1,71	2,85	4,86	X17	1,16	2,85	3,31
W18	1,87	2,85	5,33	X18	1,28	2,85	3,63
W19	1,32	2,85	3,76	X19	0,90	2,85	2,57
W20	0,17	2,85	0,47	X20	0,11	2,85	0,32
W21	3,34	2,85	9,51	X21	2,28	2,85	6,48
W22	0,88	2,85	2,51	X22	0,60	2,85	1,71
W23	2,64	2,85	7,52	X23	1,80	2,85	5,13
W24	0,55	2,85	1,57	X24	0,38	2,85	1,07
W25	0,28	2,85	0,78	X25	0,19	2,85	0,53
W26	1,71	2,85	4,86	X26	1,16	2,85	3,31
W27	0,44	2,85	1,25	X27	0,30	2,85	0,86
W28	2,31	2,85	6,58	X28	1,76	2,85	5,01
W29	1,49	2,85	4,23	X29	1,01	2,85	2,89
W30	0,61	2,85	1,72	X30	0,41	2,85	1,18
W31	0,77	2,85	2,19	X31	0,53	2,85	1,50
W32	3,47	2,85	9,88	X32	2,36	2,85	6,73
W33	2,04	2,85	5,80	X33	1,39	2,85	3,95
W34	0,83	2,85	2,35	X34	0,56	2,85	1,60
W35	1,05	2,85	2,98	X35	0,71	2,85	2,03
W36	1,16	2,85	3,29	X36	0,79	2,85	2,24
W37	0,66	2,85	1,88	X37	0,45	2,85	1,28
W38	2,20	2,85	6,27	X38	1,50	2,85	4,28
W39	1,76	2,85	5,02	X39	1,20	2,85	3,42
W40	4,90	2,85	13,97	X40	1,01	2,85	2,89

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
Y1	2,79	2,85	7,95	Z1	3,74	2,85	10,66
Y2	0,49	2,85	1,40	Z2	0,66	2,85	1,88
Y3	0,90	2,85	2,57	Z3	1,21	2,85	3,45
Y4	1,72	2,85	4,91	Z4	2,31	2,85	6,58
Y5	1,60	2,85	4,56	Z5	2,15	2,85	6,11
Y6	3,53	2,85	10,05	Z6	4,73	2,85	13,48
Y7	1,27	2,85	3,62	Z7	1,71	2,85	4,86
Y8	1,39	2,85	3,97	Z8	1,87	2,85	5,33
Y9	1,80	2,85	5,14	Z9	2,42	2,85	6,90
Y10	2,87	2,85	8,18	Z10	3,85	2,85	10,97
Y11	0,29	2,85	0,82	Z11	0,39	2,85	1,10
Y12	3,14	2,85	8,94	Z12	4,21	2,85	11,99
Y13	3,14	2,85	8,94	Z13	4,21	2,85	11,99
Y14	2,26	2,85	6,43	Z14	3,03	2,85	8,62
Y15	0,12	2,85	0,35	Z15	0,17	2,85	0,47
Y16	3,12	2,85	8,88	Z16	4,18	2,85	11,91
Y17	1,27	2,85	3,62	Z17	1,71	2,85	4,86
Y18	1,39	2,85	3,97	Z18	1,87	2,85	5,33
Y19	0,98	2,85	2,80	Z19	1,32	2,85	3,76
Y20	0,12	2,85	0,35	Z20	0,17	2,85	0,47
Y21	2,49	2,85	7,09	Z21	3,34	2,85	9,51
Y22	0,66	2,85	1,87	Z22	0,88	2,85	2,51
Y23	1,97	2,85	5,61	Z23	2,64	2,85	7,52
Y24	0,41	2,85	1,17	Z24	0,55	2,85	1,57
Y25	0,21	2,85	0,58	Z25	0,28	2,85	0,78
Y26	1,27	2,85	3,62	Z26	1,71	2,85	4,86
Y27	0,33	2,85	0,93	Z27	0,44	2,85	1,25
Y28	1,72	2,85	4,91	Z28	2,31	2,85	6,58
Y29	1,11	2,85	3,15	Z29	1,49	2,85	4,23
Y30	0,45	2,85	1,29	Z30	0,61	2,85	1,72
Y31	0,57	2,85	1,64	Z31	0,77	2,85	2,19
Y32	2,58	2,85	7,36	Z32	3,47	2,85	9,88
Y33	1,52	2,85	4,32	Z33	2,04	2,85	5,80
Y34	0,62	2,85	1,75	Z34	0,83	2,85	2,35
Y35	0,78	2,85	2,22	Z35	1,05	2,85	2,98
Y36	0,86	2,85	2,45	Z36	1,16	2,85	3,29
Y37	0,49	2,85	1,40	Z37	0,66	2,85	1,88
Y38	1,64	2,85	4,67	Z38	2,20	2,85	6,27
Y39	1,31	2,85	3,74	Z39	1,76	2,85	5,02
Y40	1,11	2,85	3,15	Z40	1,49	2,85	4,23

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
A1	1,70	2,20	3,74	B1	0,68	2,20	1,50
A2	0,30	2,20	0,66	B2	0,12	2,20	0,26
A3	0,55	2,20	1,21	B3	0,22	2,20	0,48
A4	1,05	2,20	2,31	B4	0,42	2,20	0,92
A5	0,98	2,20	2,15	B5	0,39	2,20	0,86
A6	2,15	2,20	4,73	B6	0,86	2,20	1,89
A7	0,78	2,20	1,71	B7	0,31	2,20	0,68
A8	0,85	2,20	1,87	B8	0,34	2,20	0,75
A9	1,10	2,20	2,42	B9	0,44	2,20	0,97
A10	1,75	2,20	3,85	B10	0,70	2,20	1,54
A11	0,18	2,20	0,39	B11	0,07	2,20	0,15
A12	1,91	2,20	4,21	B12	0,77	2,20	1,68
A13	1,91	2,20	4,21	B13	0,77	2,20	1,68
A14	1,38	2,20	3,03	B14	0,55	2,20	1,21
A15	0,08	2,20	0,17	B15	0,03	2,20	0,07
A16	1,90	2,20	4,18	B16	0,76	2,20	1,67
A17	0,78	2,20	1,71	B17	0,31	2,20	0,68
A18	0,85	2,20	1,87	B18	0,34	2,20	0,75
A19	0,60	2,20	1,32	B19	0,24	2,20	0,53
A20	0,08	2,20	0,17	B20	0,03	2,20	0,07
A21	1,52	2,20	3,34	B21	0,61	2,20	1,33
A22	0,40	2,20	0,88	B22	0,16	2,20	0,35
A23	1,20	2,20	2,64	B23	0,48	2,20	1,06
A24	0,25	2,20	0,55	B24	0,10	2,20	0,22
A25	0,13	2,20	0,28	B25	0,05	2,20	0,11
A26	0,78	2,20	1,71	B26	0,31	2,20	0,68
A27	0,20	2,20	0,44	B27	0,08	2,20	0,18
A28	1,05	2,20	2,31	B28	0,42	2,20	0,92
A29	0,68	2,20	1,49	B29	0,27	2,20	0,59
A30	0,28	2,20	0,61	B30	0,11	2,20	0,24
A31	0,35	2,20	0,77	B31	0,14	2,20	0,31
A32	1,58	2,20	3,47	B32	0,63	2,20	1,39
A33	0,93	2,20	2,04	B33	0,37	2,20	0,81
A34	3,75	2,20	8,25	B34	0,15	2,20	0,33
A35	0,48	2,20	1,05	B35	0,19	2,20	0,42
A36	0,53	2,20	1,16	B36	0,21	2,20	0,46
A37	0,30	2,20	0,66	B37	0,12	2,20	0,26
A38	1,00	2,20	2,20	B38	0,40	2,20	0,88
A39	0,80	2,20	1,76	B39	0,32	2,20	0,70
A40	0,68	2,20	1,49	B40	0,27	2,20	0,59

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
C1	1,02	2,20	2,24	D1	2,21	2,20	4,86
C2	0,18	2,20	0,40	D2	0,39	2,20	0,86
C3	0,33	2,20	0,73	D3	0,72	2,20	1,57
C4	0,63	2,20	1,39	D4	1,37	2,20	3,00
C5	0,59	2,20	1,29	D5	1,27	2,20	2,79
C6	1,29	2,20	2,84	D6	2,80	2,20	6,15
C7	0,47	2,20	1,02	D7	1,01	2,20	2,22
C8	0,51	2,20	1,12	D8	1,11	2,20	2,43
C9	0,66	2,20	1,45	D9	1,43	2,20	3,15
C10	1,05	2,20	2,31	D10	2,28	2,20	5,01
C11	0,11	2,20	0,23	D11	0,23	2,20	0,50
C12	1,15	2,20	2,52	D12	2,49	2,20	5,47
C13	1,15	2,20	2,52	D13	2,49	2,20	5,47
C14	0,83	2,20	1,82	D14	1,79	2,20	3,93
C15	0,05	2,20	0,10	D15	0,10	2,20	0,21
C16	1,14	2,20	2,51	D16	2,47	2,20	5,43
C17	0,47	2,20	1,02	D17	1,01	2,20	2,22
C18	0,51	2,20	1,12	D18	1,11	2,20	2,43
C19	0,36	2,20	0,79	D19	0,78	2,20	1,72
C20	0,05	2,20	0,10	D20	0,10	2,20	0,21
C21	0,91	2,20	2,01	D21	1,97	2,20	4,34
C22	0,24	2,20	0,53	D22	0,52	2,20	1,14
C23	0,72	2,20	1,58	D23	1,56	2,20	3,43
C24	0,15	2,20	0,33	D24	0,33	2,20	0,72
C25	0,08	2,20	0,17	D25	0,16	2,20	0,36
C26	0,47	2,20	1,02	D26	1,01	2,20	2,22
C27	0,12	2,20	0,26	D27	0,26	2,20	0,57
C28	0,63	2,20	1,39	D28	1,37	2,20	3,00
C29	0,41	2,20	0,89	D29	0,88	2,20	1,93
C30	0,17	2,20	0,36	D30	0,36	2,20	0,79
C31	0,21	2,20	0,46	D31	0,46	2,20	1,00
C32	0,95	2,20	2,08	D32	2,05	2,20	4,50
C33	0,56	2,20	1,22	D33	1,20	2,20	2,65
C34	0,23	2,20	0,50	D34	0,49	2,20	1,07
C35	0,29	2,20	0,63	D35	0,62	2,20	1,36
C36	0,32	2,20	0,69	D36	0,68	2,20	1,50
C37	0,18	2,20	0,40	D37	0,39	2,20	0,86
C38	0,60	2,20	1,32	D38	1,30	2,20	2,86
C39	0,48	2,20	1,06	D39	1,04	2,20	2,29
C40	0,41	2,20	0,89	D40	0,88	2,20	1,93

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
E1	3,74	2,20	8,23	F1	1,36	2,20	2,99
E2	0,66	2,20	1,45	F2	0,24	2,20	0,53
E3	1,21	2,20	2,66	F3	0,44	2,20	0,97
E4	2,31	2,20	5,08	F4	0,84	2,20	1,85
E5	2,15	2,20	4,72	F5	0,78	2,20	1,72
E6	4,73	2,20	10,41	F6	1,72	2,20	3,78
E7	1,71	2,20	3,75	F7	0,62	2,20	1,36
E8	1,87	2,20	4,11	F8	0,68	2,20	1,50
E9	2,42	2,20	5,32	F9	0,88	2,20	1,94
E10	3,85	2,20	8,47	F10	1,40	2,20	3,08
E11	0,39	2,20	0,85	F11	0,14	2,20	0,31
E12	4,21	2,20	9,26	F12	1,53	2,20	3,37
E13	4,21	2,20	9,26	F13	1,53	2,20	3,37
E14	3,03	2,20	6,66	F14	1,10	2,20	2,42
E15	0,17	2,20	0,36	F15	0,06	2,20	0,13
E16	4,18	2,20	9,20	F16	1,52	2,20	3,34
E17	1,71	2,20	3,75	F17	0,62	2,20	1,36
E18	1,87	2,20	4,11	F18	0,68	2,20	1,50
E19	1,32	2,20	2,90	F19	0,48	2,20	1,06
E20	0,17	2,20	0,36	F20	0,06	2,20	0,13
E21	3,34	2,20	7,34	F21	1,21	2,20	2,67
E22	0,88	2,20	1,94	F22	0,32	2,20	0,70
E23	2,64	2,20	5,81	F23	0,96	2,20	2,11
E24	0,55	2,20	1,21	F24	0,20	2,20	0,44
E25	0,28	2,20	0,61	F25	0,10	2,20	0,22
E26	1,71	2,20	3,75	F26	0,62	2,20	1,36
E27	0,44	2,20	0,97	F27	0,16	2,20	0,35
E28	2,31	2,20	5,08	F28	0,84	2,20	1,85
E29	1,49	2,20	3,27	F29	0,54	2,20	1,19
E30	0,61	2,20	1,33	F30	0,22	2,20	0,48
E31	0,77	2,20	1,69	F31	0,28	2,20	0,62
E32	3,47	2,20	7,62	F32	1,26	2,20	2,77
E33	2,04	2,20	4,48	F33	0,74	2,20	1,63
E34	0,83	2,20	1,82	F34	0,30	2,20	0,66
E35	1,05	2,20	2,30	F35	0,38	2,20	0,84
E36	1,16	2,20	2,54	F36	0,42	2,20	0,92
E37	0,66	2,20	1,45	F37	0,24	2,20	0,53
E38	2,20	2,20	4,84	F38	0,80	2,20	1,76
E39	1,76	2,20	3,87	F39	0,64	2,20	1,41
E40	1,49	2,20	3,27	F40	0,54	2,20	1,19

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
G1	0,85	2,20	1,87	H1	0,75	2,20	1,65
G2	0,15	2,20	0,33	H2	0,13	2,20	0,29
G3	0,28	2,20	0,61	H3	0,24	2,20	0,53
G4	0,53	2,20	1,16	H4	0,46	2,20	1,02
G5	0,49	2,20	1,07	H5	0,43	2,20	0,94
G6	1,08	2,20	2,37	H6	0,95	2,20	2,08
G7	0,39	2,20	0,85	H7	0,34	2,20	0,75
G8	0,43	2,20	0,94	H8	0,37	2,20	0,82
G9	0,55	2,20	1,21	H9	0,48	2,20	1,06
G10	0,88	2,20	1,93	H10	0,77	2,20	1,69
G11	0,09	2,20	0,19	H11	0,08	2,20	0,17
G12	0,96	2,20	2,10	H12	0,84	2,20	1,85
G13	0,96	2,20	2,10	H13	0,84	2,20	1,85
G14	0,69	2,20	1,51	H14	0,61	2,20	1,33
G15	0,04	2,20	0,08	H15	0,03	2,20	0,07
G16	0,95	2,20	2,09	H16	0,84	2,20	1,84
G17	0,39	2,20	0,85	H17	0,34	2,20	0,75
G18	0,43	2,20	0,94	H18	0,37	2,20	0,82
G19	0,30	2,20	0,66	H19	0,26	2,20	0,58
G20	0,04	2,20	0,08	H20	0,03	2,20	0,07
G21	0,76	2,20	1,67	H21	0,67	2,20	1,47
G22	0,20	2,20	0,44	H22	0,18	2,20	0,39
G23	0,60	2,20	1,32	H23	0,53	2,20	1,16
G24	0,13	2,20	0,28	H24	0,11	2,20	0,24
G25	0,06	2,20	0,14	H25	0,06	2,20	0,12
G26	0,39	2,20	0,85	H26	0,34	2,20	0,75
G27	0,10	2,20	0,22	H27	0,09	2,20	0,19
G28	0,53	2,20	1,16	H28	0,46	2,20	1,02
G29	0,34	2,20	0,74	H29	0,30	2,20	0,65
G30	0,14	2,20	0,30	H30	0,12	2,20	0,27
G31	0,18	2,20	0,39	H31	0,15	2,20	0,34
G32	0,79	2,20	1,73	H32	0,69	2,20	1,52
G33	0,46	2,20	1,02	H33	0,41	2,20	0,90
G34	0,19	2,20	0,41	H34	0,17	2,20	0,36
G35	0,24	2,20	0,52	H35	0,21	2,20	0,46
G36	0,26	2,20	0,58	H36	0,23	2,20	0,51
G37	0,15	2,20	0,33	H37	0,13	2,20	0,29
G38	0,50	2,20	1,10	H38	0,44	2,20	0,97
G39	0,40	2,20	0,88	H39	0,35	2,20	0,77
G40	0,34	2,20	0,74	H40	0,30	2,20	0,65

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
I1	1,29	2,20	2,84	J1	1,09	2,20	2,39
I2	0,23	2,20	0,50	J2	0,19	2,20	0,42
I3	0,42	2,20	0,92	J3	0,35	2,20	0,77
I4	0,80	2,20	1,76	J4	0,67	2,20	1,48
I5	0,74	2,20	1,63	J5	0,62	2,20	1,37
I6	1,63	2,20	3,59	J6	1,38	2,20	3,03
I7	0,59	2,20	1,30	J7	0,50	2,20	1,09
I8	0,65	2,20	1,42	J8	0,54	2,20	1,20
I9	0,84	2,20	1,84	J9	0,70	2,20	1,55
I10	1,33	2,20	2,93	J10	1,12	2,20	2,46
I11	0,13	2,20	0,29	J11	0,11	2,20	0,25
I12	1,45	2,20	3,20	J12	1,22	2,20	2,69
I13	1,45	2,20	3,20	J13	1,22	2,20	2,69
I14	1,05	2,20	2,30	J14	0,88	2,20	1,94
I15	0,06	2,20	0,13	J15	0,05	2,20	0,11
I16	1,44	2,20	3,18	J16	1,22	2,20	2,68
I17	0,59	2,20	1,30	J17	0,50	2,20	1,09
I18	0,65	2,20	1,42	J18	0,54	2,20	1,20
I19	0,46	2,20	1,00	J19	0,38	2,20	0,84
I20	0,06	2,20	0,13	J20	0,05	2,20	0,11
I21	1,15	2,20	2,54	J21	0,97	2,20	2,14
I22	0,30	2,20	0,67	J22	0,26	2,20	0,56
I23	0,91	2,20	2,01	J23	0,77	2,20	1,69
I24	0,19	2,20	0,42	J24	0,16	2,20	0,35
I25	0,10	2,20	0,21	J25	0,08	2,20	0,18
I26	0,59	2,20	1,30	J26	0,50	2,20	1,09
I27	0,15	2,20	0,33	J27	0,13	2,20	0,28
I28	0,80	2,20	1,76	J28	0,67	2,20	1,48
I29	0,51	2,20	1,13	J29	0,43	2,20	0,95
I30	0,21	2,20	0,46	J30	0,18	2,20	0,39
I31	0,27	2,20	0,59	J31	0,22	2,20	0,49
I32	1,20	2,20	2,63	J32	1,01	2,20	2,22
I33	0,70	2,20	1,55	J33	0,59	2,20	1,30
I34	0,29	2,20	0,63	J34	0,24	2,20	0,53
I35	0,36	2,20	0,79	J35	0,30	2,20	0,67
I36	0,40	2,20	0,88	J36	0,34	2,20	0,74
I37	0,23	2,20	0,50	J37	0,19	2,20	0,42
I38	0,76	2,20	1,67	J38	0,64	2,20	1,41
I39	0,61	2,20	1,34	J39	0,51	2,20	1,13
I40	0,51	2,20	1,13	J40	0,43	2,20	0,95

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
k1	1,53	2,20	3,37	l1	2,04	2,20	4,49
k2	0,27	2,20	0,59	l2	0,36	2,20	0,79
k3	0,50	2,20	1,09	l3	0,66	2,20	1,45
k4	0,95	2,20	2,08	l4	1,26	2,20	2,77
k5	0,88	2,20	1,93	l5	1,17	2,20	2,57
k6	1,94	2,20	4,26	l6	2,58	2,20	5,68
k7	0,70	2,20	1,53	l7	0,93	2,20	2,05
k8	0,77	2,20	1,68	l8	1,02	2,20	2,24
k9	0,99	2,20	2,18	l9	1,32	2,20	2,90
k10	1,58	2,20	3,47	l10	2,10	2,20	4,62
k11	0,16	2,20	0,35	l11	0,21	2,20	0,46
k12	1,72	2,20	3,79	l12	2,30	2,20	5,05
k13	1,72	2,20	3,79	l13	2,30	2,20	5,05
k14	1,24	2,20	2,72	l14	1,65	2,20	3,63
k15	0,07	2,20	0,15	l15	0,09	2,20	0,20
k16	1,71	2,20	3,76	l16	2,28	2,20	5,02
k17	0,70	2,20	1,53	l17	0,93	2,20	2,05
k18	0,77	2,20	1,68	l18	1,02	2,20	2,24
k19	0,54	2,20	1,19	l19	0,72	2,20	1,58
k20	0,07	2,20	0,15	l20	0,09	2,20	0,20
k21	1,37	2,20	3,00	l21	1,82	2,20	4,00
k22	0,36	2,20	0,79	l22	0,48	2,20	1,06
k23	1,08	2,20	2,38	l23	1,44	2,20	3,17
k24	0,23	2,20	0,50	l24	0,30	2,20	0,66
k25	0,11	2,20	0,25	l25	0,15	2,20	0,33
k26	0,70	2,20	1,53	l26	0,93	2,20	2,05
k27	0,18	2,20	0,40	l27	0,24	2,20	0,53
k28	0,95	2,20	2,08	l28	1,26	2,20	2,77
k29	0,61	2,20	1,34	l29	0,81	2,20	1,78
k30	0,25	2,20	0,54	l30	0,33	2,20	0,73
k31	0,32	2,20	0,69	l31	0,42	2,20	0,92
k32	1,42	2,20	3,12	l32	1,89	2,20	4,16
k33	0,83	2,20	1,83	l33	1,11	2,20	2,44
k34	0,34	2,20	0,74	l34	0,45	2,20	0,99
k35	0,43	2,20	0,94	l35	0,57	2,20	1,25
k36	0,47	2,20	1,04	l36	0,63	2,20	1,39
k37	0,27	2,20	0,59	l37	0,36	2,20	0,79
k38	0,90	2,20	1,98	l38	1,20	2,20	2,64
k39	0,72	2,20	1,58	l39	0,96	2,20	2,11
k40	0,61	2,20	1,34	l40	0,81	2,20	1,78

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
M1	1,87	2,20	4,11	N1	3,06	2,20	6,73
M2	0,33	2,20	0,73	N2	0,54	2,20	1,19
M3	0,61	2,20	1,33	N3	0,99	2,20	2,18
M4	1,16	2,20	2,54	N4	1,89	2,20	4,16
M5	1,07	2,20	2,36	N5	1,76	2,20	3,86
M6	2,37	2,20	5,20	N6	3,87	2,20	8,51
M7	0,85	2,20	1,88	N7	1,40	2,20	3,07
M8	0,94	2,20	2,06	N8	1,53	2,20	3,37
M9	1,21	2,20	2,66	N9	1,98	2,20	4,36
M10	1,93	2,20	4,24	N10	3,15	2,20	6,93
M11	0,19	2,20	0,42	N11	0,32	2,20	0,69
M12	2,10	2,20	4,63	N12	3,44	2,20	7,57
M13	2,10	2,20	4,63	N13	3,44	2,20	7,57
M14	1,51	2,20	3,33	N14	2,48	2,20	5,45
M15	0,08	2,20	0,18	N15	0,14	2,20	0,30
M16	2,09	2,20	4,60	N16	3,42	2,20	7,52
M17	0,85	2,20	1,88	N17	1,40	2,20	3,07
M18	0,94	2,20	2,06	N18	1,53	2,20	3,37
M19	0,66	2,20	1,45	N19	1,08	2,20	2,38
M20	0,08	2,20	0,18	N20	0,14	2,20	0,30
M21	1,67	2,20	3,67	N21	2,73	2,20	6,01
M22	0,44	2,20	0,97	N22	0,72	2,20	1,58
M23	1,32	2,20	2,90	N23	2,16	2,20	4,75
M24	0,28	2,20	0,61	N24	0,45	2,20	0,99
M25	0,14	2,20	0,30	N25	0,23	2,20	0,50
M26	0,85	2,20	1,88	N26	1,40	2,20	3,07
M27	0,22	2,20	0,48	N27	0,36	2,20	0,79
M28	1,16	2,20	2,54	N28	1,89	2,20	4,16
M29	0,74	2,20	1,63	N29	1,22	2,20	2,67
M30	0,30	2,20	0,67	N30	0,50	2,20	1,09
M31	0,39	2,20	0,85	N31	0,63	2,20	1,39
M32	1,73	2,20	3,81	N32	2,84	2,20	6,24
M33	1,02	2,20	2,24	N33	1,67	2,20	3,66
M34	0,41	2,20	0,91	N34	0,68	2,20	1,49
M35	0,52	2,20	1,15	N35	0,86	2,20	1,88
M36	0,58	2,20	1,27	N36	0,95	2,20	2,08
M37	0,33	2,20	0,73	N37	0,54	2,20	1,19
M38	1,10	2,20	2,42	N38	1,80	2,20	3,96
M39	0,88	2,20	1,94	N39	1,44	2,20	3,17
M40	0,74	2,20	1,63	N40	1,22	2,20	2,67

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
O1	1,26	2,20	2,77	P1	1,53	2,20	3,37
O2	0,22	2,20	0,49	P2	0,27	2,20	0,59
O3	0,41	2,20	0,90	P3	0,50	2,20	1,09
O4	0,78	2,20	1,71	P4	0,95	2,20	2,08
O5	0,72	2,20	1,59	P5	0,88	2,20	1,93
O6	1,59	2,20	3,50	P6	1,94	2,20	4,26
O7	0,57	2,20	1,26	P7	0,70	2,20	1,53
O8	0,63	2,20	1,38	P8	0,77	2,20	1,68
O9	0,81	2,20	1,79	P9	0,99	2,20	2,18
O10	1,30	2,20	2,85	P10	1,58	2,20	3,47
O11	0,13	2,20	0,28	P11	0,16	2,20	0,35
O12	1,42	2,20	3,11	P12	1,72	2,20	3,79
O13	1,42	2,20	3,11	P13	1,72	2,20	3,79
O14	1,02	2,20	2,24	P14	1,24	2,20	2,72
O15	0,06	2,20	0,12	P15	0,07	2,20	0,15
O16	1,41	2,20	3,09	P16	1,71	2,20	3,76
O17	0,57	2,20	1,26	P17	0,70	2,20	1,53
O18	0,63	2,20	1,38	P18	0,77	2,20	1,68
O19	0,44	2,20	0,98	P19	0,54	2,20	1,19
O20	0,06	2,20	0,12	P20	0,07	2,20	0,15
O21	1,12	2,20	2,47	P21	1,37	2,20	3,00
O22	0,30	2,20	0,65	P22	0,36	2,20	0,79
O23	0,89	2,20	1,95	P23	1,08	2,20	2,38
O24	0,19	2,20	0,41	P24	0,23	2,20	0,50
O25	0,09	2,20	0,20	P25	0,11	2,20	0,25
O26	0,57	2,20	1,26	P26	0,70	2,20	1,53
O27	0,15	2,20	0,33	P27	0,18	2,20	0,40
O28	0,78	2,20	1,71	P28	0,95	2,20	2,08
O29	0,50	2,20	1,10	P29	0,60	2,20	1,33
O30	0,20	2,20	0,45	P30	0,25	2,20	0,54
O31	0,26	2,20	0,57	P31	0,32	2,20	0,69
O32	1,17	2,20	2,56	P32	1,42	2,20	3,12
O33	0,68	2,20	1,51	P33	0,83	2,20	1,83
O34	0,28	2,20	0,61	P34	0,34	2,20	0,74
O35	0,35	2,20	0,77	P35	0,43	2,20	0,94
O36	0,39	2,20	0,85	P36	0,47	2,20	1,04
O37	0,22	2,20	0,49	P37	0,27	2,20	0,59
O38	0,74	2,20	1,63	P38	0,90	2,20	1,98
O39	0,59	2,20	1,30	P39	0,72	2,20	1,58
O40	0,50	2,20	1,10	P40	0,61	2,20	1,34

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
Q1	2,38	2,20	5,24	R1	1,16	2,20	2,54
Q2	0,42	2,20	0,92	R2	0,20	2,20	0,45
Q3	0,77	2,20	1,69	R3	0,37	2,20	0,82
Q4	1,47	2,20	3,23	R4	0,71	2,20	1,57
Q5	1,37	2,20	3,00	R5	0,66	2,20	1,46
Q6	3,01	2,20	6,62	R6	1,46	2,20	3,22
Q7	1,09	2,20	2,39	R7	0,53	2,20	1,16
Q8	1,19	2,20	2,62	R8	0,58	2,20	1,27
Q9	1,54	2,20	3,39	R9	0,75	2,20	1,65
Q10	2,45	2,20	5,39	R10	1,12	2,20	2,46
Q11	0,25	2,20	0,54	R11	0,12	2,20	0,26
Q12	2,68	2,20	5,89	R12	1,30	2,20	2,86
Q13	2,68	2,20	5,89	R13	1,30	2,20	2,86
Q14	1,93	2,20	4,24	R14	0,94	2,20	2,06
Q15	0,11	2,20	0,23	R15	0,05	2,20	0,11
Q16	2,66	2,20	5,85	R16	1,29	2,20	2,84
Q17	1,09	2,20	2,39	R17	0,53	2,20	1,16
Q18	1,19	2,20	2,62	R18	0,58	2,20	1,27
Q19	0,84	2,20	1,85	R19	0,41	2,20	0,90
Q20	0,11	2,20	0,23	R20	0,05	2,20	0,11
Q21	2,12	2,20	4,67	R21	1,03	2,20	2,27
Q22	0,56	2,20	1,23	R22	0,27	2,20	0,60
Q23	1,68	2,20	3,70	R23	0,82	2,20	1,80
Q24	0,35	2,20	0,77	R24	0,17	2,20	0,37
Q25	0,18	2,20	0,39	R25	0,09	2,20	0,19
Q26	1,09	2,20	2,39	R26	0,53	2,20	1,16
Q27	0,28	2,20	0,62	R27	0,14	2,20	0,30
Q28	1,47	2,20	3,23	R28	0,71	2,20	1,57
Q29	0,95	2,20	2,08	R29	0,46	2,20	1,01
Q30	0,39	2,20	0,85	R30	0,19	2,20	0,41
Q31	0,49	2,20	1,08	R31	0,24	2,20	0,52
Q32	2,21	2,20	4,85	R32	1,07	2,20	2,36
Q33	1,30	2,20	2,85	R33	0,63	2,20	1,38
Q34	0,53	2,20	1,16	R34	0,26	2,20	0,56
Q35	0,67	2,20	1,46	R35	0,32	2,20	0,71
Q36	0,74	2,20	1,62	R36	0,36	2,20	0,79
Q37	0,42	2,20	0,92	R37	0,20	2,20	0,45
Q38	1,40	2,20	3,08	R38	0,68	2,20	1,50
Q39	1,12	2,20	2,46	R39	0,54	2,20	1,20
Q40	0,95	2,20	2,08	R40	0,46	2,20	1,01

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
S1	3,33	2,20	7,33	T1	2,11	2,20	4,64
S2	0,59	2,20	1,29	T2	0,37	2,20	0,82
S3	1,08	2,20	2,37	T3	0,68	2,20	1,50
S4	2,06	2,20	4,53	T4	1,30	2,20	2,86
S5	1,91	2,20	4,20	T5	1,21	2,20	2,66
S6	4,21	2,20	9,27	T6	2,67	2,20	5,87
S7	1,52	2,20	3,34	T7	0,96	2,20	2,11
S8	1,67	2,20	3,67	T8	1,05	2,20	2,32
S9	2,16	2,20	4,74	T9	1,36	2,20	3,00
S10	3,43	2,20	7,55	T10	2,17	2,20	4,77
S11	0,34	2,20	0,75	T11	0,22	2,20	0,48
S12	3,75	2,20	8,25	T12	2,37	2,20	5,22
S13	3,75	2,20	8,25	T13	2,37	2,20	5,22
S14	2,70	2,20	5,93	T14	1,71	2,20	3,75
S15	0,15	2,20	0,32	T15	0,09	2,20	0,20
S16	3,72	2,20	8,19	T16	2,36	2,20	5,18
S17	1,52	2,20	3,34	T17	0,96	2,20	2,11
S18	1,67	2,20	3,67	T18	1,05	2,20	2,32
S19	1,18	2,20	2,59	T19	0,74	2,20	1,64
S20	0,15	2,20	0,32	T20	0,09	2,20	0,20
S21	2,97	2,20	6,54	T21	1,88	2,20	4,14
S22	0,78	2,20	1,72	T22	0,50	2,20	1,09
S23	2,35	2,20	5,17	T23	1,49	2,20	3,27
S24	0,49	2,20	1,08	T24	0,31	2,20	0,68
S25	0,25	2,20	0,54	T25	0,16	2,20	0,34
S26	1,52	2,20	3,34	T26	0,96	2,20	2,11
S27	0,39	2,20	0,86	T27	0,25	2,20	0,55
S28	2,06	2,20	4,53	T28	1,30	2,20	2,86
S29	1,32	2,20	2,91	T29	0,84	2,20	1,84
S30	0,54	2,20	1,19	T30	0,34	2,20	0,75
S31	0,69	2,20	1,51	T31	0,43	2,20	0,95
S32	3,09	2,20	6,79	T32	1,95	2,20	4,30
S33	1,81	2,20	3,99	T33	1,15	2,20	2,52
S34	0,74	2,20	1,62	T34	0,47	2,20	1,02
S35	0,93	2,20	2,05	T35	0,59	2,20	1,30
S36	1,03	2,20	2,26	T36	0,65	2,20	1,43
S37	0,59	2,20	1,29	T37	0,37	2,20	0,82
S38	1,96	2,20	4,31	T38	1,24	2,20	2,73
S39	1,57	2,20	3,45	T39	0,99	2,20	2,18
S40	1,32	2,20	2,91	T40	0,84	2,20	1,84

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
U1	1,43	2,20	3,14	V1	1,70	2,20	3,74
U2	0,25	2,20	0,55	V2	0,30	2,20	0,66
U3	0,46	2,20	1,02	V3	0,55	2,20	1,21
U4	0,88	2,20	1,94	V4	1,05	2,20	2,31
U5	0,82	2,20	1,80	V5	0,98	2,20	2,15
U6	1,81	2,20	3,97	V6	2,15	2,20	4,73
U7	0,65	2,20	1,43	V7	0,78	2,20	1,71
U8	0,71	2,20	1,57	V8	0,85	2,20	1,87
U9	0,92	2,20	2,03	V9	1,10	2,20	2,42
U10	1,47	2,20	3,23	V10	1,75	2,20	3,85
U11	0,15	2,20	0,32	V11	0,18	2,20	0,39
U12	1,61	2,20	3,53	V12	1,91	2,20	4,21
U13	1,61	2,20	3,53	V13	1,91	2,20	4,21
U14	1,16	2,20	2,54	V14	1,38	2,20	3,03
U15	0,06	2,20	0,14	V15	0,08	2,20	0,17
U16	1,60	2,20	3,51	V16	1,90	2,20	4,18
U17	0,65	2,20	1,43	V17	0,78	2,20	1,71
U18	0,71	2,20	1,57	V18	0,85	2,20	1,87
U19	0,50	2,20	1,11	V19	0,60	2,20	1,32
U20	0,06	2,20	0,14	V20	0,08	2,20	0,17
U21	1,27	2,20	2,80	V21	1,52	2,20	3,34
U22	0,34	2,20	0,74	V22	0,40	2,20	0,88
U23	1,01	2,20	2,22	V23	1,20	2,20	2,64
U24	0,21	2,20	0,46	V24	0,25	2,20	0,55
U25	0,11	2,20	0,23	V25	0,13	2,20	0,28
U26	0,65	2,20	1,43	V26	0,78	2,20	1,71
U27	0,17	2,20	0,37	V27	0,20	2,20	0,44
U28	0,88	2,20	1,94	V28	1,05	2,20	2,31
U29	0,57	2,20	1,25	V29	0,68	2,20	1,49
U30	0,23	2,20	0,51	V30	0,28	2,20	0,61
U31	0,29	2,20	0,65	V31	0,35	2,20	0,77
U32	1,32	2,20	2,91	V32	1,58	2,20	3,47
U33	0,78	2,20	1,71	V33	0,93	2,20	2,04
U34	0,32	2,20	0,69	V34	0,38	2,20	0,83
U35	0,40	2,20	0,88	V35	0,48	2,20	1,05
U36	0,44	2,20	0,97	V36	0,53	2,20	1,16
U37	0,25	2,20	0,55	V37	0,30	2,20	0,66
U38	0,84	2,20	1,85	V38	1,00	2,20	2,20
U39	0,67	2,20	1,48	V39	0,80	2,20	1,76
U40	0,57	2,20	1,25	V40	0,68	2,20	1,49

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
W1	3,74	2,20	8,23	X1	2,55	2,20	5,61
W2	0,66	2,20	1,45	X2	0,45	2,20	0,99
W3	1,21	2,20	2,66	X3	0,83	2,20	1,82
W4	2,31	2,20	5,08	X4	1,58	2,20	3,47
W5	2,15	2,20	4,72	X5	1,46	2,20	3,22
W6	4,73	2,20	10,41	X6	3,23	2,20	7,10
W7	1,71	2,20	3,75	X7	1,16	2,20	2,56
W8	1,87	2,20	4,11	X8	1,28	2,20	2,81
W9	2,42	2,20	5,32	X9	1,65	2,20	3,63
W10	3,85	2,20	8,47	X10	2,63	2,20	5,78
W11	0,39	2,20	0,85	X11	0,26	2,20	0,58
W12	4,21	2,20	9,26	X12	2,87	2,20	6,31
W13	4,21	2,20	9,26	X13	2,87	2,20	6,31
W14	3,03	2,20	6,66	X14	2,06	2,20	4,54
W15	0,17	2,20	0,36	X15	0,11	2,20	0,25
W16	4,18	2,20	9,20	X16	2,85	2,20	6,27
W17	1,71	2,20	3,75	X17	1,16	2,20	2,56
W18	1,87	2,20	4,11	X18	1,28	2,20	2,81
W19	1,32	2,20	2,90	X19	0,90	2,20	1,98
W20	0,17	2,20	0,36	X20	0,11	2,20	0,25
W21	3,34	2,20	7,34	X21	2,28	2,20	5,01
W22	0,88	2,20	1,94	X22	0,60	2,20	1,32
W23	2,64	2,20	5,81	X23	1,80	2,20	3,96
W24	0,55	2,20	1,21	X24	0,38	2,20	0,83
W25	0,28	2,20	0,61	X25	0,19	2,20	0,41
W26	1,71	2,20	3,75	X26	1,16	2,20	2,56
W27	0,44	2,20	0,97	X27	0,30	2,20	0,66
W28	2,31	2,20	5,08	X28	1,76	2,20	3,87
W29	1,49	2,20	3,27	X29	1,01	2,20	2,23
W30	0,61	2,20	1,33	X30	0,41	2,20	0,91
W31	0,77	2,20	1,69	X31	0,53	2,20	1,16
W32	3,47	2,20	7,62	X32	2,36	2,20	5,20
W33	2,04	2,20	4,48	X33	1,39	2,20	3,05
W34	0,83	2,20	1,82	X34	0,56	2,20	1,24
W35	1,05	2,20	2,30	X35	0,71	2,20	1,57
W36	1,16	2,20	2,54	X36	0,79	2,20	1,73
W37	0,66	2,20	1,45	X37	0,45	2,20	0,99
W38	2,20	2,20	4,84	X38	1,50	2,20	3,30
W39	1,76	2,20	3,87	X39	1,20	2,20	2,64
W40	4,90	2,20	10,78	X40	1,01	2,20	2,23

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
Y1	2,79	2,20	6,13	Z1	3,74	2,20	8,23
Y2	0,49	2,20	1,08	Z2	0,66	2,20	1,45
Y3	0,90	2,20	1,98	Z3	1,21	2,20	2,66
Y4	1,72	2,20	3,79	Z4	2,31	2,20	5,08
Y5	1,60	2,20	3,52	Z5	2,15	2,20	4,72
Y6	3,53	2,20	7,76	Z6	4,73	2,20	10,41
Y7	1,27	2,20	2,80	Z7	1,71	2,20	3,75
Y8	1,39	2,20	3,07	Z8	1,87	2,20	4,11
Y9	1,80	2,20	3,97	Z9	2,42	2,20	5,32
Y10	2,87	2,20	6,31	Z10	3,85	2,20	8,47
Y11	0,29	2,20	0,63	Z11	0,39	2,20	0,85
Y12	3,14	2,20	6,90	Z12	4,21	2,20	9,26
Y13	3,14	2,20	6,90	Z13	4,21	2,20	9,26
Y14	2,26	2,20	4,96	Z14	3,03	2,20	6,66
Y15	0,12	2,20	0,27	Z15	0,17	2,20	0,36
Y16	3,12	2,20	6,86	Z16	4,18	2,20	9,20
Y17	1,27	2,20	2,80	Z17	1,71	2,20	3,75
Y18	1,39	2,20	3,07	Z18	1,87	2,20	4,11
Y19	0,98	2,20	2,16	Z19	1,32	2,20	2,90
Y20	0,12	2,20	0,27	Z20	0,17	2,20	0,36
Y21	2,49	2,20	5,47	Z21	3,34	2,20	7,34
Y22	0,66	2,20	1,44	Z22	0,88	2,20	1,94
Y23	1,97	2,20	4,33	Z23	2,64	2,20	5,81
Y24	0,41	2,20	0,90	Z24	0,55	2,20	1,21
Y25	0,21	2,20	0,45	Z25	0,28	2,20	0,61
Y26	1,27	2,20	2,80	Z26	1,71	2,20	3,75
Y27	0,33	2,20	0,72	Z27	0,44	2,20	0,97
Y28	1,72	2,20	3,79	Z28	2,31	2,20	5,08
Y29	1,11	2,20	2,44	Z29	1,49	2,20	3,27
Y30	0,45	2,20	0,99	Z30	0,61	2,20	1,33
Y31	0,57	2,20	1,26	Z31	0,77	2,20	1,69
Y32	2,58	2,20	5,68	Z32	3,47	2,20	7,62
Y33	1,52	2,20	3,34	Z33	2,04	2,20	4,48
Y34	0,62	2,20	1,35	Z34	0,83	2,20	1,82
Y35	0,78	2,20	1,71	Z35	1,05	2,20	2,30
Y36	0,86	2,20	1,89	Z36	1,16	2,20	2,54
Y37	0,49	2,20	1,08	Z37	0,66	2,20	1,45
Y38	1,64	2,20	3,61	Z38	2,20	2,20	4,84
Y39	1,31	2,20	2,89	Z39	1,76	2,20	3,87
Y40	1,11	2,20	2,44	Z40	1,49	2,20	3,27

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
A1	1,70	2,80	4,76	B1	0,68	2,80	1,90
A2	0,30	2,80	0,84	B2	0,12	2,80	0,34
A3	0,55	2,80	1,54	B3	0,22	2,80	0,62
A4	1,05	2,80	2,94	B4	0,42	2,80	1,18
A5	0,98	2,80	2,73	B5	0,39	2,80	1,09
A6	2,15	2,80	6,02	B6	0,86	2,80	2,41
A7	0,78	2,80	2,17	B7	0,31	2,80	0,87
A8	0,85	2,80	2,38	B8	0,34	2,80	0,95
A9	1,10	2,80	3,08	B9	0,44	2,80	1,23
A10	1,75	2,80	4,90	B10	0,70	2,80	1,96
A11	0,18	2,80	0,49	B11	0,07	2,80	0,20
A12	1,91	2,80	5,36	B12	0,77	2,80	2,14
A13	1,91	2,80	5,36	B13	0,77	2,80	2,14
A14	1,38	2,80	3,85	B14	0,55	2,80	1,54
A15	0,08	2,80	0,21	B15	0,03	2,80	0,08
A16	1,90	2,80	5,32	B16	0,76	2,80	2,13
A17	0,78	2,80	2,17	B17	0,31	2,80	0,87
A18	0,85	2,80	2,38	B18	0,34	2,80	0,95
A19	0,60	2,80	1,68	B19	0,24	2,80	0,67
A20	0,08	2,80	0,21	B20	0,03	2,80	0,08
A21	1,52	2,80	4,25	B21	0,61	2,80	1,70
A22	0,40	2,80	1,12	B22	0,16	2,80	0,45
A23	1,20	2,80	3,36	B23	0,48	2,80	1,34
A24	0,25	2,80	0,70	B24	0,10	2,80	0,28
A25	0,13	2,80	0,35	B25	0,05	2,80	0,14
A26	0,78	2,80	2,17	B26	0,31	2,80	0,87
A27	0,20	2,80	0,56	B27	0,08	2,80	0,22
A28	1,05	2,80	2,94	B28	0,42	2,80	1,18
A29	0,68	2,80	1,89	B29	0,27	2,80	0,76
A30	0,28	2,80	0,77	B30	0,11	2,80	0,31
A31	0,35	2,80	0,98	B31	0,14	2,80	0,39
A32	1,58	2,80	4,41	B32	0,63	2,80	1,76
A33	0,93	2,80	2,59	B33	0,37	2,80	1,04
A34	3,75	2,80	10,50	B34	0,15	2,80	0,42
A35	0,48	2,80	1,33	B35	0,19	2,80	0,53
A36	0,53	2,80	1,47	B36	0,21	2,80	0,59
A37	0,30	2,80	0,84	B37	0,12	2,80	0,34
A38	1,00	2,80	2,80	B38	0,40	2,80	1,12
A39	0,80	2,80	2,24	B39	0,32	2,80	0,90
A40	0,68	2,80	1,89	B40	0,27	2,80	0,76

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
C1	1,02	2,80	2,86	D1	2,21	2,80	6,19
C2	0,18	2,80	0,50	D2	0,39	2,80	1,09
C3	0,33	2,80	0,92	D3	0,72	2,80	2,00
C4	0,63	2,80	1,76	D4	1,37	2,80	3,82
C5	0,59	2,80	1,64	D5	1,27	2,80	3,55
C6	1,29	2,80	3,61	D6	2,80	2,80	7,83
C7	0,47	2,80	1,30	D7	1,01	2,80	2,82
C8	0,51	2,80	1,43	D8	1,11	2,80	3,09
C9	0,66	2,80	1,85	D9	1,43	2,80	4,00
C10	1,05	2,80	2,94	D10	2,28	2,80	6,37
C11	0,11	2,80	0,29	D11	0,23	2,80	0,64
C12	1,15	2,80	3,21	D12	2,49	2,80	6,96
C13	1,15	2,80	3,21	D13	2,49	2,80	6,96
C14	0,83	2,80	2,31	D14	1,79	2,80	5,01
C15	0,05	2,80	0,13	D15	0,10	2,80	0,27
C16	1,14	2,80	3,19	D16	2,47	2,80	6,92
C17	0,47	2,80	1,30	D17	1,01	2,80	2,82
C18	0,51	2,80	1,43	D18	1,11	2,80	3,09
C19	0,36	2,80	1,01	D19	0,78	2,80	2,18
C20	0,05	2,80	0,13	D20	0,10	2,80	0,27
C21	0,91	2,80	2,55	D21	1,97	2,80	5,52
C22	0,24	2,80	0,67	D22	0,52	2,80	1,46
C23	0,72	2,80	2,02	D23	1,56	2,80	4,37
C24	0,15	2,80	0,42	D24	0,33	2,80	0,91
C25	0,08	2,80	0,21	D25	0,16	2,80	0,46
C26	0,47	2,80	1,30	D26	1,01	2,80	2,82
C27	0,12	2,80	0,34	D27	0,26	2,80	0,73
C28	0,63	2,80	1,76	D28	1,37	2,80	3,82
C29	0,41	2,80	1,13	D29	0,88	2,80	2,46
C30	0,17	2,80	0,46	D30	0,36	2,80	1,00
C31	0,21	2,80	0,59	D31	0,46	2,80	1,27
C32	0,95	2,80	2,65	D32	2,05	2,80	5,73
C33	0,56	2,80	1,55	D33	1,20	2,80	3,37
C34	0,23	2,80	0,63	D34	0,49	2,80	1,37
C35	0,29	2,80	0,80	D35	0,62	2,80	1,73
C36	0,32	2,80	0,88	D36	0,68	2,80	1,91
C37	0,18	2,80	0,50	D37	0,39	2,80	1,09
C38	0,60	2,80	1,68	D38	1,30	2,80	3,64
C39	0,48	2,80	1,34	D39	1,04	2,80	2,91
C40	0,41	2,80	1,13	D40	0,88	2,80	2,46

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
E1	3,74	2,80	10,47	F1	1,36	2,80	3,81
E2	0,66	2,80	1,85	F2	0,24	2,80	0,67
E3	1,21	2,80	3,39	F3	0,44	2,80	1,23
E4	2,31	2,80	6,47	F4	0,84	2,80	2,35
E5	2,15	2,80	6,01	F5	0,78	2,80	2,18
E6	4,73	2,80	13,24	F6	1,72	2,80	4,82
E7	1,71	2,80	4,77	F7	0,62	2,80	1,74
E8	1,87	2,80	5,24	F8	0,68	2,80	1,90
E9	2,42	2,80	6,78	F9	0,88	2,80	2,46
E10	3,85	2,80	10,78	F10	1,40	2,80	3,92
E11	0,39	2,80	1,08	F11	0,14	2,80	0,39
E12	4,21	2,80	11,78	F12	1,53	2,80	4,28
E13	4,21	2,80	11,78	F13	1,53	2,80	4,28
E14	3,03	2,80	8,47	F14	1,10	2,80	3,08
E15	0,17	2,80	0,46	F15	0,06	2,80	0,17
E16	4,18	2,80	11,70	F16	1,52	2,80	4,26
E17	1,71	2,80	4,77	F17	0,62	2,80	1,74
E18	1,87	2,80	5,24	F18	0,68	2,80	1,90
E19	1,32	2,80	3,70	F19	0,48	2,80	1,34
E20	0,17	2,80	0,46	F20	0,06	2,80	0,17
E21	3,34	2,80	9,34	F21	1,21	2,80	3,40
E22	0,88	2,80	2,46	F22	0,32	2,80	0,90
E23	2,64	2,80	7,39	F23	0,96	2,80	2,69
E24	0,55	2,80	1,54	F24	0,20	2,80	0,56
E25	0,28	2,80	0,77	F25	0,10	2,80	0,28
E26	1,71	2,80	4,77	F26	0,62	2,80	1,74
E27	0,44	2,80	1,23	F27	0,16	2,80	0,45
E28	2,31	2,80	6,47	F28	0,84	2,80	2,35
E29	1,49	2,80	4,16	F29	0,54	2,80	1,51
E30	0,61	2,80	1,69	F30	0,22	2,80	0,62
E31	0,77	2,80	2,16	F31	0,28	2,80	0,78
E32	3,47	2,80	9,70	F32	1,26	2,80	3,53
E33	2,04	2,80	5,70	F33	0,74	2,80	2,07
E34	0,83	2,80	2,31	F34	0,30	2,80	0,84
E35	1,05	2,80	2,93	F35	0,38	2,80	1,06
E36	1,16	2,80	3,23	F36	0,42	2,80	1,18
E37	0,66	2,80	1,85	F37	0,24	2,80	0,67
E38	2,20	2,80	6,16	F38	0,80	2,80	2,24
E39	1,76	2,80	4,93	F39	0,64	2,80	1,79
E40	1,49	2,80	4,16	F40	0,54	2,80	1,51

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
G1	0,85	2,80	2,38	H1	0,75	2,80	2,09
G2	0,15	2,80	0,42	H2	0,13	2,80	0,37
G3	0,28	2,80	0,77	H3	0,24	2,80	0,68
G4	0,53	2,80	1,47	H4	0,46	2,80	1,29
G5	0,49	2,80	1,37	H5	0,43	2,80	1,20
G6	1,08	2,80	3,01	H6	0,95	2,80	2,65
G7	0,39	2,80	1,09	H7	0,34	2,80	0,95
G8	0,43	2,80	1,19	H8	0,37	2,80	1,05
G9	0,55	2,80	1,54	H9	0,48	2,80	1,36
G10	0,88	2,80	2,45	H10	0,77	2,80	2,16
G11	0,09	2,80	0,25	H11	0,08	2,80	0,22
G12	0,96	2,80	2,68	H12	0,84	2,80	2,36
G13	0,96	2,80	2,68	H13	0,84	2,80	2,36
G14	0,69	2,80	1,93	H14	0,61	2,80	1,69
G15	0,04	2,80	0,11	H15	0,03	2,80	0,09
G16	0,95	2,80	2,66	H16	0,84	2,80	2,34
G17	0,39	2,80	1,09	H17	0,34	2,80	0,95
G18	0,43	2,80	1,19	H18	0,37	2,80	1,05
G19	0,30	2,80	0,84	H19	0,26	2,80	0,74
G20	0,04	2,80	0,11	H20	0,03	2,80	0,09
G21	0,76	2,80	2,12	H21	0,67	2,80	1,87
G22	0,20	2,80	0,56	H22	0,18	2,80	0,49
G23	0,60	2,80	1,68	H23	0,53	2,80	1,48
G24	0,13	2,80	0,35	H24	0,11	2,80	0,31
G25	0,06	2,80	0,18	H25	0,06	2,80	0,15
G26	0,39	2,80	1,09	H26	0,34	2,80	0,95
G27	0,10	2,80	0,28	H27	0,09	2,80	0,25
G28	0,53	2,80	1,47	H28	0,46	2,80	1,29
G29	0,34	2,80	0,95	H29	0,30	2,80	0,83
G30	0,14	2,80	0,39	H30	0,12	2,80	0,34
G31	0,18	2,80	0,49	H31	0,15	2,80	0,43
G32	0,79	2,80	2,21	H32	0,69	2,80	1,94
G33	0,46	2,80	1,30	H33	0,41	2,80	1,14
G34	0,19	2,80	0,53	H34	0,17	2,80	0,46
G35	0,24	2,80	0,67	H35	0,21	2,80	0,59
G36	0,26	2,80	0,74	H36	0,23	2,80	0,65
G37	0,15	2,80	0,42	H37	0,13	2,80	0,37
G38	0,50	2,80	1,40	H38	0,44	2,80	1,23
G39	0,40	2,80	1,12	H39	0,35	2,80	0,99
G40	0,34	2,80	0,95	H40	0,30	2,80	0,83

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
I1	1,29	2,80	3,62	J1	1,09	2,80	3,05
I2	0,23	2,80	0,64	J2	0,19	2,80	0,54
I3	0,42	2,80	1,17	J3	0,35	2,80	0,99
I4	0,80	2,80	2,23	J4	0,67	2,80	1,88
I5	0,74	2,80	2,07	J5	0,62	2,80	1,75
I6	1,63	2,80	4,58	J6	1,38	2,80	3,85
I7	0,59	2,80	1,65	J7	0,50	2,80	1,39
I8	0,65	2,80	1,81	J8	0,54	2,80	1,52
I9	0,84	2,80	2,34	J9	0,70	2,80	1,97
I10	1,33	2,80	3,72	J10	1,12	2,80	3,14
I11	0,13	2,80	0,37	J11	0,11	2,80	0,31
I12	1,45	2,80	4,07	J12	1,22	2,80	3,43
I13	1,45	2,80	4,07	J13	1,22	2,80	3,43
I14	1,05	2,80	2,93	J14	0,88	2,80	2,46
I15	0,06	2,80	0,16	J15	0,05	2,80	0,13
I16	1,44	2,80	4,04	J16	1,22	2,80	3,40
I17	0,59	2,80	1,65	J17	0,50	2,80	1,39
I18	0,65	2,80	1,81	J18	0,54	2,80	1,52
I19	0,46	2,80	1,28	J19	0,38	2,80	1,08
I20	0,06	2,80	0,16	J20	0,05	2,80	0,13
I21	1,15	2,80	3,23	J21	0,97	2,80	2,72
I22	0,30	2,80	0,85	J22	0,26	2,80	0,72
I23	0,91	2,80	2,55	J23	0,77	2,80	2,15
I24	0,19	2,80	0,53	J24	0,16	2,80	0,45
I25	0,10	2,80	0,27	J25	0,08	2,80	0,22
I26	0,59	2,80	1,65	J26	0,50	2,80	1,39
I27	0,15	2,80	0,43	J27	0,13	2,80	0,36
I28	0,80	2,80	2,23	J28	0,67	2,80	1,88
I29	0,51	2,80	1,44	J29	0,43	2,80	1,21
I30	0,21	2,80	0,59	J30	0,18	2,80	0,49
I31	0,27	2,80	0,74	J31	0,22	2,80	0,63
I32	1,20	2,80	3,35	J32	1,01	2,80	2,82
I33	0,70	2,80	1,97	J33	0,59	2,80	1,66
I34	0,29	2,80	0,80	J34	0,24	2,80	0,67
I35	0,36	2,80	1,01	J35	0,30	2,80	0,85
I36	0,40	2,80	1,12	J36	0,34	2,80	0,94
I37	0,23	2,80	0,64	J37	0,19	2,80	0,54
I38	0,76	2,80	2,13	J38	0,64	2,80	1,79
I39	0,61	2,80	1,70	J39	0,51	2,80	1,43
I40	0,51	2,80	1,44	J40	0,43	2,80	1,21

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
k1	1,53	2,80	4,28	l1	2,04	2,80	5,71
k2	0,27	2,80	0,76	l2	0,36	2,80	1,01
k3	0,50	2,80	1,39	l3	0,66	2,80	1,85
k4	0,95	2,80	2,65	l4	1,26	2,80	3,53
k5	0,88	2,80	2,46	l5	1,17	2,80	3,28
k6	1,94	2,80	5,42	l6	2,58	2,80	7,22
k7	0,70	2,80	1,95	l7	0,93	2,80	2,60
k8	0,77	2,80	2,14	l8	1,02	2,80	2,86
k9	0,99	2,80	2,77	l9	1,32	2,80	3,70
k10	1,58	2,80	4,41	l10	2,10	2,80	5,88
k11	0,16	2,80	0,44	l11	0,21	2,80	0,59
k12	1,72	2,80	4,82	l12	2,30	2,80	6,43
k13	1,72	2,80	4,82	l13	2,30	2,80	6,43
k14	1,24	2,80	3,47	l14	1,65	2,80	4,62
k15	0,07	2,80	0,19	l15	0,09	2,80	0,25
k16	1,71	2,80	4,79	l16	2,28	2,80	6,38
k17	0,70	2,80	1,95	l17	0,93	2,80	2,60
k18	0,77	2,80	2,14	l18	1,02	2,80	2,86
k19	0,54	2,80	1,51	l19	0,72	2,80	2,02
k20	0,07	2,80	0,19	l20	0,09	2,80	0,25
k21	1,37	2,80	3,82	l21	1,82	2,80	5,10
k22	0,36	2,80	1,01	l22	0,48	2,80	1,34
k23	1,08	2,80	3,02	l23	1,44	2,80	4,03
k24	0,23	2,80	0,63	l24	0,30	2,80	0,84
k25	0,11	2,80	0,32	l25	0,15	2,80	0,42
k26	0,70	2,80	1,95	l26	0,93	2,80	2,60
k27	0,18	2,80	0,50	l27	0,24	2,80	0,67
k28	0,95	2,80	2,65	l28	1,26	2,80	3,53
k29	0,61	2,80	1,70	l29	0,81	2,80	2,27
k30	0,25	2,80	0,69	l30	0,33	2,80	0,92
k31	0,32	2,80	0,88	l31	0,42	2,80	1,18
k32	1,42	2,80	3,97	l32	1,89	2,80	5,29
k33	0,83	2,80	2,33	l33	1,11	2,80	3,11
k34	0,34	2,80	0,95	l34	0,45	2,80	1,26
k35	0,43	2,80	1,20	l35	0,57	2,80	1,60
k36	0,47	2,80	1,32	l36	0,63	2,80	1,76
k37	0,27	2,80	0,76	l37	0,36	2,80	1,01
k38	0,90	2,80	2,52	l38	1,20	2,80	3,36
k39	0,72	2,80	2,02	l39	0,96	2,80	2,69
k40	0,61	2,80	1,70	l40	0,81	2,80	2,27

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
M1	1,87	2,80	5,24	N1	3,06	2,80	8,57
M2	0,33	2,80	0,92	N2	0,54	2,80	1,51
M3	0,61	2,80	1,69	N3	0,99	2,80	2,77
M4	1,16	2,80	3,23	N4	1,89	2,80	5,29
M5	1,07	2,80	3,00	N5	1,76	2,80	4,91
M6	2,37	2,80	6,62	N6	3,87	2,80	10,84
M7	0,85	2,80	2,39	N7	1,40	2,80	3,91
M8	0,94	2,80	2,62	N8	1,53	2,80	4,28
M9	1,21	2,80	3,39	N9	1,98	2,80	5,54
M10	1,93	2,80	5,39	N10	3,15	2,80	8,82
M11	0,19	2,80	0,54	N11	0,32	2,80	0,88
M12	2,10	2,80	5,89	N12	3,44	2,80	9,64
M13	2,10	2,80	5,89	N13	3,44	2,80	9,64
M14	1,51	2,80	4,24	N14	2,48	2,80	6,93
M15	0,08	2,80	0,23	N15	0,14	2,80	0,38
M16	2,09	2,80	5,85	N16	3,42	2,80	9,58
M17	0,85	2,80	2,39	N17	1,40	2,80	3,91
M18	0,94	2,80	2,62	N18	1,53	2,80	4,28
M19	0,66	2,80	1,85	N19	1,08	2,80	3,02
M20	0,08	2,80	0,23	N20	0,14	2,80	0,38
M21	1,67	2,80	4,67	N21	2,73	2,80	7,64
M22	0,44	2,80	1,23	N22	0,72	2,80	2,02
M23	1,32	2,80	3,70	N23	2,16	2,80	6,05
M24	0,28	2,80	0,77	N24	0,45	2,80	1,26
M25	0,14	2,80	0,39	N25	0,23	2,80	0,63
M26	0,85	2,80	2,39	N26	1,40	2,80	3,91
M27	0,22	2,80	0,62	N27	0,36	2,80	1,01
M28	1,16	2,80	3,23	N28	1,89	2,80	5,29
M29	0,74	2,80	2,08	N29	1,22	2,80	3,40
M30	0,30	2,80	0,85	N30	0,50	2,80	1,39
M31	0,39	2,80	1,08	N31	0,63	2,80	1,76
M32	1,73	2,80	4,85	N32	2,84	2,80	7,94
M33	1,02	2,80	2,85	N33	1,67	2,80	4,66
M34	0,41	2,80	1,16	N34	0,68	2,80	1,89
M35	0,52	2,80	1,46	N35	0,86	2,80	2,39
M36	0,58	2,80	1,62	N36	0,95	2,80	2,65
M37	0,33	2,80	0,92	N37	0,54	2,80	1,51
M38	1,10	2,80	3,08	N38	1,80	2,80	5,04
M39	0,88	2,80	2,46	N39	1,44	2,80	4,03
M40	0,74	2,80	2,08	N40	1,22	2,80	3,40

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
O1	1,26	2,80	3,52	P1	1,53	2,80	4,28
O2	0,22	2,80	0,62	P2	0,27	2,80	0,76
O3	0,41	2,80	1,14	P3	0,50	2,80	1,39
O4	0,78	2,80	2,18	P4	0,95	2,80	2,65
O5	0,72	2,80	2,02	P5	0,88	2,80	2,46
O6	1,59	2,80	4,45	P6	1,94	2,80	5,42
O7	0,57	2,80	1,61	P7	0,70	2,80	1,95
O8	0,63	2,80	1,76	P8	0,77	2,80	2,14
O9	0,81	2,80	2,28	P9	0,99	2,80	2,77
O10	1,30	2,80	3,63	P10	1,58	2,80	4,41
O11	0,13	2,80	0,36	P11	0,16	2,80	0,44
O12	1,42	2,80	3,96	P12	1,72	2,80	4,82
O13	1,42	2,80	3,96	P13	1,72	2,80	4,82
O14	1,02	2,80	2,85	P14	1,24	2,80	3,47
O15	0,06	2,80	0,16	P15	0,07	2,80	0,19
O16	1,41	2,80	3,94	P16	1,71	2,80	4,79
O17	0,57	2,80	1,61	P17	0,70	2,80	1,95
O18	0,63	2,80	1,76	P18	0,77	2,80	2,14
O19	0,44	2,80	1,24	P19	0,54	2,80	1,51
O20	0,06	2,80	0,16	P20	0,07	2,80	0,19
O21	1,12	2,80	3,14	P21	1,37	2,80	3,82
O22	0,30	2,80	0,83	P22	0,36	2,80	1,01
O23	0,89	2,80	2,49	P23	1,08	2,80	3,02
O24	0,19	2,80	0,52	P24	0,23	2,80	0,63
O25	0,09	2,80	0,26	P25	0,11	2,80	0,32
O26	0,57	2,80	1,61	P26	0,70	2,80	1,95
O27	0,15	2,80	0,41	P27	0,18	2,80	0,50
O28	0,78	2,80	2,18	P28	0,95	2,80	2,65
O29	0,50	2,80	1,40	P29	0,60	2,80	1,69
O30	0,20	2,80	0,57	P30	0,25	2,80	0,69
O31	0,26	2,80	0,73	P31	0,32	2,80	0,88
O32	1,17	2,80	3,26	P32	1,42	2,80	3,97
O33	0,68	2,80	1,92	P33	0,83	2,80	2,33
O34	0,28	2,80	0,78	P34	0,34	2,80	0,95
O35	0,35	2,80	0,98	P35	0,43	2,80	1,20
O36	0,39	2,80	1,09	P36	0,47	2,80	1,32
O37	0,22	2,80	0,62	P37	0,27	2,80	0,76
O38	0,74	2,80	2,07	P38	0,90	2,80	2,52
O39	0,59	2,80	1,66	P39	0,72	2,80	2,02
O40	0,50	2,80	1,40	P40	0,61	2,80	1,70

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
Q1	2,38	2,80	6,66	R1	1,16	2,80	3,24
Q2	0,42	2,80	1,18	R2	0,20	2,80	0,57
Q3	0,77	2,80	2,16	R3	0,37	2,80	1,05
Q4	1,47	2,80	4,12	R4	0,71	2,80	2,00
Q5	1,37	2,80	3,82	R5	0,66	2,80	1,86
Q6	3,01	2,80	8,43	R6	1,46	2,80	4,09
Q7	1,09	2,80	3,04	R7	0,53	2,80	1,48
Q8	1,19	2,80	3,33	R8	0,58	2,80	1,62
Q9	1,54	2,80	4,31	R9	0,75	2,80	2,09
Q10	2,45	2,80	6,86	R10	1,12	2,80	3,13
Q11	0,25	2,80	0,69	R11	0,12	2,80	0,33
Q12	2,68	2,80	7,50	R12	1,30	2,80	3,64
Q13	2,68	2,80	7,50	R13	1,30	2,80	3,64
Q14	1,93	2,80	5,39	R14	0,94	2,80	2,62
Q15	0,11	2,80	0,29	R15	0,05	2,80	0,14
Q16	2,66	2,80	7,45	R16	1,29	2,80	3,62
Q17	1,09	2,80	3,04	R17	0,53	2,80	1,48
Q18	1,19	2,80	3,33	R18	0,58	2,80	1,62
Q19	0,84	2,80	2,35	R19	0,41	2,80	1,14
Q20	0,11	2,80	0,29	R20	0,05	2,80	0,14
Q21	2,12	2,80	5,95	R21	1,03	2,80	2,89
Q22	0,56	2,80	1,57	R22	0,27	2,80	0,76
Q23	1,68	2,80	4,70	R23	0,82	2,80	2,28
Q24	0,35	2,80	0,98	R24	0,17	2,80	0,48
Q25	0,18	2,80	0,49	R25	0,09	2,80	0,24
Q26	1,09	2,80	3,04	R26	0,53	2,80	1,48
Q27	0,28	2,80	0,78	R27	0,14	2,80	0,38
Q28	1,47	2,80	4,12	R28	0,71	2,80	2,00
Q29	0,95	2,80	2,65	R29	0,46	2,80	1,29
Q30	0,39	2,80	1,08	R30	0,19	2,80	0,52
Q31	0,49	2,80	1,37	R31	0,24	2,80	0,67
Q32	2,21	2,80	6,17	R32	1,07	2,80	3,00
Q33	1,30	2,80	3,63	R33	0,63	2,80	1,76
Q34	0,53	2,80	1,47	R34	0,26	2,80	0,71
Q35	0,67	2,80	1,86	R35	0,32	2,80	0,90
Q36	0,74	2,80	2,06	R36	0,36	2,80	1,00
Q37	0,42	2,80	1,18	R37	0,20	2,80	0,57
Q38	1,40	2,80	3,92	R38	0,68	2,80	1,90
Q39	1,12	2,80	3,14	R39	0,54	2,80	1,52
Q40	0,95	2,80	2,65	R40	0,46	2,80	1,29

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
S1	3,33	2,80	9,33	T1	2,11	2,80	5,90
S2	0,59	2,80	1,65	T2	0,37	2,80	1,04
S3	1,08	2,80	3,02	T3	0,68	2,80	1,91
S4	2,06	2,80	5,76	T4	1,30	2,80	3,65
S5	1,91	2,80	5,35	T5	1,21	2,80	3,39
S6	4,21	2,80	11,80	T6	2,67	2,80	7,46
S7	1,52	2,80	4,25	T7	0,96	2,80	2,69
S8	1,67	2,80	4,66	T8	1,05	2,80	2,95
S9	2,16	2,80	6,04	T9	1,36	2,80	3,82
S10	3,43	2,80	9,60	T10	2,17	2,80	6,08
S11	0,34	2,80	0,96	T11	0,22	2,80	0,61
S12	3,75	2,80	10,50	T12	2,37	2,80	6,64
S13	3,75	2,80	10,50	T13	2,37	2,80	6,64
S14	2,70	2,80	7,55	T14	1,71	2,80	4,77
S15	0,15	2,80	0,41	T15	0,09	2,80	0,26
S16	3,72	2,80	10,43	T16	2,36	2,80	6,60
S17	1,52	2,80	4,25	T17	0,96	2,80	2,69
S18	1,67	2,80	4,66	T18	1,05	2,80	2,95
S19	1,18	2,80	3,29	T19	0,74	2,80	2,08
S20	0,15	2,80	0,41	T20	0,09	2,80	0,26
S21	2,97	2,80	8,32	T21	1,88	2,80	5,27
S22	0,78	2,80	2,20	T22	0,50	2,80	1,39
S23	2,35	2,80	6,59	T23	1,49	2,80	4,17
S24	0,49	2,80	1,37	T24	0,31	2,80	0,87
S25	0,25	2,80	0,69	T25	0,16	2,80	0,43
S26	1,52	2,80	4,25	T26	0,96	2,80	2,69
S27	0,39	2,80	1,10	T27	0,25	2,80	0,69
S28	2,06	2,80	5,76	T28	1,30	2,80	3,65
S29	1,32	2,80	3,70	T29	0,84	2,80	2,34
S30	0,54	2,80	1,51	T30	0,34	2,80	0,95
S31	0,69	2,80	1,92	T31	0,43	2,80	1,22
S32	3,09	2,80	8,64	T32	1,95	2,80	5,47
S33	1,81	2,80	5,08	T33	1,15	2,80	3,21
S34	0,74	2,80	2,06	T34	0,47	2,80	1,30
S35	0,93	2,80	2,61	T35	0,59	2,80	1,65
S36	1,03	2,80	2,88	T36	0,65	2,80	1,82
S37	0,59	2,80	1,65	T37	0,37	2,80	1,04
S38	1,96	2,80	5,49	T38	1,24	2,80	3,47
S39	1,57	2,80	4,39	T39	0,99	2,80	2,78
S40	1,32	2,80	3,70	T40	0,84	2,80	2,34

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
U1	1,43	2,80	4,00	V1	1,70	2,80	4,76
U2	0,25	2,80	0,71	V2	0,30	2,80	0,84
U3	0,46	2,80	1,29	V3	0,55	2,80	1,54
U4	0,88	2,80	2,47	V4	1,05	2,80	2,94
U5	0,82	2,80	2,29	V5	0,98	2,80	2,73
U6	1,81	2,80	5,06	V6	2,15	2,80	6,02
U7	0,65	2,80	1,82	V7	0,78	2,80	2,17
U8	0,71	2,80	2,00	V8	0,85	2,80	2,38
U9	0,92	2,80	2,59	V9	1,10	2,80	3,08
U10	1,47	2,80	4,12	V10	1,75	2,80	4,90
U11	0,15	2,80	0,41	V11	0,18	2,80	0,49
U12	1,61	2,80	4,50	V12	1,91	2,80	5,36
U13	1,61	2,80	4,50	V13	1,91	2,80	5,36
U14	1,16	2,80	3,23	V14	1,38	2,80	3,85
U15	0,06	2,80	0,18	V15	0,08	2,80	0,21
U16	1,60	2,80	4,47	V16	1,90	2,80	5,32
U17	0,65	2,80	1,82	V17	0,78	2,80	2,17
U18	0,71	2,80	2,00	V18	0,85	2,80	2,38
U19	0,50	2,80	1,41	V19	0,60	2,80	1,68
U20	0,06	2,80	0,18	V20	0,08	2,80	0,21
U21	1,27	2,80	3,57	V21	1,52	2,80	4,25
U22	0,34	2,80	0,94	V22	0,40	2,80	1,12
U23	1,01	2,80	2,82	V23	1,20	2,80	3,36
U24	0,21	2,80	0,59	V24	0,25	2,80	0,70
U25	0,11	2,80	0,29	V25	0,13	2,80	0,35
U26	0,65	2,80	1,82	V26	0,78	2,80	2,17
U27	0,17	2,80	0,47	V27	0,20	2,80	0,56
U28	0,88	2,80	2,47	V28	1,05	2,80	2,94
U29	0,57	2,80	1,59	V29	0,68	2,80	1,89
U30	0,23	2,80	0,65	V30	0,28	2,80	0,77
U31	0,29	2,80	0,82	V31	0,35	2,80	0,98
U32	1,32	2,80	3,70	V32	1,58	2,80	4,41
U33	0,78	2,80	2,18	V33	0,93	2,80	2,59
U34	0,32	2,80	0,88	V34	0,38	2,80	1,05
U35	0,40	2,80	1,12	V35	0,48	2,80	1,33
U36	0,44	2,80	1,23	V36	0,53	2,80	1,47
U37	0,25	2,80	0,71	V37	0,30	2,80	0,84
U38	0,84	2,80	2,35	V38	1,00	2,80	2,80
U39	0,67	2,80	1,88	V39	0,80	2,80	2,24
U40	0,57	2,80	1,59	V40	0,68	2,80	1,89

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
W1	3,74	2,80	10,47	X1	2,55	2,80	7,14
W2	0,66	2,80	1,85	X2	0,45	2,80	1,26
W3	1,21	2,80	3,39	X3	0,83	2,80	2,31
W4	2,31	2,80	6,47	X4	1,58	2,80	4,41
W5	2,15	2,80	6,01	X5	1,46	2,80	4,10
W6	4,73	2,80	13,24	X6	3,23	2,80	9,03
W7	1,71	2,80	4,77	X7	1,16	2,80	3,26
W8	1,87	2,80	5,24	X8	1,28	2,80	3,57
W9	2,42	2,80	6,78	X9	1,65	2,80	4,62
W10	3,85	2,80	10,78	X10	2,63	2,80	7,35
W11	0,39	2,80	1,08	X11	0,26	2,80	0,74
W12	4,21	2,80	11,78	X12	2,87	2,80	8,03
W13	4,21	2,80	11,78	X13	2,87	2,80	8,03
W14	3,03	2,80	8,47	X14	2,06	2,80	5,78
W15	0,17	2,80	0,46	X15	0,11	2,80	0,32
W16	4,18	2,80	11,70	X16	2,85	2,80	7,98
W17	1,71	2,80	4,77	X17	1,16	2,80	3,26
W18	1,87	2,80	5,24	X18	1,28	2,80	3,57
W19	1,32	2,80	3,70	X19	0,90	2,80	2,52
W20	0,17	2,80	0,46	X20	0,11	2,80	0,32
W21	3,34	2,80	9,34	X21	2,28	2,80	6,37
W22	0,88	2,80	2,46	X22	0,60	2,80	1,68
W23	2,64	2,80	7,39	X23	1,80	2,80	5,04
W24	0,55	2,80	1,54	X24	0,38	2,80	1,05
W25	0,28	2,80	0,77	X25	0,19	2,80	0,53
W26	1,71	2,80	4,77	X26	1,16	2,80	3,26
W27	0,44	2,80	1,23	X27	0,30	2,80	0,84
W28	2,31	2,80	6,47	X28	1,76	2,80	4,92
W29	1,49	2,80	4,16	X29	1,01	2,80	2,84
W30	0,61	2,80	1,69	X30	0,41	2,80	1,16
W31	0,77	2,80	2,16	X31	0,53	2,80	1,47
W32	3,47	2,80	9,70	X32	2,36	2,80	6,62
W33	2,04	2,80	5,70	X33	1,39	2,80	3,89
W34	0,83	2,80	2,31	X34	0,56	2,80	1,58
W35	1,05	2,80	2,93	X35	0,71	2,80	2,00
W36	1,16	2,80	3,23	X36	0,79	2,80	2,21
W37	0,66	2,80	1,85	X37	0,45	2,80	1,26
W38	2,20	2,80	6,16	X38	1,50	2,80	4,20
W39	1,76	2,80	4,93	X39	1,20	2,80	3,36
W40	4,90	2,80	13,72	X40	1,01	2,80	2,84

Famílias verticais		Família horizontal	Volume	Famílias verticais		Família horizontal	Volume
Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)	Célula	Área (m ²)	Espaçamento (m)	(m ³)
Y1	2,79	2,80	7,81	Z1	3,74	2,80	10,47
Y2	0,49	2,80	1,38	Z2	0,66	2,80	1,85
Y3	0,90	2,80	2,53	Z3	1,21	2,80	3,39
Y4	1,72	2,80	4,82	Z4	2,31	2,80	6,47
Y5	1,60	2,80	4,48	Z5	2,15	2,80	6,01
Y6	3,53	2,80	9,87	Z6	4,73	2,80	13,24
Y7	1,27	2,80	3,56	Z7	1,71	2,80	4,77
Y8	1,39	2,80	3,90	Z8	1,87	2,80	5,24
Y9	1,80	2,80	5,05	Z9	2,42	2,80	6,78
Y10	2,87	2,80	8,04	Z10	3,85	2,80	10,78
Y11	0,29	2,80	0,80	Z11	0,39	2,80	1,08
Y12	3,14	2,80	8,78	Z12	4,21	2,80	11,78
Y13	3,14	2,80	8,78	Z13	4,21	2,80	11,78
Y14	2,26	2,80	6,31	Z14	3,03	2,80	8,47
Y15	0,12	2,80	0,34	Z15	0,17	2,80	0,46
Y16	3,12	2,80	8,72	Z16	4,18	2,80	11,70
Y17	1,27	2,80	3,56	Z17	1,71	2,80	4,77
Y18	1,39	2,80	3,90	Z18	1,87	2,80	5,24
Y19	0,98	2,80	2,76	Z19	1,32	2,80	3,70
Y20	0,12	2,80	0,34	Z20	0,17	2,80	0,46
Y21	2,49	2,80	6,97	Z21	3,34	2,80	9,34
Y22	0,66	2,80	1,84	Z22	0,88	2,80	2,46
Y23	1,97	2,80	5,51	Z23	2,64	2,80	7,39
Y24	0,41	2,80	1,15	Z24	0,55	2,80	1,54
Y25	0,21	2,80	0,57	Z25	0,28	2,80	0,77
Y26	1,27	2,80	3,56	Z26	1,71	2,80	4,77
Y27	0,33	2,80	0,92	Z27	0,44	2,80	1,23
Y28	1,72	2,80	4,82	Z28	2,31	2,80	6,47
Y29	1,11	2,80	3,10	Z29	1,49	2,80	4,16
Y30	0,45	2,80	1,26	Z30	0,61	2,80	1,69
Y31	0,57	2,80	1,61	Z31	0,77	2,80	2,16
Y32	2,58	2,80	7,23	Z32	3,47	2,80	9,70
Y33	1,52	2,80	4,25	Z33	2,04	2,80	5,70
Y34	0,62	2,80	1,72	Z34	0,83	2,80	2,31
Y35	0,78	2,80	2,18	Z35	1,05	2,80	2,93
Y36	0,86	2,80	2,41	Z36	1,16	2,80	3,23
Y37	0,49	2,80	1,38	Z37	0,66	2,80	1,85
Y38	1,64	2,80	4,59	Z38	2,20	2,80	6,16
Y39	1,31	2,80	3,67	Z39	1,76	2,80	4,93
Y40	1,11	2,80	3,10	Z40	1,49	2,80	4,16

Anexo 6 – Curvas granulométricas resultantes das pegas de fogo

Este anexo pretende mostrar o tratamento das fotos do material resultante utilizando o programa informático Wipfrag.

As curvas granulométricas resultantes para cada uma das pegas de fogo analisadas basearam-se nas seguintes fotografias digitais tiradas ao material da pilha resultante. Foram tiradas fotos representativas da pilha de material logo após o reventamento (à superfície) e do interior da pilha de material (interior) depois de removido algum material pelo equipamento de carregamento.

Para cada uma das fotos foi criada uma curva granulométrica independente, a junção de todas as curvas referentes a uma dada pega de fogo, com recurso ao programa Wipfrag, dá origem a uma curva representativa do material resultante dessa pega.

As seguintes pegas de fogo foram consideradas como se demonstra na seguinte tabela.

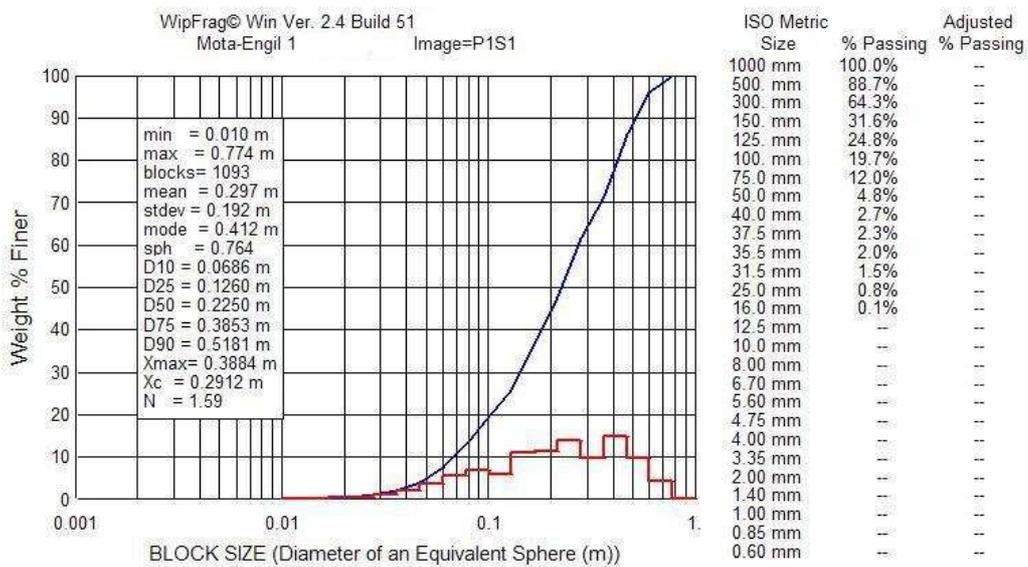
Tabela 1 - Parâmetros das pegas consideradas

Reventamento	Tipo de reventamento	Data de realização	Bancada	Tipo de granito	Relação V * E (m)	Carga específica (kg/m ³)
1. ^a	Plano tipo 1	20-03-2009	5	Azul	2,5 * 3,0	0,46
2. ^a	Plano tipo 2	28-05-2009	1	Amarelo	2,5 * 3,0	0,47
3. ^a	Plano tipo A	24-06-2009	4	Azul	2,0 * 3,0	0,579
4. ^a	Plano tipo 2	19-08-2009	1	Amarelo	2,5 * 3,0	0,446
5. ^a	Plano tipo B	09-09-2009	5	Azul	2,0 * 2,5	0,695
6. ^a	Plano tipo A	19-02-2010	3	Azul	2,0 * 3,0	0,52

Rebentamento do plano tipo 1

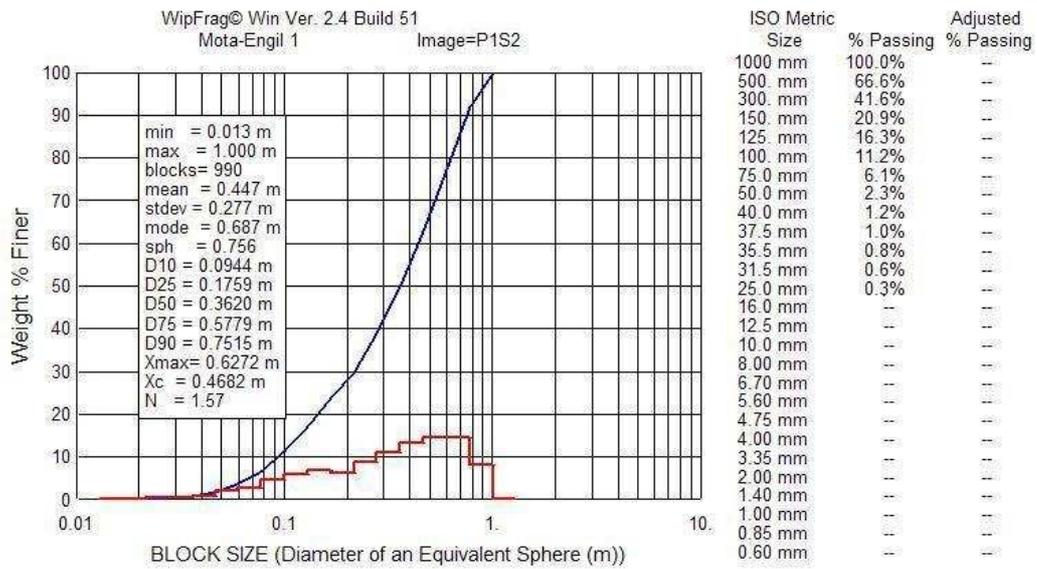
Rebentamento realizado no dia 20-03-2009 na bancada n.º 5 (granito azul W1)

As seguintes duas imagens foram consideradas como representativas do material resultante na superfície do rebentamento.



Rebentamento do plano tipo 1

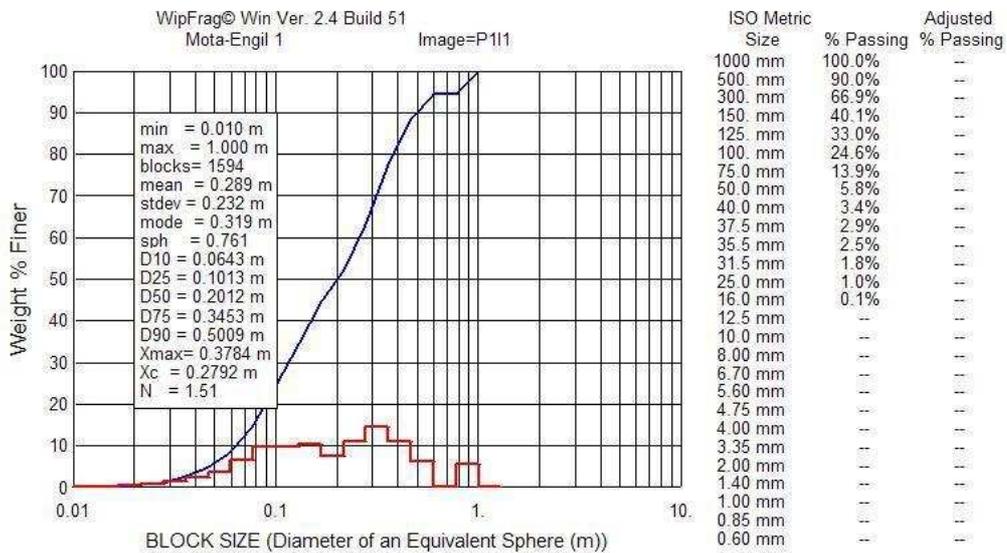
Rebentamento realizado no dia 20-03-2009



Rebentamento do plano tipo 1

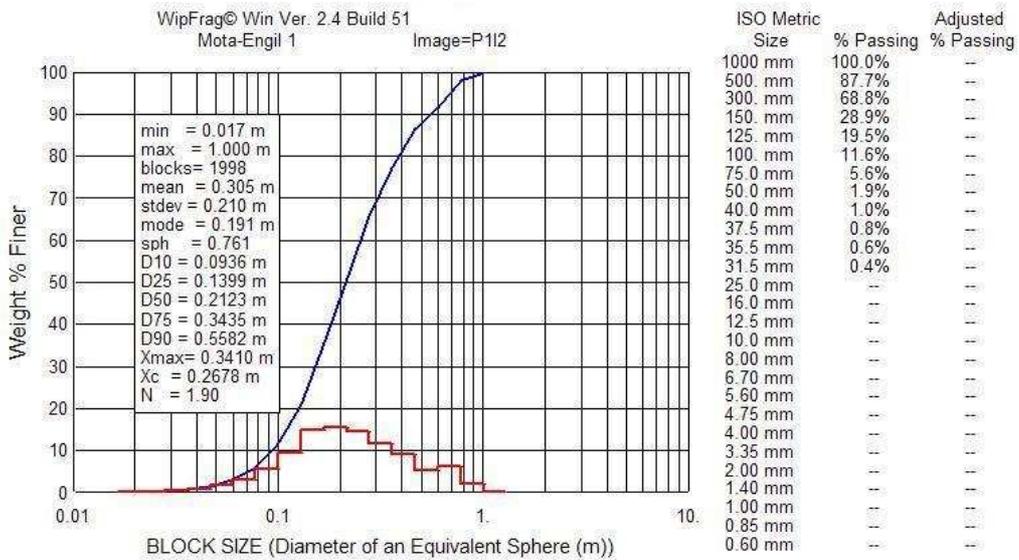
Rebentamento realizado no dia 20-03-2009

As seguintes três imagens foram consideradas como representativas do material resultante no interior do rebentamento



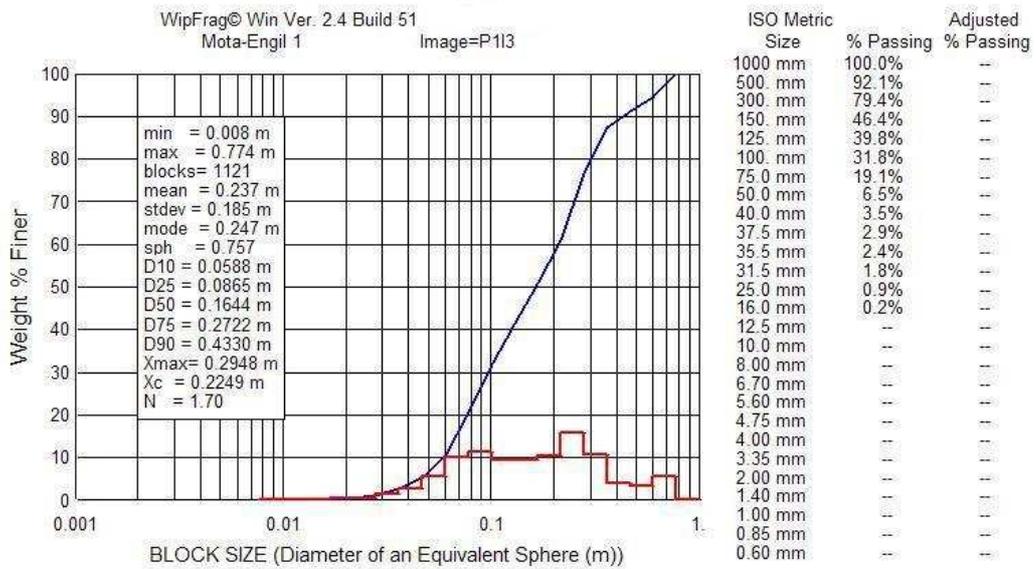
Rebentamento do plano tipo 1

Rebentamento realizado no dia 20-03-2009



Rebentamento do plano tipo 1

Rebentamento realizado no dia 20-03-2009



A curva granulométrica do material resultante do oebentamento realizado em 20-03-2009, obtida pela junção das anteriores fotos está representada em seguida.

Curva granulométrica do material resultante do rebentamento tipo 1

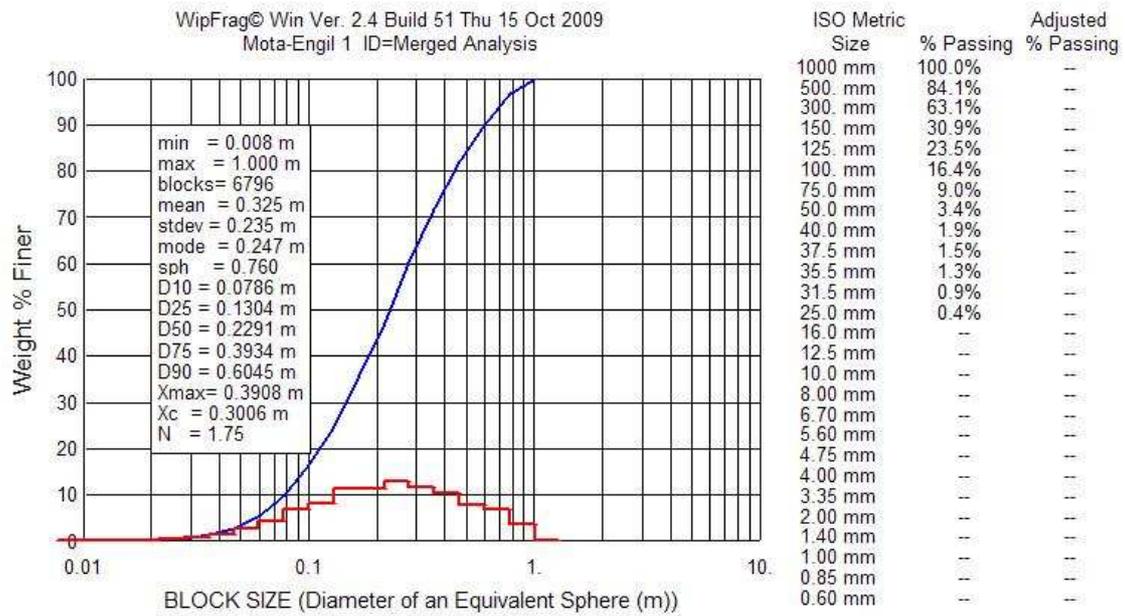
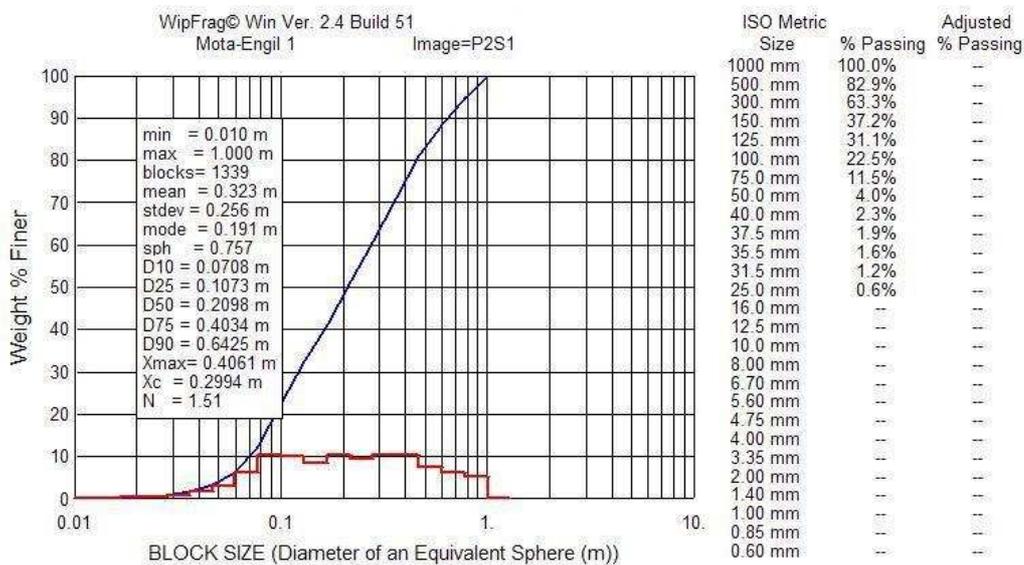


Figura 1 – Curva granulométrica do material resultante do rebentamento realizada em 20-03-2009

Rebentamento do plano tipo 2

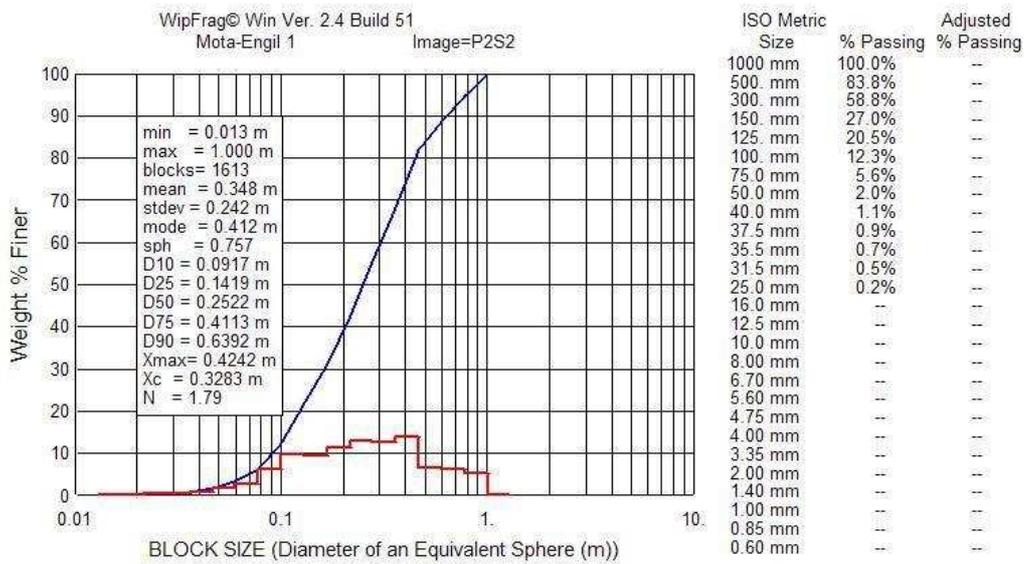
Rebentamento realizado no dia 28-05-2009 na bancada n.º 1 (granito amarelo W2)

As seguintes três imagens foram consideradas como representativas do material resultante na superfície do rebentamento.



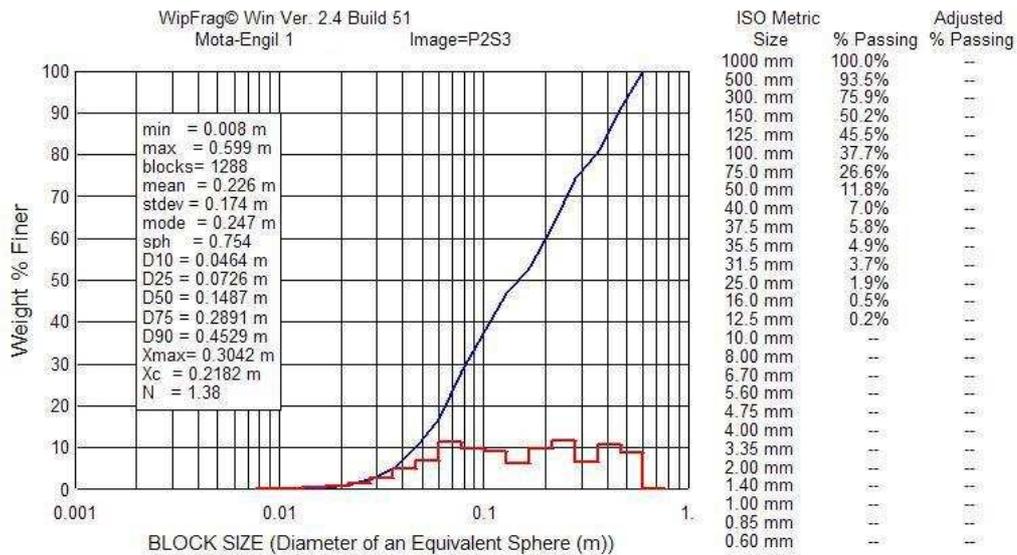
Rebentamento do plano tipo 2

Rebentamento realizado no dia 28-05-2009



Rebentamento do plano tipo 2

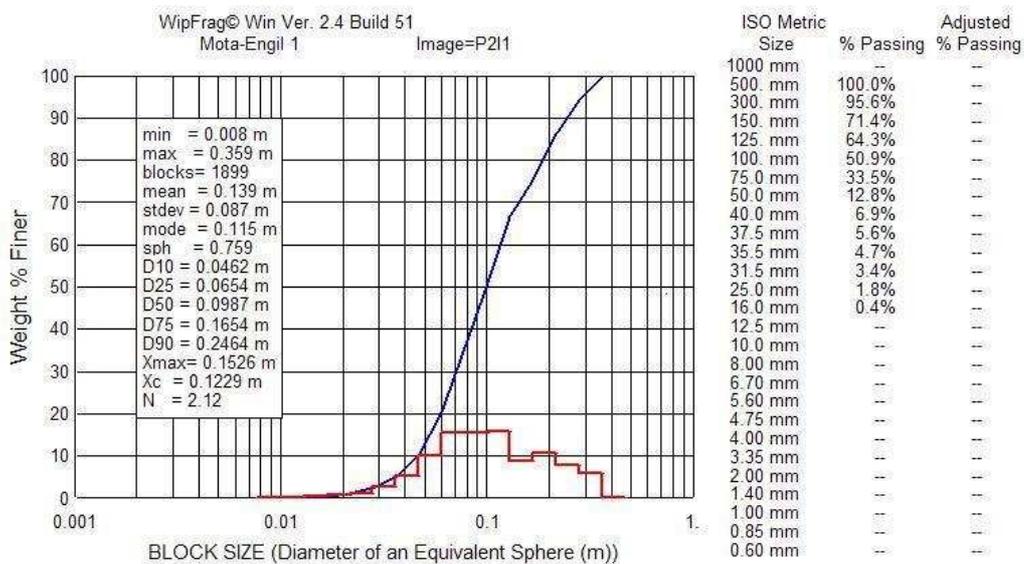
Rebentamento realizado no dia 28-05-2009



Rebentamento do plano tipo 2

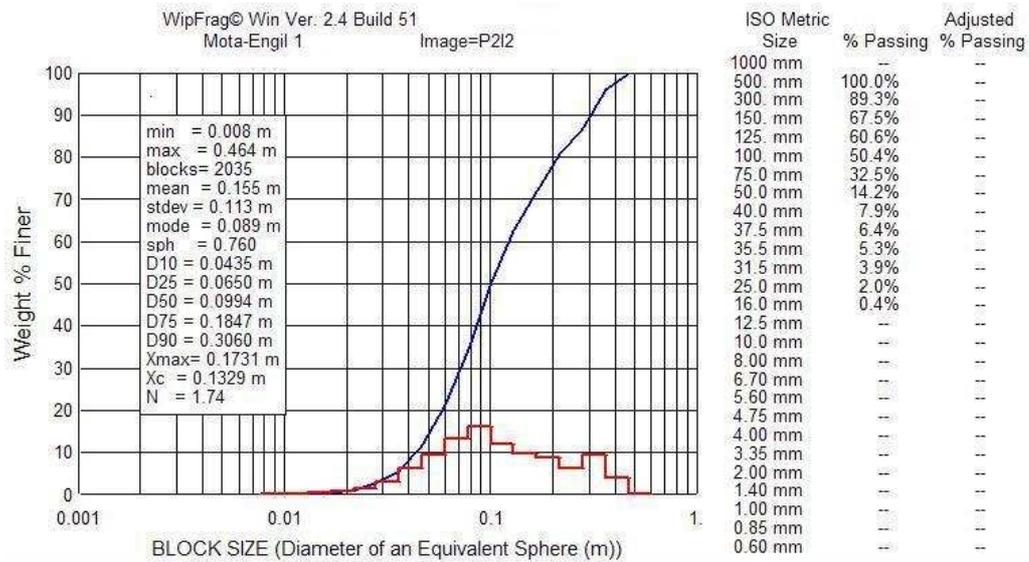
Rebentamento realizado no dia 28-05-2009 na bancada n.º 1 (granito amarelo W2)

As seguintes três imagens foram consideradas como representativas do material resultante no interior do rebentamento.



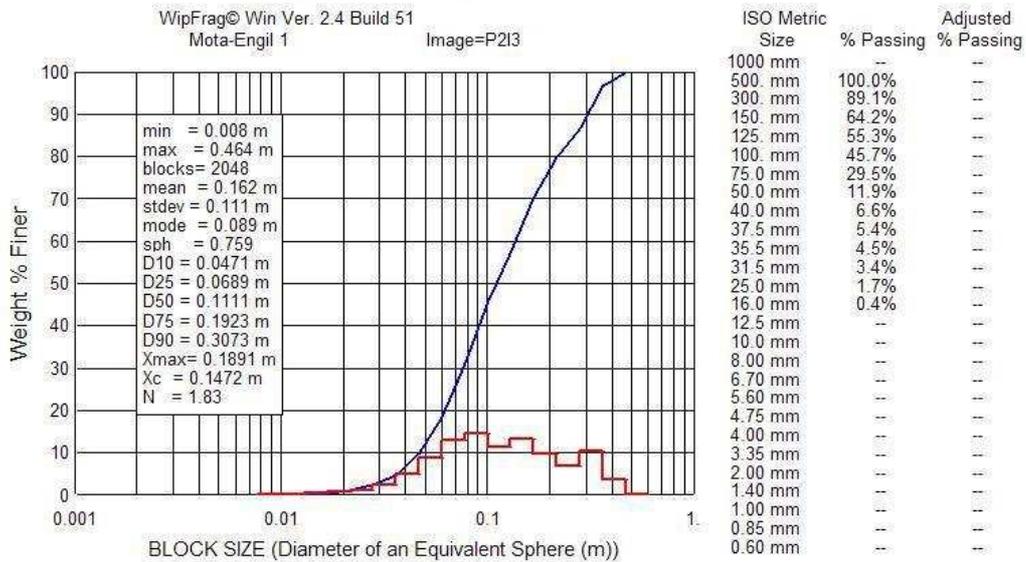
Rebentamento do plano tipo 2

Rebentamento realizado no dia 28-05-2009



Rebentamento do plano tipo 2

Rebentamento realizado no dia 28-05-2009



A curva granulométrica do material resultante do rebentamento realizado em 28-05-2009, obtida pela junção das anteriores fotos está representada em seguida.

Curva granulométrica do material resultante do rebentamento tipo 2A

28/05/2009

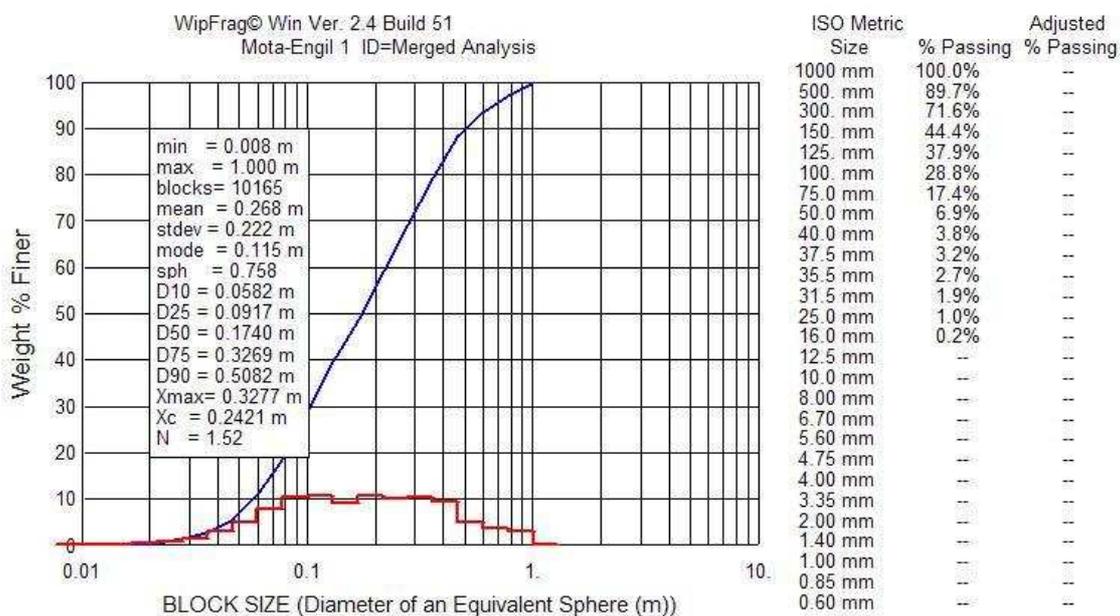
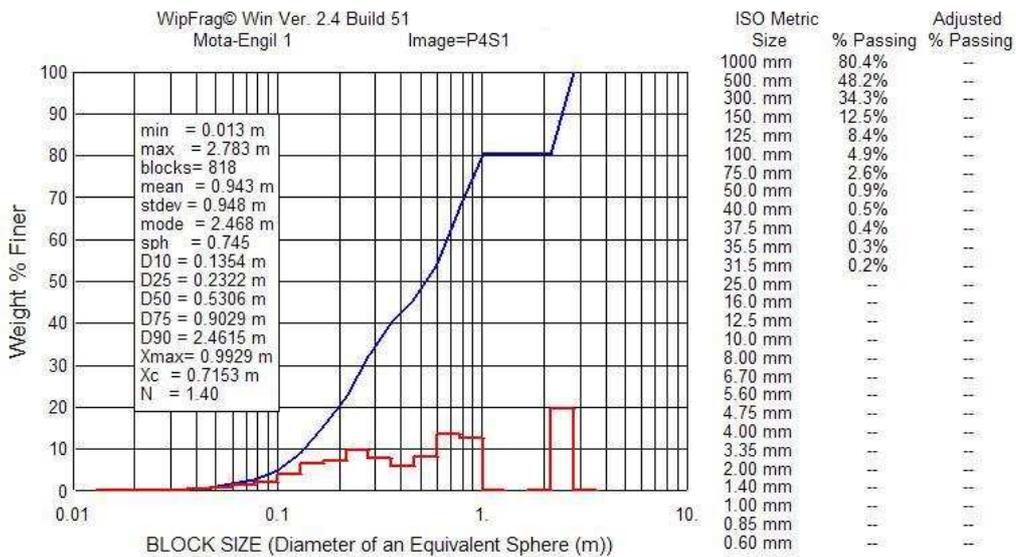


Figura 2 – Curva granulométrica do material resultante do rebentamento realizada em 28-05-2009

Rebentamento do plano tipo 2

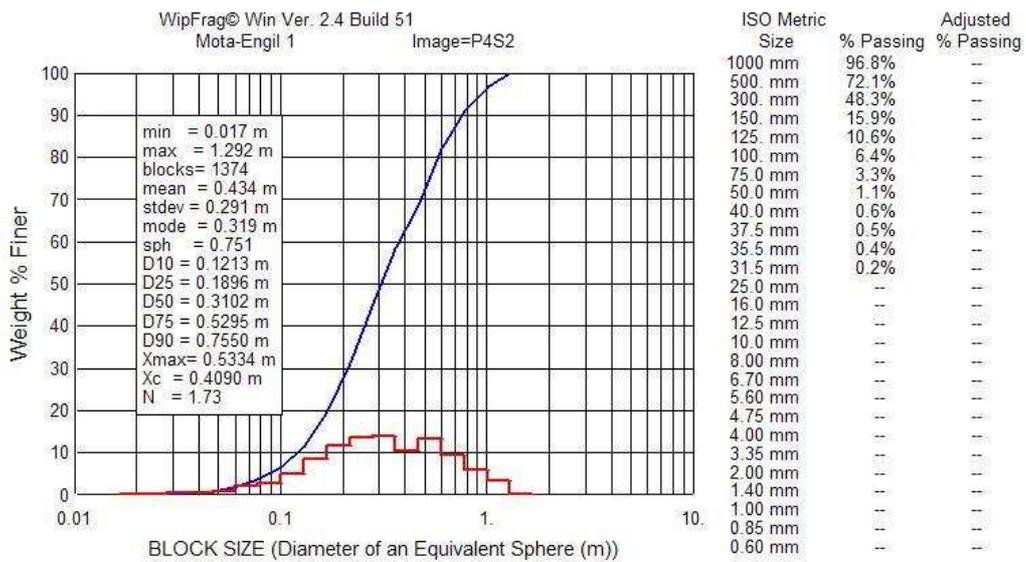
Rebentamento realizado no dia 19-08-2009 na bancada n.º 1 (granito amarelo W2)

As seguintes três imagens foram consideradas como representativas do material resultante na superfície do rebentamento.



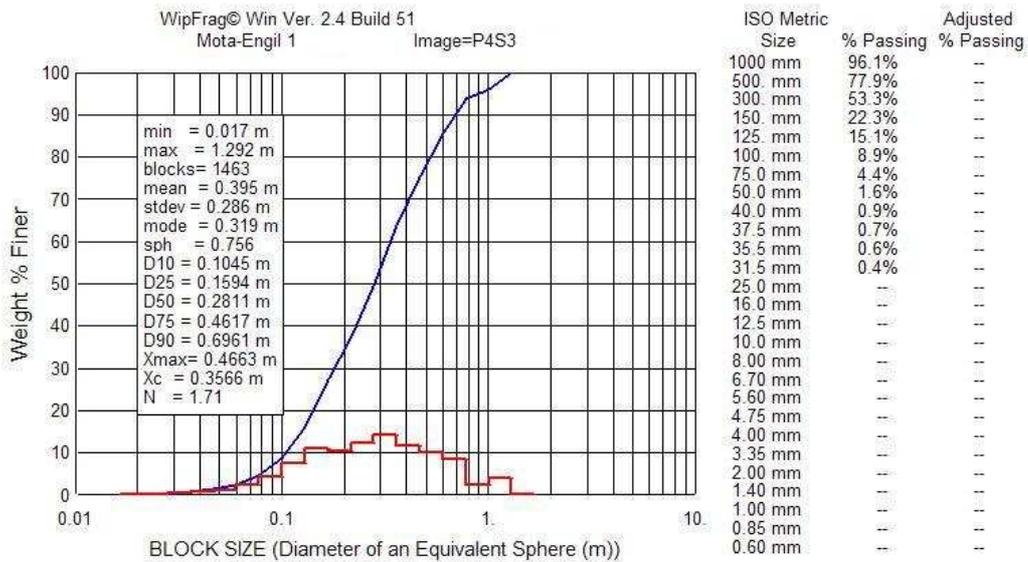
Rebentamento do plano tipo 2

Rebentamento realizado no dia 19-08-2009



Rebentamento do plano tipo 2

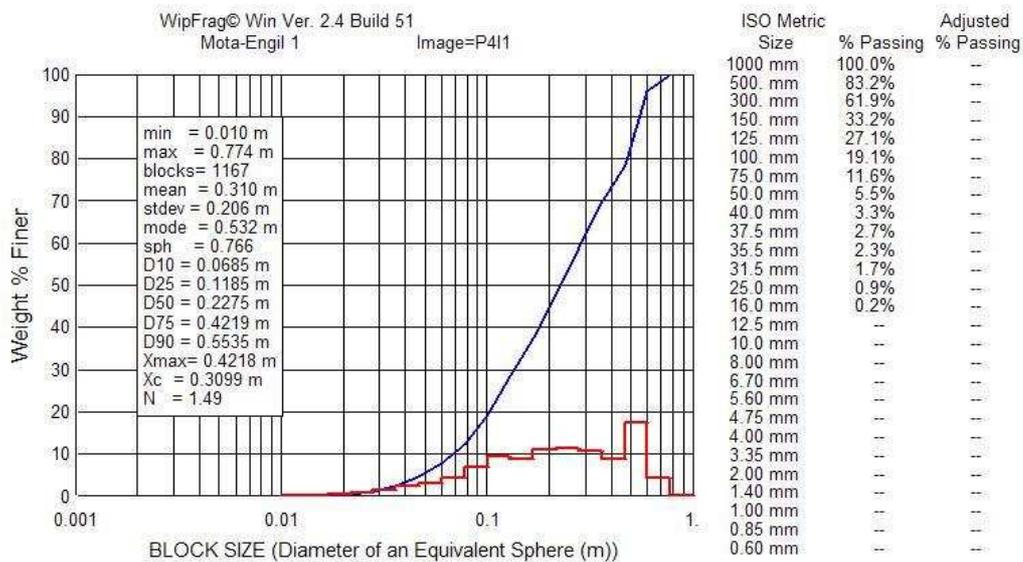
Rebentamento realizado no dia 19-08-2009



Rebentamento do plano tipo 2

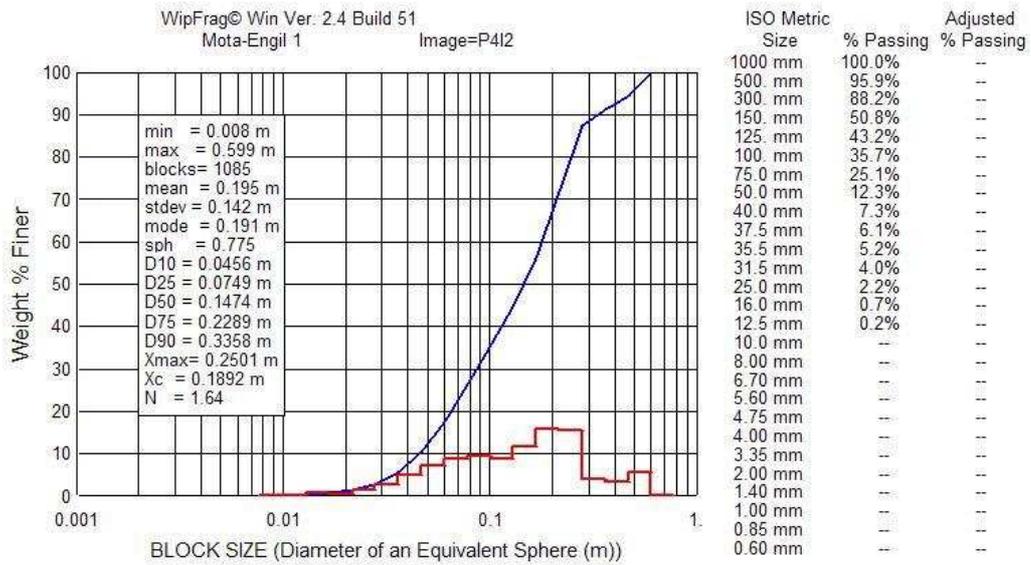
Rebentamento realizado no dia 19-08-2009 na bancada n.º 1 (granito amarelo W2)

As seguintes duas imagens foram consideradas como representativas do material resultante no interior do rebentamento



Rebentamento do plano tipo 2

Rebentamento realizado no dia 19-08-2009



A curva granulométrica do material resultante do rebentamento realizada em 19-08-2009, obtida pela junção das anteriores fotos está representada em seguida.

Curva granulométrica do material resultante do rebentamento tipo 2
19-08-2009

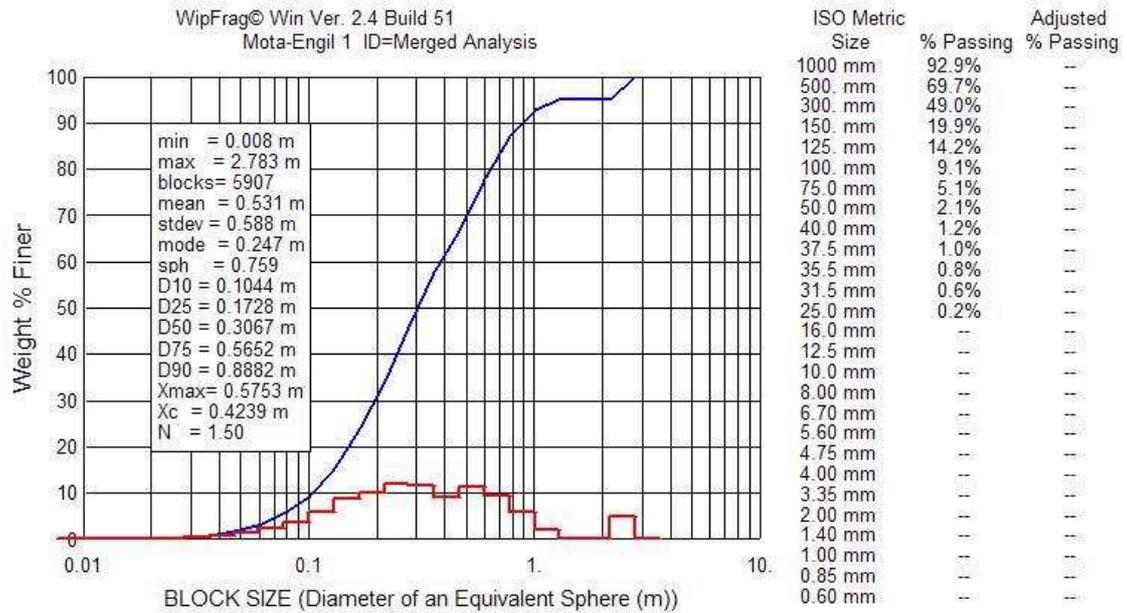
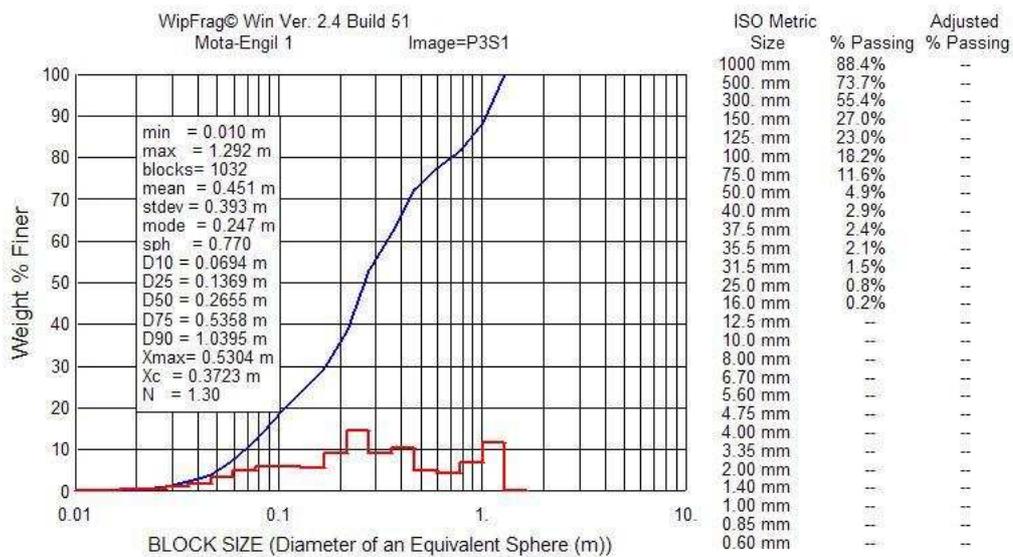


Figura 3 - Curva granulométrica do material resultante do rebentamento realizada em 19-08-2009

Rebentamento do plano A

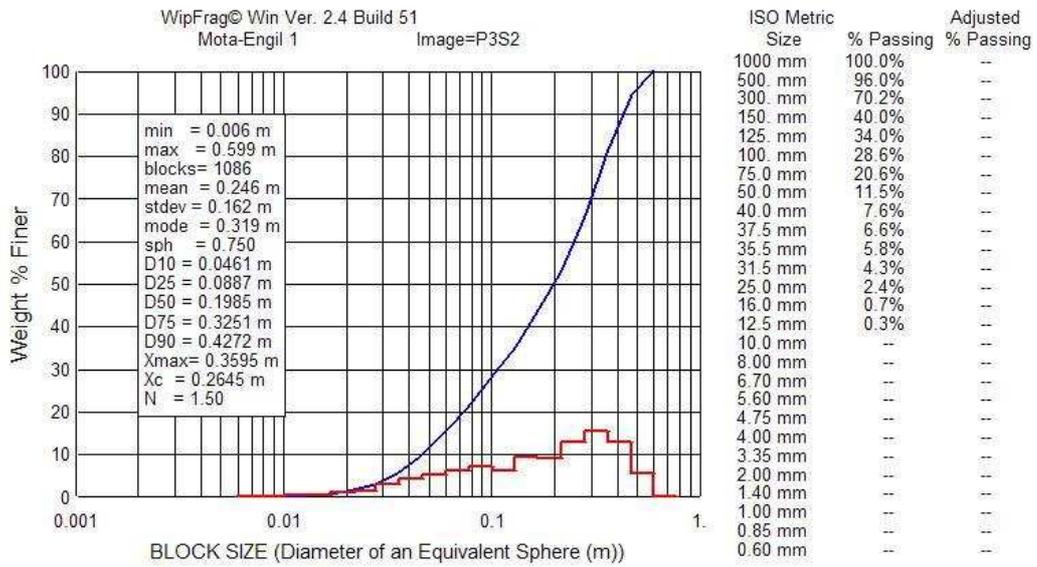
Rebentamento realizado no dia 24-06-2009 na bancada n.º 4 (granito azul W1)

As seguintes duas imagens foram consideradas como representativas do material resultante na superfície do rebentamento.



Rebentamento do plano A

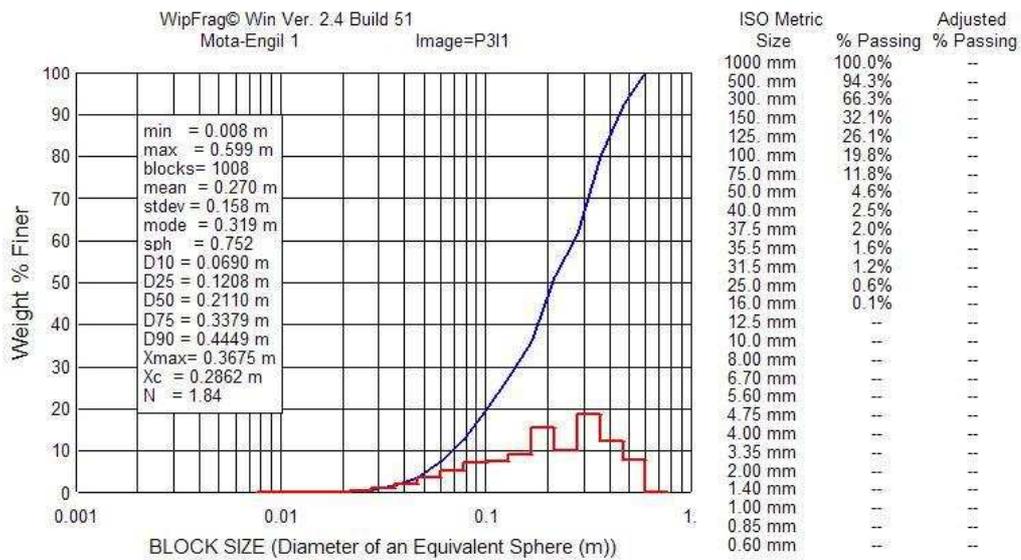
Rebentamento realizada no dia 24-06-2009



Rebentamento do plano A

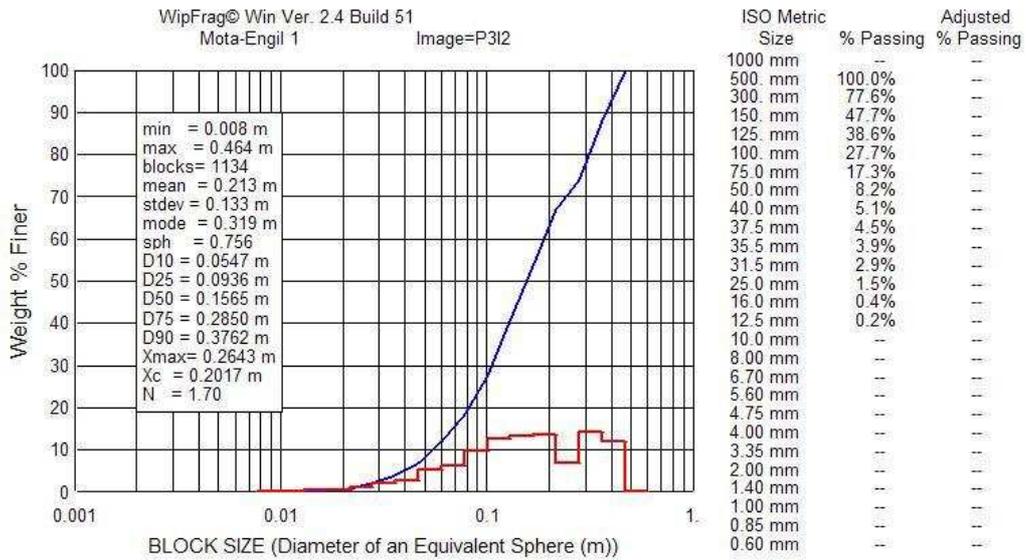
Rebentamento realizado no dia 24-06-2009 na bancada n.º 4 (granito azul W1)

As seguintes três imagens foram consideradas como representativas do material resultante no interior do rebentamento.



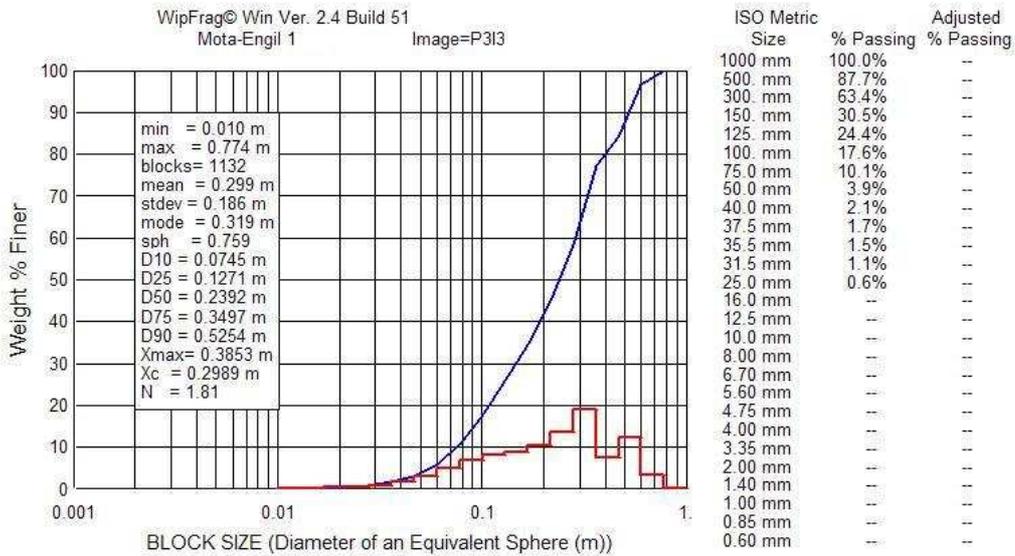
Rebentamento do plano A

Rebentamento realizado no dia 24-06-2009



Rebentamento do plano A

Rebentamento realizado no dia 24-06-2009



A curva granulométrica do material resultante do rebentamento realizada em 24-06-2009, obtida pela junção das anteriores fotos está representada em seguida.

Curva granulométrica do material resultante do rebentamento plano A

24/06/2009

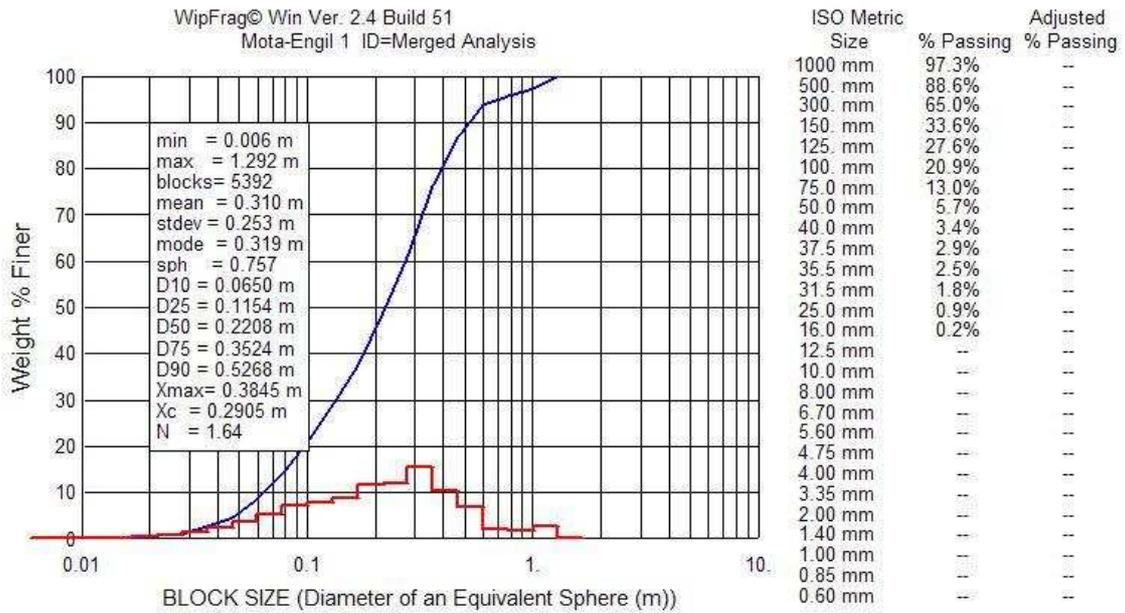
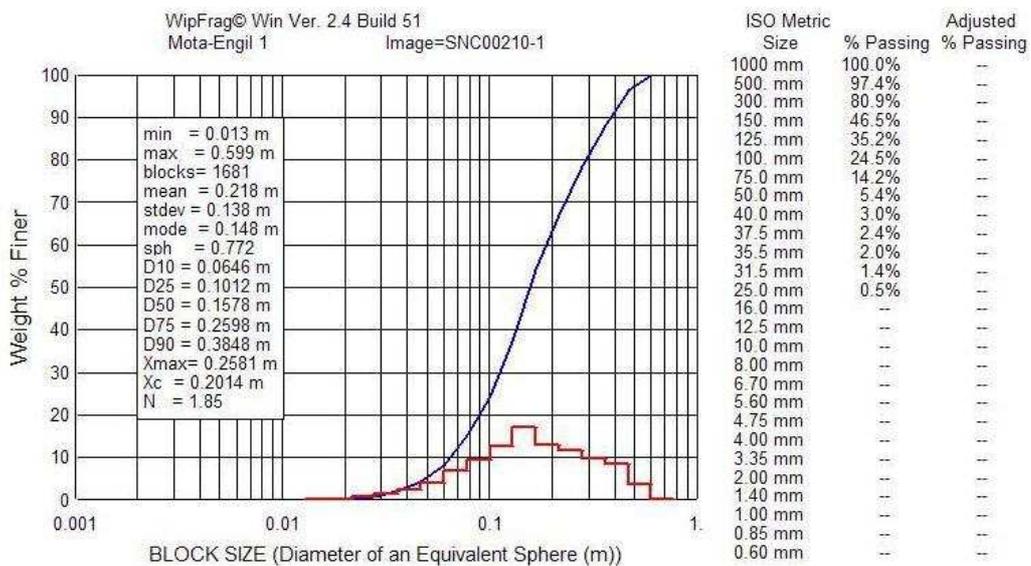


Figura 4 - Curva granulométrica do material resultante da pega realizada em 24-06-2009

Rebentamento do plano A

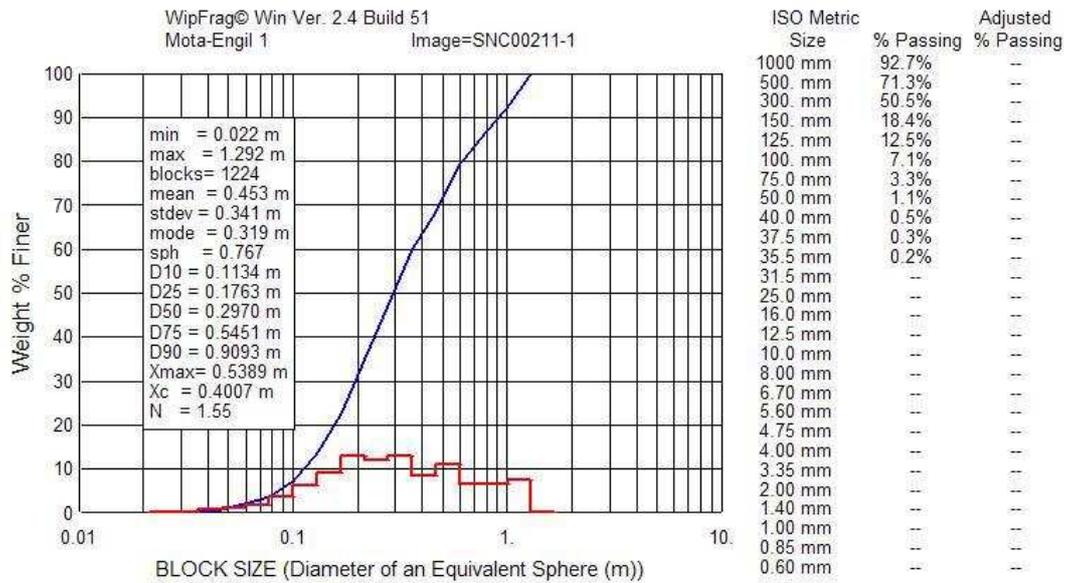
Rebentamento realizado no dia 19-03-2010 na bancada n.º 3 (granito azul W1)

As seguintes três imagens foram consideradas como representativas do material resultante na superfície do rebentamento.



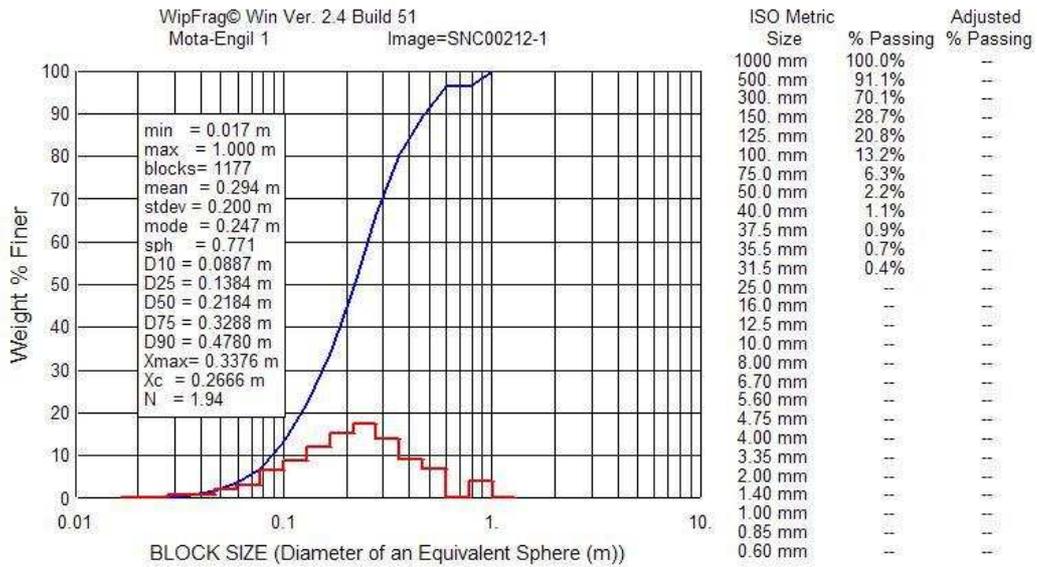
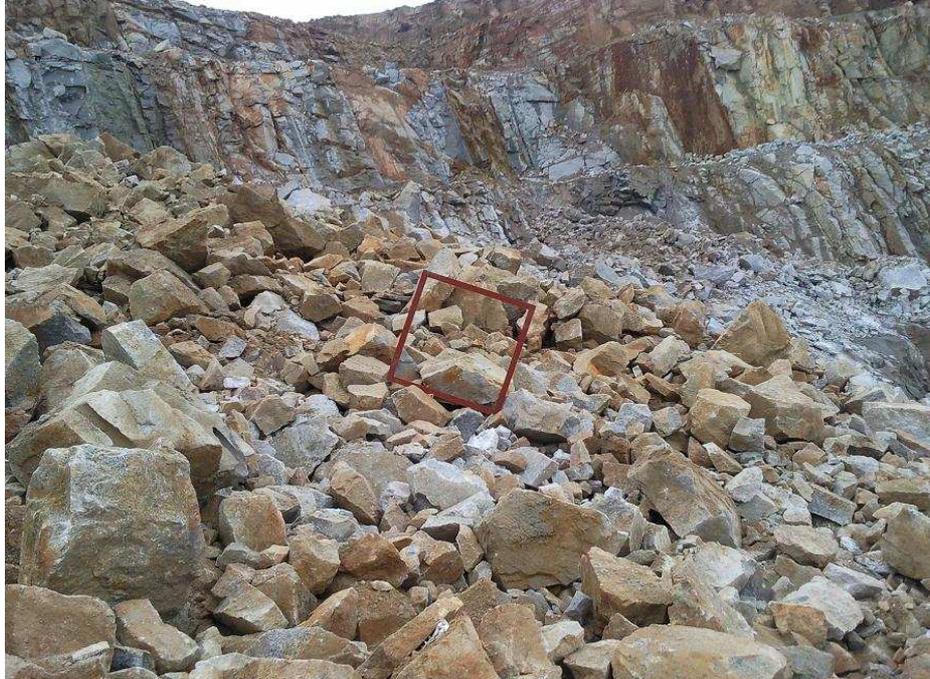
Rebentamento do plano A

Rebentamento realizada no dia 19-03-2010



Rebentamento do plano A

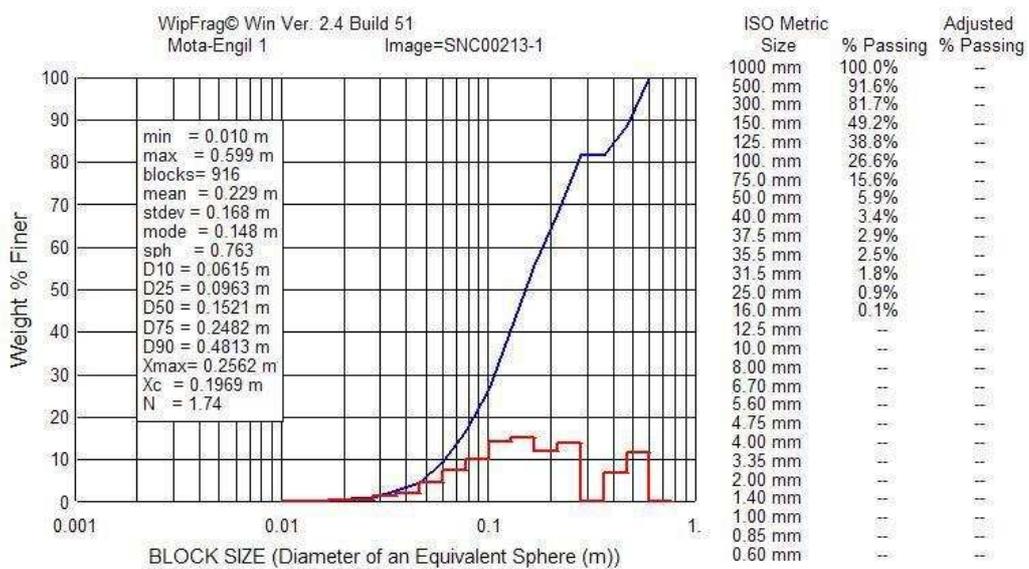
Rebentamento realizada no dia 19-03-2010



Rebentamento do plano A

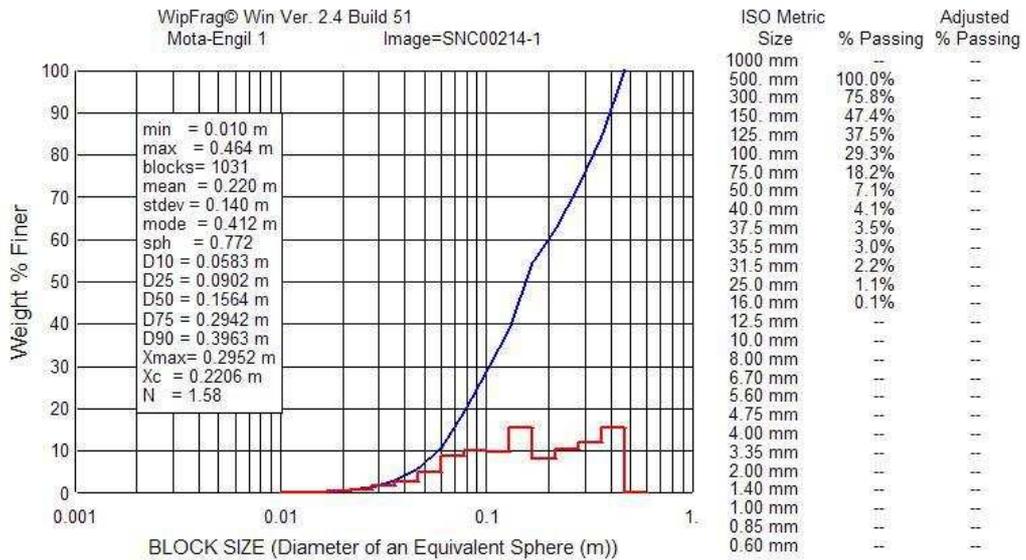
Rebentamento realizada no dia 19-03-2010 na bancada n.º 3 (granito azul W1)

As seguintes três imagens foram consideradas como representativas do material resultante no interior do rebentamento.



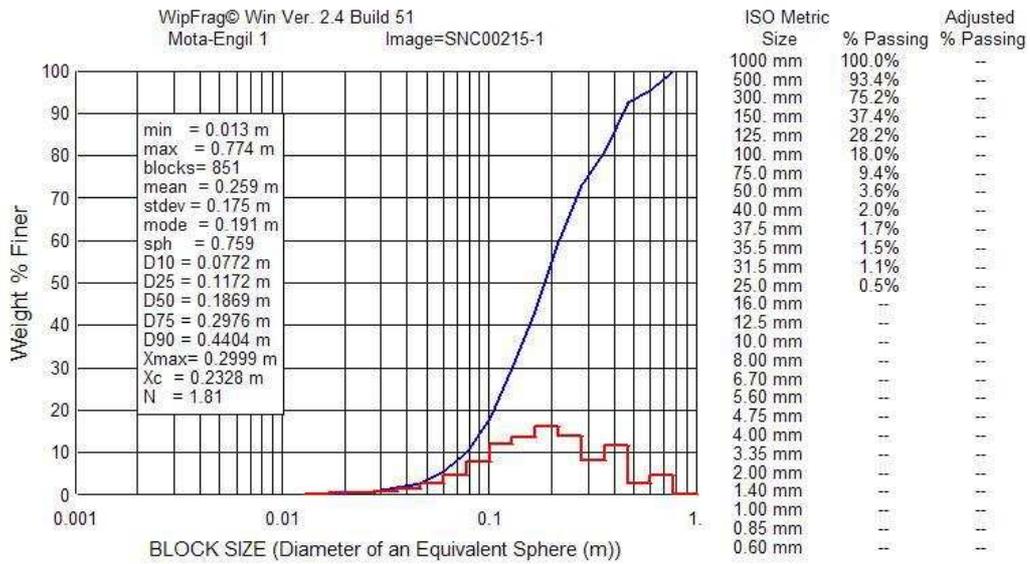
Rebentamento do plano A

Rebentamento realizado no dia 19-03-2010



Rebentamento do plano A

Rebentamento realizado no dia 19-03-2010



A curva granulométrica do material resultante do rebentamento realizada em 19-03-2010, obtida pela junção das anteriores fotos está representada em seguida.

Curva granulométrica do material resultante do segundo rebentamento do plano A

19/03/2010

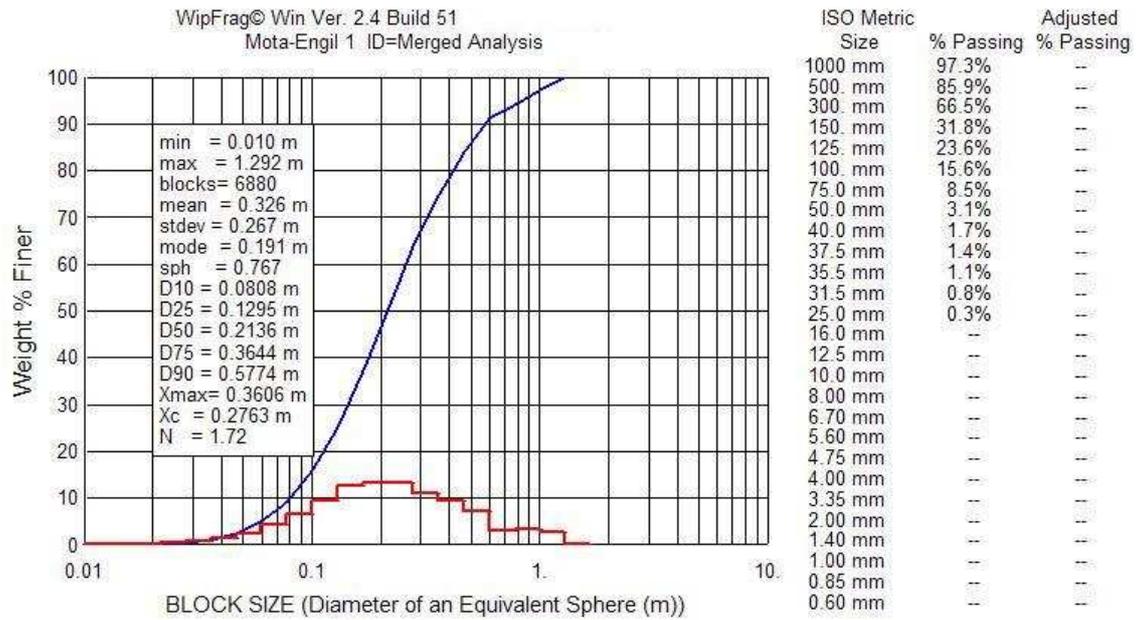
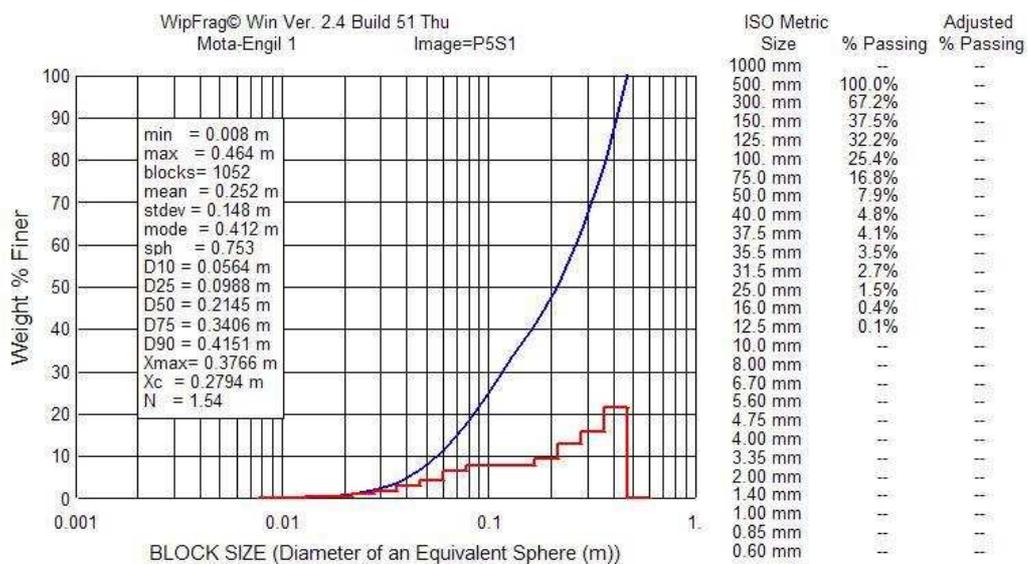


Figura 5 - Curva granulométrica do material resultante do rebentamento realizada em 19-03-2010

Rebentamento do plano B

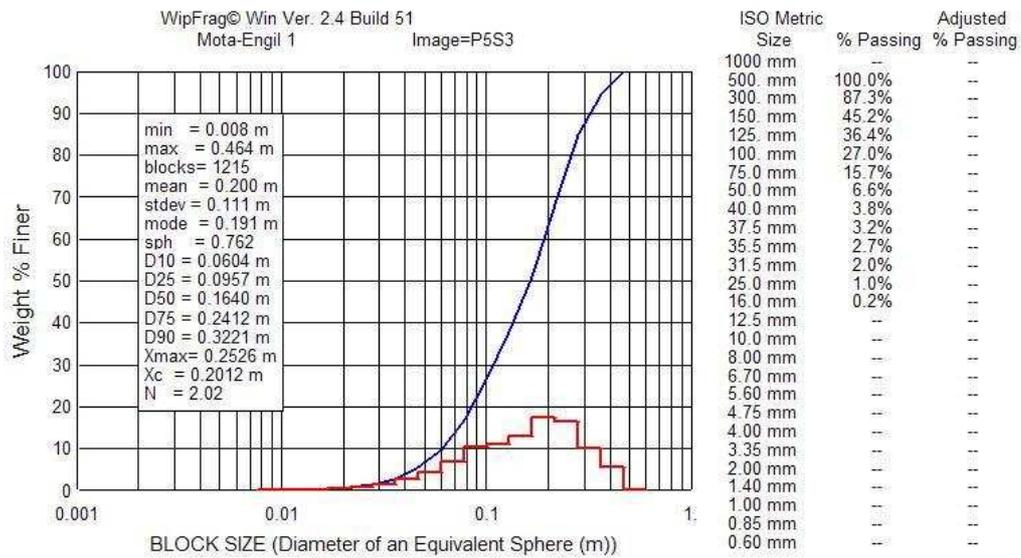
Rebentamento realizado no dia 09-09-2009 na bancada n.º 5 (granito azul W1)

As seguintes duas imagens foram consideradas como representativas do material resultante na superfície do rebentamento.



Rebentamento do plano B

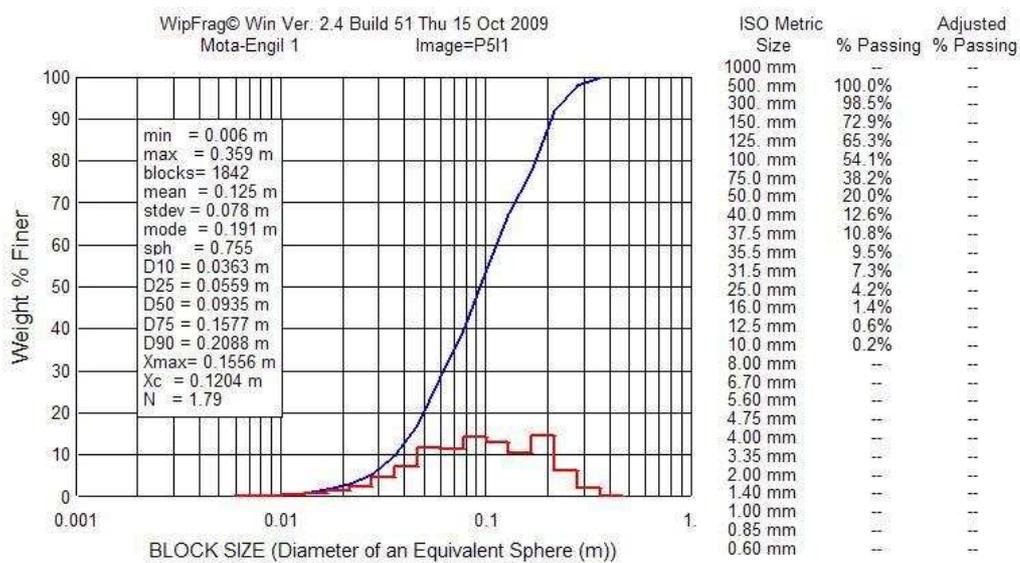
Rebentamento realizado no dia 09-09-2009



Rebentamento do plano B

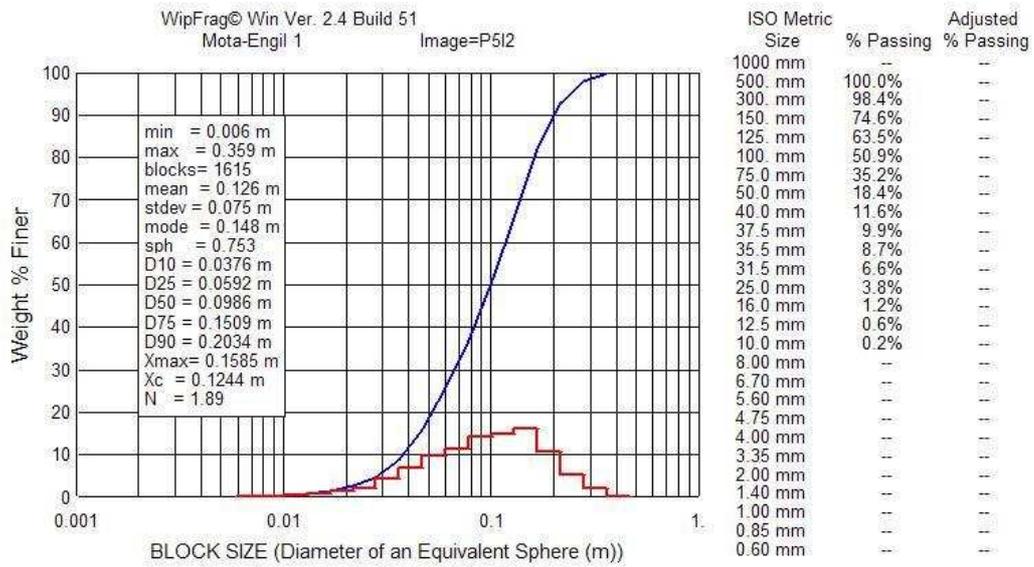
Rebentamento realizado no dia 09-09-2009 na bancada n.º 5 (granito azul W1)

As seguintes três imagens foram consideradas como representativas do material resultante no interior do rebentamento.



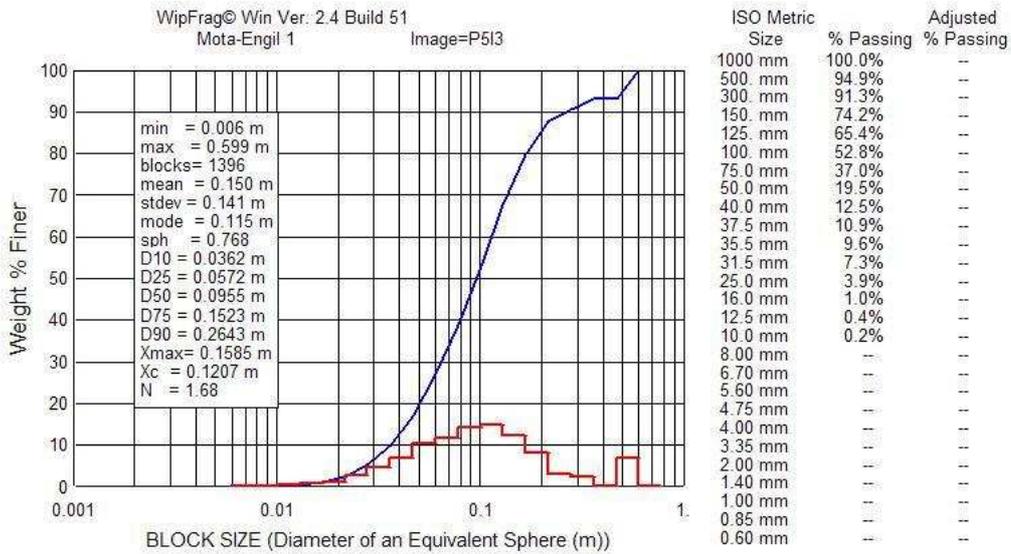
Rebentamento do plano B

Rebentamento realizado no dia 09-09-2009



Rebentamento do plano B

Rebentamento realizado no dia 09-09-2009



A curva granulométrica do material resultante do rebentamento realizada em 09-00-2009, obtida pela junção das anteriores fotos está representada em seguida.

Curva granulométrica do material resultante do rebentamento plano B

09/09/2009

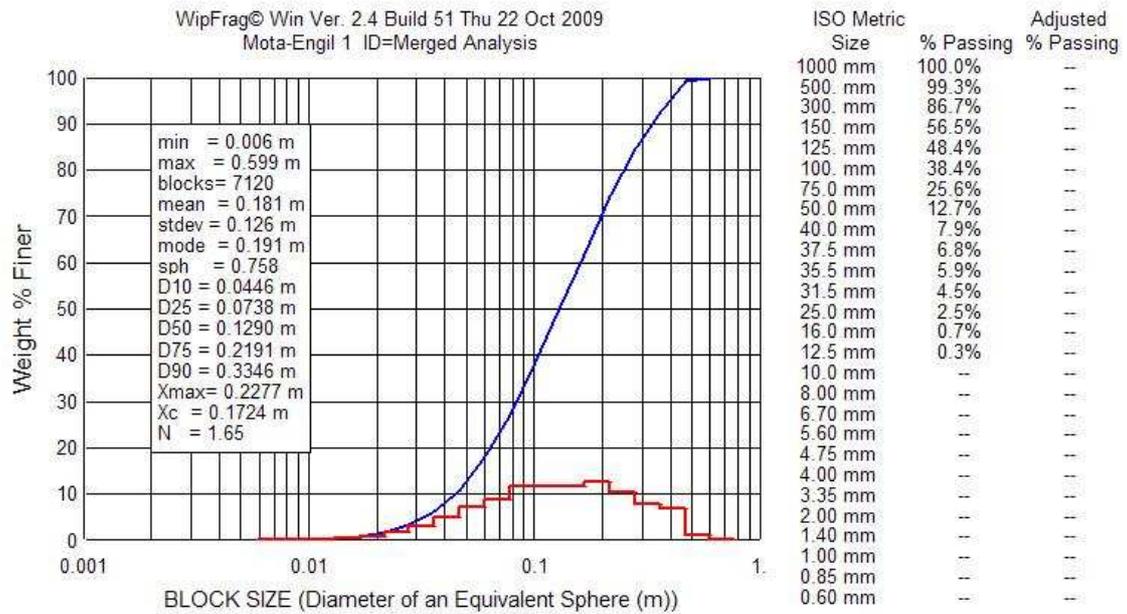


Figura 6 - Curva granulométrica do material resultante do rebentamento realizado em 09-09-2009