



Ferramentas informáticas para avaliar a influência da qualidade da perfuração no desmonte de rocha com explosivos

AFONSO VAZ PÊRA PITA

Outubro de 2017



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Ferramentas informáticas para avaliar a influência da qualidade da perfuração no desmorte de rocha com explosivos

Afonso Vaz Pêra Pita



isep Instituto Superior de Engenharia do Porto

P. PORTO

2017

(Página propositadamente em branco)



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Ferramentas informáticas para avaliar a influência da qualidade da perfuração no desmonte de rocha com explosivos

Afonso Vaz Pêra Pita

Nº 1101445

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

(Página propositadamente em branco)

Júri

Presidente

Doutor Helder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé
Professor Coordenador com Agregação, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor José Augusto de Abreu Peixoto Fernandes
Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor João Paulo Meixedo dos Santos Silva
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Mestre Luís Carlos Correia Ramos
Director de Produção, Elevo Agregados SA (grupo Elevo SA), Porto
Assistente convidado, Instituto Superior de Engenharia do Porto

*A tese de **mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente (MEGG)** foi apresentada e defendida em prova pública, pelo Licenciado **Afonso Vaz Pêra Pita**, no Auditório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Geotécnica (ISEP) em 20 de Novembro de 2017 mediante o júri nomeado, em que foi atribuída, por unanimidade, a classificação final de **15 (quinze) valores**, cuja fundamentação se encontra em acta. Todas as correções pontuais determinadas pelo júri, e só essas, foram efectuadas.*

*Dedico esta dissertação a toda a minha família.
Muito obrigado por tudo...*

(Página propositadamente em branco)

Agradecimentos

Gostaria de expressar o meu sincero agradecimento a todos os que, de uma forma ou de outra, me ajudaram, incentivaram e apoiaram no desenvolvimento do presente trabalho, em particular:

- Ao meu orientador, Professor José Augusto Fernandes, por toda a disponibilidade demonstrada, pela orientação e apoio no desenvolvimento deste trabalho e por toda a sua paciência.
- Aos Engenheiros Armando Guedes, Carlos Correia e Carlos Faria, pela oportunidade de estagiar na empresa Mota-Engil SA, pela ajuda e pelo apoio para que pudesse ter condições de terminar o presente trabalho.
- A todos os colaboradores das pedreiras de Santo Tirso, Cervães, Vila Nova de Famalicão e Tondela por toda a disponibilidade demonstrada em ajudar-me em tudo o que precisei.
- Aos colaboradores da empresa Orica, que também estiveram sempre disponíveis para me ajudar sempre que necessitei,
- E por fim agradecer à minha família por todo o apoio e interesse que demonstraram no desenvolvimento deste trabalho.

(Página propositadamente em branco)

Palavras-chave

Laser Profile 3D, Boretrak, Desvios de furação, Fragmentação

Resumo

Hoje em dia algumas das principais preocupações que se tem na indústria extrativa são a diminuição de custos e a máxima rentabilidade dos equipamentos. Tem que existir sempre um cuidado com a rentabilização dos equipamentos com vista à redução de custos de todas as operações inerentes à exploração a céu aberto e, conseqüentemente, a diminuição dos custos finais de produção. Com a execução deste trabalho prende-se estudar, principalmente, que peso têm os desvios de perfuração na fragmentação final e que conseqüências acarretam para as operações de britagem seguintes. Ao longo deste trabalho foram analisados 4 casos de estudos de 4 pedreiras de diferentes localidades sendo estas: Pedreira de Cervães, Famalicão, Santo Tirso e Tondela, sendo todas estas pedreiras propriedade da empresa Mota-Engil, SA. Para este estudo foram realizados dois ensaios de campo: o “Laser Profile 3D” em conjunto com o Boretrak, que permitiram obter a modelação das bancadas de cada uma das pedreiras. Foi ainda realizado um procedimento de gabinete com recurso ao *software* “Wipfrag” que permite então avaliar a fragmentação do material em termos de dimensão. No final foi feita uma análise comparativa entre as pedreiras, para tentar aferir que tipo de impacto tem os desvios de furação na qualidade final da fragmentação e custos e conseqüências poderão advir de uma má fragmentação nas restantes operações da vida de uma pedreira.

(Página propositadamente em branco)

Keywords

Laser Profile 3D, Boretrak, Hole Deflection, Fragmentation

Abstract

Nowadays some of the main aspects that the extractive industry should worry about is related to the reduction of costs and trying to obtain the maximum profit with the usage of the equipment. The usage of the equipment's in this industry must be always have in consideration the reduction of costs of all the operations that are inherent to the open-air operation. With this work, it is intended to study what is exactly the weight that the hole deviation in drilling operations have in the final results in terms of fragmentation and what consequences will lead to the following crushing operations. For this it was studied 4 cases of 4 quarries from different localities: Quarries of Cervães, Famalicão, Santo Tirso and Tondela; all these quarries are property of the company Mota-Engil, SA. For this study, two field tests were carried out: the "Laser Profile 3D" in conjunction with Boretrak, which allowed the modeling of the benches of each of the quarries. A cabinet procedure was also performed using the *software* "Wipfrag", which allows to assess the rock material fragmentation degree, according to its size. At the end, a comparative analysis was carried out among the quarries to try to understand the impact of hole deviation on the quality of the fragmentation, and costs and consequences that could result from a bad fragmentation in the remaining operations of the life of a quarry.

(Página propositadamente em branco)

Índice

Resumo.....	XI
Abstract.....	XIII
1. Introdução.....	3
1.1 Industria extrativa.....	3
1.2 Objetivo e enquadramento.....	4
2. Métodos de exploração e operações típicas de desmonte.....	9
2.1 Métodos de exploração.....	9
2.1.1 Métodos de desmonte a céu aberto.....	9
2.2 Operações de desmonte de rocha.....	10
2.2.1 Desmonte e fragmentação de rocha.....	10
2.3 Controlo de fragmentação.....	11
2.3.1 Otimização da fragmentação.....	11
2.3.2 Fragmentação ótima da rocha.....	11
2.3.3 Alcance da fragmentação ótima.....	12
2.4 Fragmentação secundária.....	14
2.4.1 Colocação de explosivos sobre o bloco.....	15
2.4.2 Execução de um furo para a colocação de explosivo.....	15
2.4.3 Medidas de segurança na fragmentação secundária com explosivos.....	16
2.4.4 Martelo demolidor.....	17
2.5 Explosivos e acessórios de detonação utilizados no desmonte de rocha.....	17
2.5.1 Fatores que influenciam a seleção de explosivos.....	19
2.5.2 Sistemas de iniciação.....	19
2.5.3 Controlo da qualidade do sistema de iniciação.....	21
2.5.3.1 Detonadores elétricos.....	21
2.5.3.2 Detonadores não elétricos.....	22
2.5.3.3 Detonadores eletrónicos.....	22
2.5.3.4 Comparação técnica entre os detonadores.....	24
3. Métodos e técnicas utilizadas: Laser Profile, Boretrak e Wipfrag.....	28
3.1 Laser Profile 3D.....	28
3.2 Boretrak.....	29
3.3 Wipfrag.....	31
3.3.1 Processos de recolha de amostra e fotografia.....	32
4. Casos de estudo.....	37

4.1 Pedreira de Cervães “Bouça do Menino”	37
4.1.1 Localização Geográfica	37
4.1.2 Geologia Local.....	38
4.1.3 Geomorfologia local	39
4.1.4 Hidrogeologia local	40
4.2 Pedreira de Vila Nova de Famalicão “Moinho de Vento”	41
4.2.1 Localização Geográfica	41
4.2.2 Geologia Local.....	42
4.2.3 Geomorfologia Local.....	42
4.2.4 Hidrogeologia Local	43
4.3 Pedreira de Santo Tirso “Coutada”	43
4.3.1 Localização Geográfica	43
4.3.2 Geologia Local.....	43
4.3.3 Geomorfologia local	44
4.3.4 Hidrogeologia local	44
4.4 Pedreira de Tondela “Caramelo”	45
4.4.1 Localização Geográfica	45
4.4.2 Geomorfologia local	46
4.4.3 Geologia local	47
4.4.4 Hidrogeologia	48
5. Apresentação e discussão de resultados	52
5.1 Primeiro caso de estudo – Pedreira de Cervães “Bouça do Menino”	52
5.1.1 Levantamento Cartográfico.....	52
5.1.2 Parâmetros da pega de fogo	53
5.1.3 Resultados obtidos através do “Laser Profile 3D” e Boretrak	55
5.1.4 Resultados de fragmentação	56
5.1.5 Cálculo do custo de energia necessária na produção.....	57
5.2 Primeiro caso de estudo – Pedreira de Famalicão “Moinho de Vento”	59
5.2.1 Levantamento Cartográfico.....	59
5.2.2 Parâmetros da pega de fogo	60
5.2.3 Resultados obtidos através do “Laser Profile 3D” e Boretrak	62
5.2.4 Resultados de fragmentação	64
5.2.5 Cálculo do custo de energia necessária na produção.....	66
5.3 Primeiro caso de estudo – Pedreira de Tondela	66

5.3.1 Levantamento Cartográfico	66
5.3.2 Parâmetros da pega de fogo.....	67
5.3.3 Resultados obtidos através do “Laser Profile 3D” e Boretrak	69
5.3.4 Resultados de fragmentação	71
5.3.5 Cálculo do custo de energia necessária na produção.....	73
5.4 Primeiro caso de estudo – Pedreira de Santo Tirso.....	73
5.4.1 Levantamento Cartográfico	73
5.4.2 Parâmetros da pega de fogo	75
5.4.3 Resultados obtidos através do “Laser Profile 3D” e Boretrak	77
5.4.4 Resultados de fragmentação	79
5.4.5 Cálculo do custo de energia necessária na produção.....	80
5.5 Discussão de resultados	81
6. Conclusões.....	91
7. Bibliografia	97

(Página propositadamente em branco)

Índice de Figuras

Figura 1 – Tipos de industria extrativa	3
Figura 2 – O ciclo de exploração de uma pedreira a céu aberto	4
Figura 3 – Exploração em flanco de encosta	9
Figura 4 – Exploração em corta	9
Figura 5 – Colocação do explosivo sobre o bloco.....	14
Figura 6 – Colocação do explosivo dentro do furo executado no bloco.....	15
Figura 7 - Fragmentação secundária através do martelo demolidor (fonte: https://http2.mlstatic.com/martelo-hidraulico-novo-rompedor-para-retroescavadeira).....	16
Figura 8 – Interior de um detonador não elétrico (Galiza et al.,2006).....	20
Figura 9 – Exemplo de um detonador não elétrico usado na pedreira de Cervães, propriedade da empresa Mota-Engil	20
Figura 10 - Exemplo de detonador elétrico (Bernardo,2005)	21
Figura 11 - Exemplo de detonador eletrónico (Bernardo, 2005)	21
Figura 12 - Interior de um detonador eletrónico (adaptado de Persson et al, 1993)	22
Figura 13 - Consola de fogo dos detonadores eletrónicos	22
Figura 14 – Laser Profiel 3D da “Quarryman” e mira de disparo	27
Figura 15 – Sonda “Boretrak” com respectiva interface externa de visualização.....	28
Figura 16 - Aspecto final do relatório através do software "ShotPlus"	28
Figura 17 - Aspecto final do relatório através do software “Shotplus”	29
Figura 18 - Exemplo prático da aplicação do software Wipfrag (fonte: https://landshaft-design.ru/prefix/731454.jpg)	31
Figura 19 - Representação do distrito de Braga, localização da pedreira “Bouça do Menino” (fonte: www.anmp.pt)	35
Figura 20 - Localização da pedreira Bouça do Menino (Mota-Engil, 2004).....	35
Figura 21 - Extrato da Carta geológica da folha 5-C Barcelos (adaptado de Medeiros C., Teixeira A.,1969).....	37
Figura 22 - Hipsometria do local da pedreira, concelho de Vila Verde. (fonte: www.sniamb.apambiente.pt/webatlas)	38
Figura 23 - Localização geográfica dos concelhos de Braga, Famalicão e Guimarães (fonte: www.anmp.pt)	39
Figura 24 - Localização da Pedreira “Moinho de Vento (magenta) e restantes pedreiras vizinhas (verde) (Mota-Engil,2005)	39

Figura 25 - Localização da Pedreira do “Caramelo” (Mota-Engil, 2006)	43
Figura 26 - Hipsometria do local da Pedreira do Caramelo (Plano Diretor Municipal de Tondela, 2005).....	44
Figura 27 - Extrato da Carta Geológica de Portugal (na escala 1:500 000), Município de Tondela. (fonte: e-Geo - Sistema Nacional de Informação Geocientífica).....	45
Figura 28 – Modelação 3D da bancada e respectivo posicionamento dos furos da frente (Cervães).....	54
Figura 29 – Resultados obtidos do furo A11	55
Figura 30 – Resultados obtidos do furo A20	56
Figura 31 – Pilha de material pós-desmonte.....	57
Figura 32 – Curva granulométrica e histograma após o desmonte	58
Figura 33 – Representação das principais famílias de descontinuidades da pedreira “Moinho de Vento”	60
Figura 34 – Modelação 3D da bancada e respetivo posicionamento dos furos da frente e segunda fila (Famalicão).....	62
Figura 35 – Resultados obtidos do furo A8	63
Figura 36 – Resultados obtidos do furo A9	64
Figura 37 – Pilha de material após o desmonte	65
Figura 38 – Curva granulométrica e histograma após o desmonte	66
Figura 39 – Determinação da percentagem de fragmentação secundária necessária... ..	66
Figura 40 – Representação estereográfica das famílias de descontinuidades da pedreira de Tondela.....	68
Figura 41 – Modelação 3D da bancada e respetivo posicionamento dos furos da frente (Tondela)	69
Figura 42 – Resultados obtidos no furo A14	70
Figura 43 – Resultados obtidos no furo A15	71
Figura 44 – Pilha de material pós desmonte	72
Figura 45 – Curva granulométrica e histograma após desmonte	73
Figura 46 – Determinação da percentagem de fragmentação secundária necessária	73
Figura 47 – Representação estereográfica das descontinuidades do maciço (Santo Tirso)....	75
Figura 48 – Modelação 3D da bancada e respetivo posicionamento dos furos da frente (Santo Tirso)	77
Figura 49 – Resultados obtidos no furo A4	78
Figura 50 – Resultados obtidos no furo A6	79

Figura 51 – Pilha de material pós-desmonte.....	80
Figura 52 – Curva granulométrica e histograma após o desmonte	81
Gráfico 1 – Média dos desvios de furação	82
Gráfico 2 – Percentagem de taqueio em cada um dos casos de estudo.....	83
Gráfico 3 – Dimensão da maior partícula.....	84
Gráfico 4 – Custo Energético de produção.....	84
Gráfico 5 – Desvios de furação <i>versus</i> percentagem de taqueio	85
Gráfico 6 –Reta de tendência dos desvios de furação <i>versus</i> percentagem de taqueio.....	85
Gráfico 7 – Desvios de furação <i>versus</i> custo dos consumos energético.....	86
Gráfico 8 – Reta de tendência dos desvios de furação <i>versus</i> custos	87
Gráfico 9 – Carga específica de cada um dos casos de estudo	87

(Página propositadamente em branco)

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Comparação técnica entre detonadores (Adaptado de Bernardo 2014)	22
Tabela 2 - Características Macroscópicas da rocha granítica (Mota-Engil, 2004)	36
Tabela 3 - Características macroscópicas da rocha granítica... ..	40
Tabela 4 - Parâmetros para calcular Energia necessária (Pedreira de Cervães).....	60
Tabela 5 - Parâmetros para calcular energia total (Pedreira de Cervães).....	60
Tabela 6 - Tarifas de consumo energético EDP	61
Tabela 7 - Energia necessária para produzir 1 tonelada de material (Pedreira de Vila Nova de Famalicão)	68
Tabela 8 - Energia total necessária por hora na instalação (Pedreira de Vila Nova de Famalicão)	68
Tabela 9 - Energia necessária para produzir 1 tonelada de material (Pedreira Tondela)	75
Tabela 10 - Energia total necessária por hora na instalação (Pedreira Tondela).....	75
Tabela 11 - Energia necessária para produzir 1 tonelada de material (Pedreira de Santo Tirso).....	82
Tabela 12 - Energia total necessária por hora na instalação (Pedreira de Santo Tirso).	83
Tabela 13 - Valores anuais dos custos energéticos	89

Índice de Equações

Equação 1 – Equação para calcular a carga específica.....	15
Equação 2 – Equação para calcular a perfuração específica.....	16
Equação 3 – Equação de Bond	26
Equação 4 – Equação para determinar a energia total por hora na britagem.....	62

Índice de gráficos

Gráfico 1 – Média dos desvios de furação	82
Gráfico 2 – Percentagem de taqueio em cada um dos casos de estudo.....	83
Gráfico 3 – Dimensão da maior partícula.....	84
Gráfico 4 – Custo Energético de produção.....	84
Gráfico 5 – Desvios de furação <i>versus</i> fragmentação secundária	85
Gráfico 6 –Reta de tendência dos desvios de furação <i>versus</i> fragmentação secundária.....	85
Gráfico 7 – Desvios de furação <i>versus</i> custo dos consumos energético	86
Gráfico 8 – Reta de tendência dos desvios de furação <i>versus</i> custos	87
Gráfico 9 – Carga específica de cada um dos casos de estudo	87

(Página propositadamente em branco)

CAPÍTULO 1
Introdução

1. Introdução

A presente dissertação enquadra-se na Unidade Curricular “Dissertação/Projeto/Estágio”, do 2º ano, do Curso de Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente do Departamento de Engenharia Geotécnica (DEG) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Politécnico do Porto (P.Porto). A elaboração e defesa pública da presente dissertação, em formato “projeto”, são imperativos para a conclusão do 2º ciclo e a consequente obtenção do Grau de Mestre.

1.1 A Indústria extrativa

A exploração e o consumo de recursos naturais são uma parcela de extrema importância para o desenvolvimento das sociedades. Tratam-se de recursos que permitem que a humanidade se desenvolva económica, social e culturalmente. (Matos *et al.*, 2011).

A indústria extrativa é um dos processos de exploração de recursos naturais, que extrai os mesmos no seu estado bruto e que visa servir de matérias primas a outras indústrias necessitadas. (Pereira, 2009).

É uma indústria importante no âmbito geral da economia nacional, apresentando um impacto positivo, pois é uma fonte de produção, exportação e empregabilidade considerável. Todos estes fatores juntos, traduzem a importância real e impacto que a indústria extrativa tem na economia e no desenvolvimento da sociedade. (Direção Geral da Energia e Geologia, 2014).

Tal como se apresenta na Figura 1, existem vários tipos de indústria extrativa.

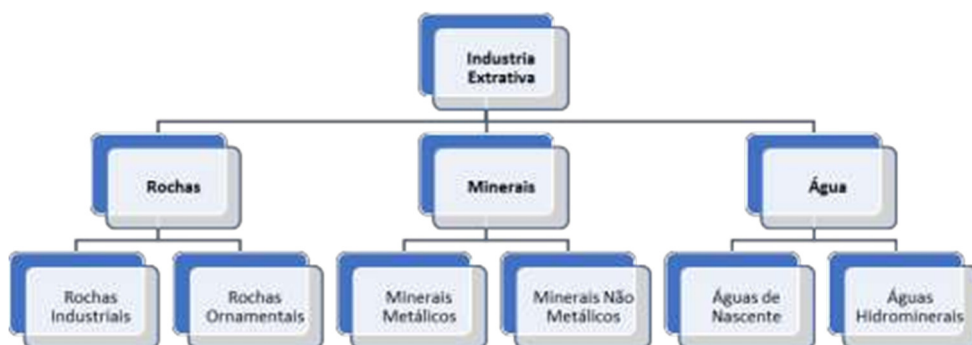


Figura 1 – Tipos de indústria extractiva (Matos *et al.*, 2011).

No caso concreto do presente estudo, irá ser abordada a indústria extrativa de rochas industriais.

A exploração de uma pedreira a céu aberto é uma complexa atividade usada para explorar normalmente depósitos próximos da superfície, onde é possível a sua viabilidade económica. Necesita de um forte investimento inicial e nos dias de hoje, em que a procura escasseia e a oferta abunda, é imperativo rentabilizar ao máximo cada operação que constitui o ciclo de exploração.

O ciclo de exploração de uma pedreira a céu aberto resume-se às operações apresentadas na Figura 2.



Figura 2 - O ciclo de exploração de uma pedreira a céu aberto.

Hoje em dia existe uma procura constante na tentativa de otimizar cada uma destas etapas do ciclo de exploração com vista principalmente à redução de custos sem nunca descuidar da qualidade do trabalho executado, assim como a qualidade dos produtos finais a comercializar.

Relativamente à escolha do método de exploração, ao explosivo a aplicar e às máquinas a utilizar no processo de desmonte, um dos fatores mais preponderantes é a caracterização geomecânica do maciço rochoso.

Dentro do ciclo básico de exploração - desmonte, carga e transporte - a primeira operação tem como objectivo principal a fragmentação da rocha no intuito de alcançar o tamanho certo para otimizar a produtividade de todo o ciclo e, por conseguinte, reduzir os custos de exploração. As operações de carga e transporte estão intimamente ligadas entre si. São operações que exigem um redimensionamento constante ao longo da vida da pedreira, isto porque, em cada momento estas duas operações têm que ser adequadas às condições de crescimento da exploração, tendo em conta o aumento do comprimento das pistas de circulação e a produtividade desejada (Lopez Jimeno *et al.*, 1991).

1.2 Objectivo e Enquadramento

O objectivo deste estudo é tentar aferir a influência que os desvios de furação têm na qualidade final da fragmentação após o desmonte. Para tal, será feita uma comparação entre os resultados obtidos com o *software* WipFrag relativos à curva granulométrica com os resultados obtidos da modelação da bancada onde estarão presentes os desvios de furação.

Uma medição rápida e precisa da rocha fragmentada é essencial para o desmonte e para a indústria extrativa em geral (Maerz, 1990).

Na indústria extrativa, medições precisas da fragmentação podem ser usadas para avaliar o uso de diferentes explosivos, diagramas de fogo e tempos de retardo. Pode ser usado, inclusive, no tamanho do bloco “in situ” para avaliar a eficiência do desmonte e a precisão das simulações de desmonte. Pode ainda ser usado numa visão de otimização do desmonte e, consequentemente, de redução de custos.

Este tipo de medições revela-se muito importante para a monitorização e produção de finos sendo que estes absorvem e desperdiçam uma parte da energia explosiva, incentivando à oxidação podendo levar à densificação ou bloqueio dos furos. Sendo também importante para a granulometria mais grosseira para que, posteriormente, se possa evitar aumentos de custos relativamente à fragmentação secundária.

1.3. Estrutura

No que diz respeito à sua organização, este trabalho é constituído por 6 capítulos principais, organizados da seguinte forma:

- No capítulo 1 faz-se uma contextualização do trabalho referido fazendo um enquadramento e delimitação do tema do mesmo. Ainda se expõe quais os principais objetivos a atingir com a presente dissertação;
- No capítulo 2 apresente todo o suporte teórico relacionado com o tema que se pretende abordando temas como metodologias de exploração típicas em rocha e todos os processos associados a este assunto: i) métodos de exploração direto e indireto; ii) conceitos de fragmentação; iii) explosivos e acessórios de detonação;
- O capítulo 3 reporta todos métodos e técnicas utilizados para a realização do presente trabalho: Laser Profile 3D; Boretrak e Wipfrag. São feitas descrições relativamente à finalidade com que foram utilizados cada um destes equipamentos e softwares bem como as suas vantagens e desvantagens;
- O capítulo 4 apresenta os casos de estudo levados a cabo no presente trabalho, sendo estes: Pedreiras de Cervães, Vila Nova de Famalicão, Tondela e Santo Tirso, sendo feito para cada um destes casos, um enquadramento local, geológico, geomorfológico e hidrogeológico;
- O capítulo 5 apresenta uma discussão dos resultados obtidos das investigações desenvolvidas no decurso desta dissertação;
- O capítulo 6 apresenta todas as conclusões e perspetivas futuras relacionados com os resultados obtidos e discutidos no capítulo 5.

Por fim, apresenta-se umas listagens de referências bibliográficas consultados ao longo do desenvolvimento do presente trabalho.

CAPÍTULO 2

Métodos de exploração e operações típicas no desmonte de rocha

(Página propositadamente em branco)

2. Métodos de exploração e operações típicas para desmonte de rocha

2.1 Métodos de exploração

O método de desmonte define-se como o conjunto de processos utilizados para a realização da extração da substância útil do maciço.

Em termos gerais, pode-se afirmar que existem dois métodos de exploração:

- Desmonte a céu aberto - aplicado a jazigos próximos da superfície;
- Desmonte subterrâneo – aplicado a jazigos de grande profundidade

A escolha do método de exploração a utilizar é feita com base na análise do local de implantação da pedreira, tendo em conta as características do mesmo, das necessidades de produção e ainda do tipo e valor comercial da rocha.

2.1.1 Métodos de desmonte a céu aberto

Os métodos de desmonte a céu aberto podem ser em flanco de encosta ou em corta (Figuras 3 e 4). A posição da rocha e a viabilidade económica do seu aproveitamento ditará, qual dos dois métodos se deve adotar.



Figura 3 - Exploração em flanco de encosta.



Figura 4 - Exploração em corta (fonte: <http://www.radiocampanario.com/ultimas/regional/marmore-decrescimo-de-jazidas-podem-colocar-sector-em-risco>).

Nas explorações a céu aberto a dimensão dos degraus deve garantir a execução das manobras com segurança, obedecendo às seguintes condições:

- A altura dos degraus não deve ultrapassar 15 m, mas na configuração final, antes de se iniciarem os trabalhos de recuperação paisagística, esta não deve ultrapassar os 10 m;
- Na base de cada degrau deve existir um patamar, com, pelo menos, 2 m de largura, para permitir a execução dos trabalhos e a circulação dos trabalhadores;
- Os trabalhos de arranque num degrau só devem ser retomados depois de retirados os escombros provenientes do arranque anterior. (LNEG, 2000)

Os taludes de escavação terão uma inclinação no final da exploração que irá depender das características geomecânicas do maciço. Esta inclinação é função da relação entre altura da bancada e a largura do patamar. Assim, são habituais os seguintes ângulos médios de talude (Fernandes, 2006):

- 60° a 70° em rochas duras;
- 40° em rochas detríticas coerentes;
- 30° em rochas detríticas incoerentes.

2.2 Operações de desmonte de rocha

2.2.1 Desmonte e fragmentação da rocha

A operação de arranque é a primeira e muito importante operação de escavação a céu aberto, pois uma deficiente operação de fragmentação da rocha irá influenciar muito os rendimentos das restantes operações.

A fragmentação da rocha pode realizar-se fundamentalmente por dois métodos:

- Directo – por acção mecânica de uma ferramenta;
- Indirecto – realizado a partir da libertação de energia de um explosivo situado no interior do maciço rochoso.

Para se obter fragmentação pelo método indirecto, é preciso que os valores das tensões de tracção instaladas no maciço pela acção dos explosivos sejam superiores às tensões de rotura à tracção da rocha (Vaz, 2008).

A onda de compressão libertada vai propagar-se em todas as direcções e quando atingir uma superfície livre é reflectida, originando ondas de tracção no interior do maciço, igualmente responsáveis pela fracturação (Vaz, 2008).

2.3 Controlo da Fragmentação

Segundo Bernardo (2014) *“Para obter bons resultados de fragmentação e combinar adequadamente os explosivos (cargas de fundo e de coluna), a rocha em presença e a geometria do diagrama, é importante conhecer: o processo de rotura da rocha, a composição da energia do explosivo (energia de choque / energia de deslocamento) e a interacção explosivo-rocha.”*

O controlo da fragmentação está dependente de uma série de fatores que influênciam diretamente a sua qualidade, sendo um destes a geometria que é aplicada no diagrama de fogo. Dentro da geometria do diagrama de fogo são tidos em conta fatores como a distância à frente livre, o espaçamento entre furos, o comprimento dos mesmos e ainda os desvios de furação.

2.3.1 Otimização da fragmentação

Segundo Mohanty *et al.*(1996), só se consegue otimizar a fragmentação quando o tamanho das partículas obtido das operações de desmonte de rocha está dentro dos limites desejados. O tamanho das partículas desejado está diretamente dependente da instalação de britagem que irá processar o material desmontado e também da granulometria do mesmo que se pretende obter no final.

2.3.2 Fragmentação ótima da rocha

Segundo Hartman *et al.*(1992), o conceito da fragmentação ideal da rocha consiste em atender às variadas demandas dos diferentes consumidores, tendo em consideração os vários tamanhos de calibres de produtos finais que estes possam exigir, reduzindo o custo de esmagamento e operações de moagem e, finalmente, mantendo os custos de desmonte de rocha.

Para que isto ocorra, a rocha deve ser fragmentada de tal forma a que se possa evitar processos de fragmentação secundária. Se o custo por tonelada de rocha desmontada é maior que o valor comercial da mesma, então a produção não pode ser considerada rentável. Assim, o custo de britagem deve ser minimizado tendo que ser assegurado que, através do processo de desmonte, a fragmentação primária da rocha seja o mais otimizada possível.

2.3.3 Alcance da fragmentação ótima

Ainda segundo Hartman *et al.*, 1992, para se conseguir obter a fragmentação ótima é necessário efetuar o desmonte de rocha tendo em vista a otimização de todos os parâmetros que possam ser controlados.

O controlo da fragmentação é um dos parâmetros que podem ser controlados após o desmonte de rocha. Isto refere-se à medição da fragmentação com o objetivo de, em desmontes subsequentes, se prever às correções necessárias a implementar no diagrama de fogo.

Para a otimização do diagrama de fogo é ainda necessário estabelecer um compromisso entre os objetivos relativos à fragmentação e custos de perfuração e explosivos. Além disto, as empresas têm que reduzir os custos inerentes à produção para que se mantenham competitivas. Por isto ser tão importante o estudo da fragmentação pós-desmonte porque permite fazer uma avaliação da qualidade do explosivo utilizado e redução de custos com a fragmentação secundária.

Segundo Gomes, Galiza & Vieira (2006), o fim a que se destina o material desmontado ditará as exigências de maior ou menor fragmentação aquando do desmonte.

Se o material desmontado no seu processo de valorização seguinte tiver de ser submetido a uma operação de redução de calibres, é natural que já no desmonte se verifique essa preocupação, tanto mais, que menores calibres contribuem largamente para um maior rendimento do equipamento de carga e transporte.

Ainda segundo Gomes, Galiza & Vieira (2006), a fragmentação pelo método indirecto é utilizada no desmonte em bancada e é afectada pelos seguintes factores:

- **Estado de fracturação natural do maciço** – é o único factor incontrolável. Tem a ver com a atitude, a continuidade, o espaçamento das fracturas, a plasticidade, a presença de água, a fracturação e as falhas. Apesar de incontrolável, o técnico responsável pelo

rebetamento com explosivos deve ser capaz de avaliar as circunstâncias em que se realiza cada rebetamento e ajustar os parâmetros do diagrama de fogo de modo a contrariar o efeito negativo das características geológicas locais;

- **Propriedades físico-mecânicas do maciço rochoso** – são as características de resistência de rotura à compressão e tracção, densidade, velocidade sísmica, dureza e fragilidade do maciço rochoso. São características importantes para se identificar o tipo de maciço rochoso, uma vez que, quanto maior for a resistência de rotura à tracção, maior será a energia necessária para o desmontar. O mesmo acontece em relação à perfuração a realizar, a qual encontrará mais ou menos dificuldade em perfurar a rocha consoante o seu grau de dureza;
- **Carga específica** – é a quantidade de explosivo (kg) utilizado para desmontar um metro cúbico de rocha (m³). Quanto maior a carga específica mais fragmentada irá ficar a rocha, mas maior será a probabilidade de projecções. A carga específica pode ser calculada através da equação 1:

$$q = \frac{n \times Qt}{n \times E \times V \times K}$$

Equação 1 – Calculo da carga específica (Gomes *et al.*, 2006).

Onde:

- q – Consumo específico de explosivo;
- n – Número de furos;
- Qt – Peso total da carga por furo;
- E – Espaçamento entre furos;
- V – Distância à frente;
- K – Altura de bancada;

- **Perfuração específica** – é a quantidade de metros de furo (m) realizados por metro cúbico de rocha (m³). Quanto maior o diâmetro de perfuração, menor será a perfuração específica, já que possibilita o aumento de concentração de carga. No entanto, o risco de maiores projecções e vibrações aumenta. Pode-se calcular a perfuração específica segundo a equação 2:

$$b1 = \frac{n \times H}{n \times E \times V \times K}$$

Equação 2 – Cálculo da perfuração específica (Gomes *et al.*, 2006).

Onde b1 representa a perfuração específica e H representa o comprimento do furo.

- **Diagramas de fogo** – o principal factor que distingue os diferentes diagramas de fogo é a relação espaçamento/distância à frente. Para uma fragmentação de menores calibres a relação entre os dois factores deve ser próxima de 8. Caso contrário, para obter uma fragmentação de maiores calibres então a relação terá de baixar para 0,5. Uma boa relação rondará os 1,25;
- **Sequência de Iniciação** - a sequência com que se dão as detonações de cada um dos furos do rebentamento. É um factor importante, uma vez que, uma temporização inadequada, para além de prejudicar a fragmentação, também pode originar projecções verticais ou projecções da primeira fiada de furos consoante o intervalo de tempo utilizado;
- **Qualidade da perfuração** - é um factor muito importante para o resultado final do rebentamento. Uma furação bem realizada, controlando e minimizando os desvios, é condição essencial para o bom desempenho resultante do rebentamento do explosivo, já que as cargas ficarão convenientemente distribuídas no maciço a fragmentar. Este factor tem que ter em consideração as propriedades físicas das rochas que influenciam o mecanismo de perfuração tais como a dureza, a resistência à compressão, a elasticidade, a plasticidade, a abrasividade, a textura e a estrutura;
- **Desvios de perfuração** - existem três causas responsáveis pelos desvios de perfuração:
 - Desvios provocados pela má selecção do equipamento de perfuração;
 - Desvios provocados pelo operador;
 - Desvios provocados pelas propriedades geomecânicas do maciço rochoso.

Estas três causas para os desvios de furação podem traduzir-se em graves consequências tais como riscos de projecções; produção de blocos; formação de repés; falha na movimentação da rocha; sobre fracturação na parte posterior da bancada; risco do aumento de vibrações; aumento do custo do explosivo.

2.4 Fragmentação Secundária

A fragmentação secundária é uma operação que consiste em reduzir a dimensão dos blocos resultantes de um rebentamento e que têm dimensões superiores à capacidade da máquina de carregamento ou do equipamento de britagem a que se destinam. É uma das operações mais dispendiosas contribuindo amplamente para o custo relativo à fragmentação. Esta operação deverá ser monitorizada de forma a encontrar a melhor metodologia de execução que garanta a minimização dos custos de produção.

Segundo Gomes, Galiza & Vieira (2006), podem ser utilizados três métodos para realizar fragmentação secundária, os quais consistem em:

- Colocar um explosivo sobre o bloco;
- Executar um furo na rocha para colocar um explosivo;
- Utilizar o martelo demolidor.

2.4.1 Colocação de explosivos sobre o bloco

A colocação do explosivo sobre o bloco (figura 5) deve obedecer a alguns parâmetros entre os quais:

- Deve-se utilizar um explosivo fraturante;
- O explosivo colocado sobre o bloco deve ser coberto com argila;
- Deve ser usada uma carga específica na ordem de $1,0 \text{ kg/m}^3$.



Figura 5 – Colocação do explosivo sobre o bloco.

2.4.2 Execução de um furo para colocação de explosivo

Este é o método mais utilizado relativamente aos que se recorre ao uso de explosivos e consiste na execução de um furo para colocação do explosivo e que deve obedecer às seguintes condições (figura 6):

- O furo deve ser executado de modo a atingir o centro geométrico do bloco;
- A carga colocada no furo deve ser suficiente para partir o bloco, normalmente com um valor de $0,060 \text{ kg/m}^3$;
- Deve ser executado um tamponamento eficaz.

Este método é utilizado quando existem blocos de dimensão superior a $1,5 \text{ m}^3$



Figura 6 – Colocação do explosivo dentro do furo executado no bloco.

2.4.3 Medidas de segurança na fragmentação secundária com explosivos

Existem normas e regulamentações para que os trabalhos de fragmentação secundária de rocha se realizem com segurança (Gomes *et al*,2006), tais como:

- Observar se a superfície do bloco possui fracturas;
- Utilizar uma barreira de protecção para executar a fragmentação;
- Utilizar preferencialmente cargas colocadas em furos em vez de cargas de contacto, pois estas provocam maior ruído e onda de choque aérea;

- Usar-se o mesmo tempo de detonador, quando se rebentam vários furos no mesmo bloco;
- Deve-se evitar utilizar cordão detonante porque produz muito ruído e onda de choque aérea.

2.4.4 Martelo Demolidor

Dos 3 métodos possíveis para realizar a fragmentação secundária, a tendência actual recai no uso do martelo demolidor. O martelo demolidor é uma ferramenta acoplada a uma retroscavadora devendo ser usado em material duro, abrasivo e quebradiço. As principais razões para uso do martelo hidráulico em detrimento dos outros dois métodos, baseiam-se nas seguintes questões (Gomes *et al.*, 2006):

- Eliminação de projecções, que por vezes são difíceis de controlar;
- Apesar de provocar algum ruído de forma contínua, é muito menor do que o ruído provocado pelo rebentamento de um explosivo rápido e normalmente pouco confinado;
- Economicamente mais barato, por ser mais mecanizado e com menos utilização de mão-de-obra;
- Método muito mais seguro.



Figura 7 – Fragmentação secundária através do martelo demolidor (fonte: <https://http2.mlstatic.com/martelo-hidraulico-novo-rompedor-para-retroscavadeira>).

2.5 Explosivos e acessórios de detonação utilizados no desmonte de rocha

O explosivo é um composto químico, constituído fundamentalmente por substâncias combustíveis (ricas em carbono) e substâncias comburentes (ricas em oxigénio) que quando ativadas por uma fonte de energia térmica ou mecânica se decompõem bruscamente, libertando um elevado volume de gases a alta temperatura (Gomes *et al.*, 2008).

Os principais parâmetros de selecção de explosivos são os seguintes:

- **Força de um Explosivo** – É caracterizada pelo trabalho que um determinado explosivo é capaz de efectuar em condições normais de utilização. É expressa por unidade de peso ou unidade de volume, relativamente ao trabalho realizado pela unidade de peso ou volume de um explosivo tomando como referência a dinamite a 33% de nitroglicerina (Gomes *et al.*, 2008);
- A eficiência deste é determinada não só pelo conhecimento da energia total libertada, mas também entre a relação desta e a que efectivamente é utilizada na fragmentação e movimentação da rocha;
- **Velocidade de detonação** – é a velocidade a que se propaga a decomposição ao longo do comprimento de uma carga explosiva (Cooper, 1997). Esta é tanto maior quanto maior for o confinamento da carga;
- **Diâmetro dos furos** - quanto maior o diâmetro da carga, maior a velocidade de detonação. Cada explosivo tem o seu diâmetro crítico de utilização, abaixo do qual o fenómeno de detonação não se propaga (Bhandari, 1997), também depende do tipo de explosivo e da temperatura do meio ambiente, logo do maciço rochoso;
- **Densidade do explosivo** – É o peso específico do explosivo (Akhavan, 2004), pode variar entre 0,8 e 1,65 g/cm³.
- **Impedância do Explosivo** – É o produto da velocidade de detonação pela densidade de carga do explosivo. É habitual, aquando da escolha do explosivo para o desmonte de um maciço rochoso, utilizar o seguinte critério, a impedância do explosivo a utilizar deverá ser mais próxima da impedância acústica do maciço rochoso (produto da velocidade de propagação sísmica no maciço pela densidade da rocha que o constitui (Gomes *et al.*, 2008).
- **Sensibilidade** – Traduz a aptidão de um explosivo à sua activação pela detonação de outra carga próxima, medida pelo espaço máximo entre as duas cargas iguais, não confinadas, para o qual é possível a detonação da segunda carga provocada pelo rebentamento da primeira (coeficiente de auto-detonação); para assegurar uma

conveniente velocidade de detonação é necessário assegurar uma adequada energia de activação (Gomes *et al.*, 2008).

- **Segurança no manuseamento** – É uma característica muito importante dos explosivos industriais permitindo o transporte e carregamento dos furos em condições de segurança.
- **Toxicidade dos fumos** – Os gases produzidos na reacção são mais ou menos tóxicos (Bhandari, 1997), causando um considerável mal-estar às pessoas que os inalam.
- **Bom comportamento durante o armazenamento** – Quando sujeitos a longos períodos de armazenamento, às vezes em condições deficientes, alguns explosivos vão perdendo as suas características, tais como a sensibilidade à iniciação e a aptidão à propagação da reacção, reduzindo a sua eficácia (Gomes *et al.*, 2008).

2.5.1 Factores que influenciam a selecção de explosivos

São muitos os factores que influenciam a selecção de explosivos e, por isto, é necessário ter estes mesmos factores em consideração para que a escolha seja o mais adequada possível de acordo com o trabalho que se pretende realizar (Heinio, 1999).

Logo a selecção de explosivos deve ser apoiada nos seguintes parâmetros:

- **Diâmetro dos furos** – os explosivos possuem um diâmetro crítico não permitindo a sua utilização abaixo desse diâmetro, já que são grandes as possibilidades de ser interrompida a detonação;
- **Impedância do explosivo** – este valor terá que ser sempre o mais aproximado possível da impedância do maciço;
- **Resistência à água** - principalmente quando se prevê a sua utilização abaixo do nível freático ou em períodos de pluviosidade;
- **Sensibilidade** - a qual deve permitir o manuseamento em segurança;
- **Bom balanço de oxigénio e baixa toxicidade** - principalmente quando são para utilizar em desmonte subterrâneo.

2.5.2 Sistemas de iniciação

A utilização em grande escala de agentes explosivos exigiu um grande desenvolvimento nos sistemas de iniciação pela relativa insensibilidade de alguns produtos e para se poder tirar o máximo partido da energia disponível dos mesmos (Gomes *et al.* 2008).

Segundo Persson *et al.* (1993), quando as propriedades do maciço rochoso possam interferir no processo de iniciação, recomenda-se a realização de testes de permeabilidade ou ensaios de perda de água, os quais possam avaliar o grau de fracturação do maciço e auxiliar na escolha do explosivo e na forma de carregamento mais adequada para este tipo de situação.

Existem diferentes técnicas para a iniciação do explosivo (Gomes *et al.*, 2006):

- Iniciação no fundo do furo;
 - A iniciação no fundo do furo tem um melhor aproveitamento da energia do explosivo, resultando no aumento da fragmentação, no deslocamento da rocha e na diminuição das projecções.
 - O nível de vibração também é inferior, pois a onda de choque desloca-se em direção à superfície.
 - Para além destas vantagens, a iniciação no fundo do furo produz menos falhas por corte quando se usa detonante ao longo da coluna de explosivos.
- Iniciação à superfície;
 - Com a iniciação à superfície a eficiência do tamponamento é menor, pois tanto o material de tamponamento como a rocha da parte superior começam a mover-se alguns milissegundos antes do explosivo da zona inferior detonar.
 - Este fenómeno produz má fracturação no fundo do furo e mau deslocamento do maciço rochoso nessa mesma zona.
- Iniciação múltipla;
 - O choque das ondas de iniciação múltipla produz maiores tensões nos pontos de colisão que no sistema de iniciação simples. Esta técnica de iniciação pode revelar-se interessante quando se pretende obter uma melhoria na fragmentação.
- Iniciação axial
 - A iniciação axial resulta do emprego de cordão detonante ao longo da coluna para iniciação dos explosivos. Este tipo de iniciação é mais eficiente em rochas brandas e muito diaclasadas.

2.5.3 Controlo da qualidade do sistema de iniciação

Para alcançar bons resultados nas operações do desmonte de rocha, além da selecção do explosivo, depende ainda da correcta escolha e utilização adequada dos dispositivos de iniciação. O dispositivo iniciador é o termo empregado pelos fabricantes de explosivos para descrever qualquer mecanismo que pode ser utilizado para dar início a um processo de detonação (Hopler, 1998).

Esta iniciação pode ser feita através da introdução de um detonador num cartucho de explosivo, que estará em contacto com o resto da carga ou através da ligação de um detonador ao cordão detonante, que se encontra em contacto, ao longo de toda a carga, transmitindo-lhe a detonação.

Dentro destes procedimentos, há depois variações quanto ao tipo de detonador (elétrico, não elétrico e eletrónico) e quanto ao tipo de cordão detonante.

2.5.3.1 Detonadores Elétricos

Ainda segundo a Sociedade Portuguesa de Explosivos (1998), os detonadores elétricos (figura 10) são constituídos por duas partes (detonadores instantâneos) ou por três partes (detonadores de retardo), que estão dentro de um casquilho metálico de alumínio.

Estes detonadores funcionam por via de inflamação de um filamento percorrido por correntes elétricas, de média ou alta intensidade, sendo os mais utilizados os de média intensidade e os de alta intensidade apenas em trabalhos subterrâneos.



Figura 8 -Exemplo de detonador elétrico (Bernardo,2005)

2.5.3.2 Detonadores não elétricos

Segundo a Sociedade Portuguesa de Explosivos (1998), os sistemas de iniciação não elétricos são utilizados principalmente em locais onde exista a possibilidade de haver iniciações indesejáveis, locais próximos de linhas elétricas ou vias férreas eletrificadas.

Os detonadores não elétricos (figuras 8 e 9), são constituídos por um tubo de plástico que contem no seu interior uma substância reativa, não explosiva, que mantém a propagação da onda a uma velocidade de aproximadamente 2000 m/s.

A série de micro-retardos deste tipo de detonadores é formada por 18 números (do 3 ao 20), com um retardo de 25 ms entre os números consecutivos e com diversos comprimentos de tubo, existindo também uns ligadores para unir os vários tubos.

Estes tipos de detonadores podem ser iniciados quer por um explosor adequado, quer por detonares elétricos.

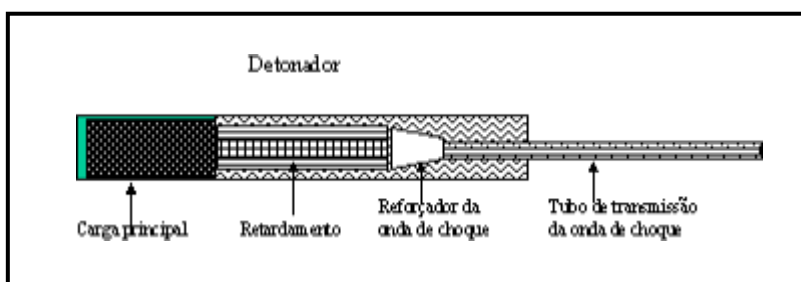


Figura 9 – Interior de um detonador não elétrico (Galiza *et al*,2006).



Figura 10 – Exemplo de um detonador não elétrico usado na pedreira de Cervães, propriedade da empresa Mota-Engil.

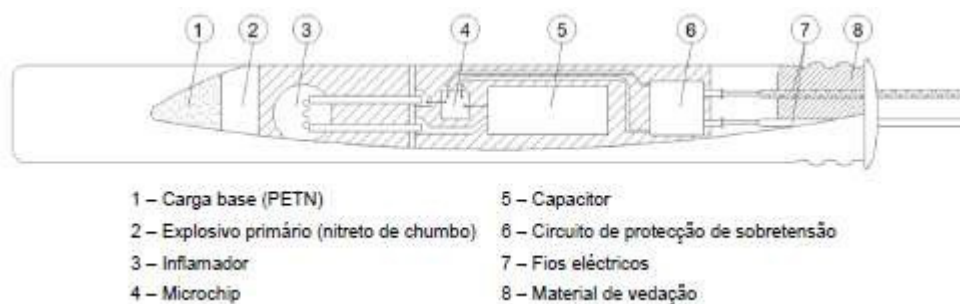
2.5.3.3 Detonadores eletrônicos

Segundo Gomes (2003), o sistema de iniciação através de detonadores eletrônicos (figuras 11 e 12) baseia-se num método digital e programável, no qual podem ser definidos intervalos de 1 ms a 4000 ms, com 1/10 de ms de precisão, permitindo realizar explosões controladas fazendo uso de detonadores eletrônicos de atraso.

Os detonadores eletrônicos têm na sua constituição, entre outros componentes, uma carga explosiva e um circuito eletrônico, o qual possui um *microship*, que assegura a autonomia e o disparo do detonador, sendo que apenas podem ser iniciados quando recebem um código de ativação. O seu circuito está protegido contra sobretensões e não é acionado por qualquer tipo de corrente estática ou rádio frequência (Jimeno *et al.*, 1995; Mota, 2011).



Figura 11 – Exemplo de detonador eletrônico (Bernardo, 2005)



- | | |
|--|--|
| 1 – Carga base (PETN) | 5 – Capacitor |
| 2 – Explosivo primário (nitreto de chumbo) | 6 – Circuito de protecção de sobretensão |
| 3 – Inflamador | 7 – Fios eléctricos |
| 4 – Microchip | 8 – Material de vedação |

Figura 12 -Interior de um detonador eletrônico (adaptado de Persson *et al.*, 1993).

A consola de fogo permite detetar se existe algum detonador no circuito que não esteja em funcionamento ou em falta, assim como pode iniciar mais de 1200 detonadores eletrônicos numa única aplicação (figura 13).



Figura 13 – Consola de fogo dos detonadores eletrônicos.

2.5.3.4 Comparação técnica entre os detonadores

A tabela 1 apresenta a comparação técnica entre detonadores (Adaptado de Bernardo, 2014).

DETONADORES		
Elétricos	Não-Elétricos	Eletrônicos
Utilizados eventualmente para pegas de fogo de pequenas dimensões onde não existam problemas de vibrações na envolvente.	Utilizados para pegas de fogo de grandes dimensões, mas onde sejam necessários requisitos especiais de fragmentação ou sem problemas de vibrações na envolvente.	Utilizados em pegas de fogo de grandes dimensões onde existam requisitos especiais de fragmentação e/ou problemas de vibrações na envolvente.

2.6 Estimativa do custo de energia na produção

Para estimar a energia consumida pelo fragmentador primário e na falta de um contador aplicado para este equipamento, foi utilizada a equação de *Bond* (equação 3). Esta equação associa a redução do material a fragmentar com o tamanho do material que entra e sai do fragmentador em microns e ainda um factor de propriedade da rocha. *Bond*, para chegar a esta equação, fez várias experiências com várias rochas até encontrar o W_i , o factor de propriedade de rocha (Eloranta, 1997). No caso em estudo, e segundo Sampaio (2006), o factor de propriedade do granito é de 16,7.

$$E = 10 \times W_i \times \left[\frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{A}} \right]$$

Equação 3 – Equação de Bond (Eloranta, 1997).

Sendo nesta equação:

- W_i , Impacto rocha ígnea granito;
- P , abertura de fecho do primário (μ);
- A , pedra de maior dimensão (μ)
- E , energia necessária para produzir 1 tonelada de material (KW/t).

(Página propositadamente em branco)

Capítulo 3

Métodos e Técnicas utilizadas

(Página propositadamente em branco)

Neste capítulo serão apresentadas as técnicas e métodos utilizados para a execução do presente trabalho.

3. Métodos e Técnicas Utilizadas: Laser Profile, Boretrak e Wipfrag

3.1 Laser Profile 3D

O “Laser Profile 3D” trata-se de um aparelho topográfico de varrimento da frente de desmonte e registo de coordenadas por reflexão do feixe directamente na rocha. Os dados obtidos são utilizados para gerar uma planta em 3D compatível com o tratamento, destes mesmos dados, através do “software” (ShotPlus) específico para integração dos dados da perfuração obtidos com o equipamento “Boretrak”.

A utilização continua deste equipamento na vida de uma pedreira, traduz-se melhorar a marcação e colocação dos furos e deste modo obter os melhores resultados em termos de fragmentação, produtividade (mais carga), maior segurança em termos de exploração (com bancadas estáveis) e controlo de projecções.

Resumidamente, este equipamento cria uma modelação 3D da bancada que se pretende desmontar, ajustando a inclinação dos furos da pega de fogo de acordo com a distância à frente pretendida.

O laser deverá ser colocado de frente para bancada de forma que este tenha o alcance total da área que se pretende desmontar. Depois, deve-se definir os seguintes factores:

- Posicionamento dos furos da pega: este posicionamento é feito com a ajuda de uma mira (figura 14) em que esta posicionada exactamente onde se encontram os furos e, seguidamente, é feito um disparo com o laser para que este registe a posição dos mesmos;
- Definição da crista: é necessário definir a crista da bancada (parte superior);
- Definição da cota de funo: cota por onde se pretende que o corte pós desmonte seja feito na bancada;
- Modelação da bancada 3D: o laser tira vários pontos aleatórios dentro dos limites da área a desmontar, de forma a fazer a modelação da mesma.



Figura 14 - Laser Profile 3D da "Quarryman" e mira de disparo.

3.2 Boretrak

O "Boretrak" trata-se de uma sonda que se vai colocando dentro do furo ao mesmo tempo que se vão fazendo os registos em profundidade (figura 15). Esta medição pode ser feita de acordo com o rigor pretendido, com intervalos de um metro ou dois metros. Nos casos de estudo da presente tese, foram feitas medições de 2 em 2 metros porque é processo mais usual por parte da empresa Mota-Engil quando executa este tipo de ensaios e que se revela adequado para o tipo de estudo pretendido.

A sonda possui um inclinómetro digital e uma bússola digital que indicam a direcção e posição real de cada ponto do furo. Depois de executados os furos é possível verificar e registar a sua inclinação, direcção e comprimento e conjugar os dados obtidos com o equipamento "Boretrak" com os dados do "laser Profile".

A conjugação dos dados é feita através do *software* disponibilizado pela empresa Orica com o nome de "ShotPlus". Este *software* permite não só estudar as correções mais adequadas no que respeita à constituição da carga de explosivo, como ainda decidir pela anulação do furo e realização de um novo. É ainda possível verificar se os erros estão associados ao operador ou se estão relacionados com o tipo de ferramentas de perfuração.

Este equipamento apresenta várias vantagens, nomeadamente:

- Facilidade de utilização apenas com um operador;
- Visualização directa dos dados em tempo real à medida que se desce em profundidade;
- Tomadas de decisão com base na informação recolhida, nomeadamente a nível técnico-económico.



Figura 15 – Sonda “Boretrak” com respetiva interface externa de visualização

O relatório final depois da conjugação dos dados do “Laser Profile” e “Boretrak” que se pode obter através do “ShotPlus” tem o seguinte formato:

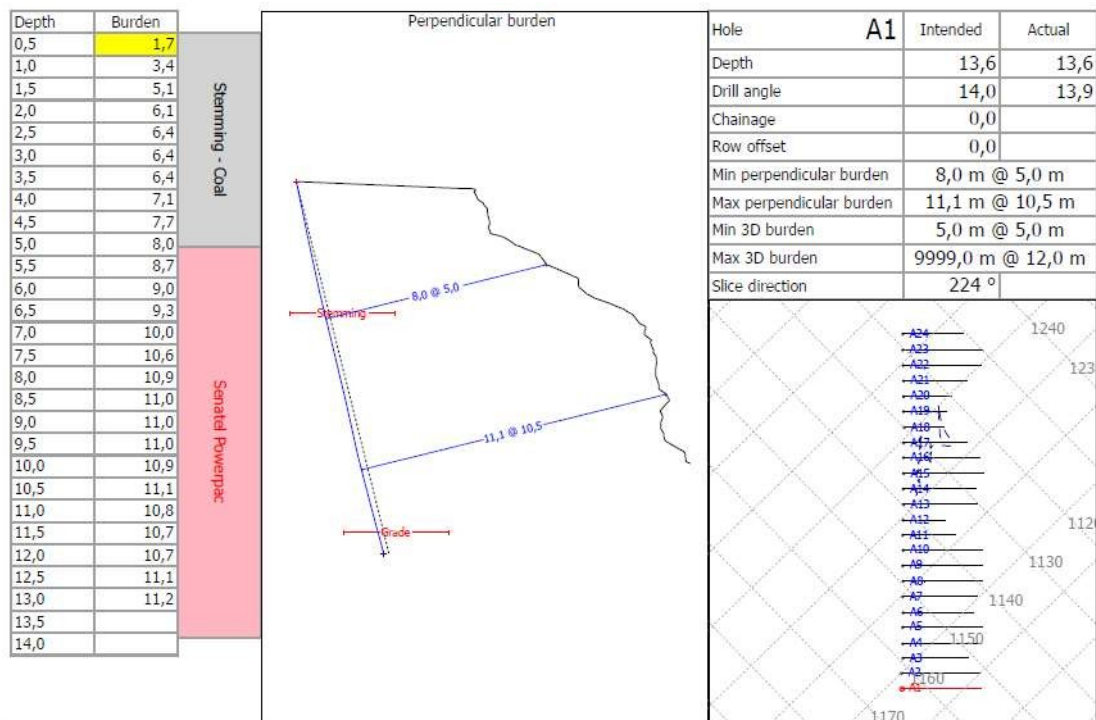


Figura 16 - Aspecto final do relatório através do software "ShotPlus".

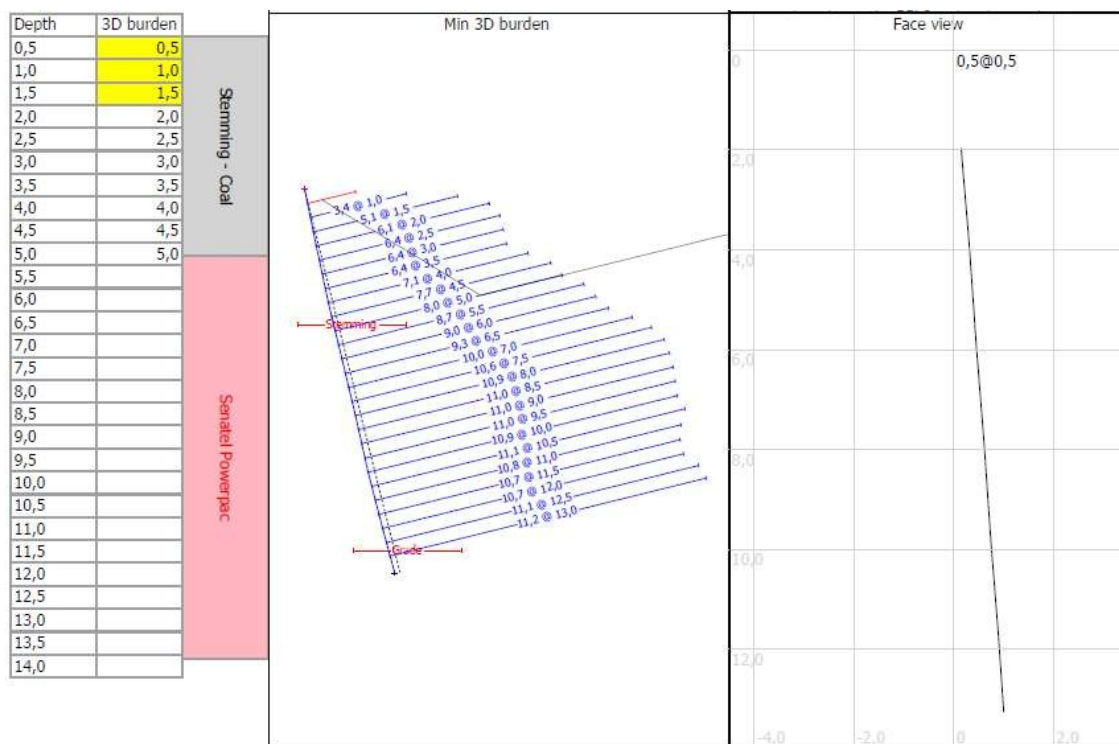


Figura 17 – Aspecto final do relatório através do software “Shotplus”.

O relatório final apresenta os desvios frontal e lateral de cada furo da pega de fogo. Apresenta o “Drill Angle Intended” (ângulo de perfuração pretendido), ou seja, a inclinação que o laser determinou como sendo a ideal e apresenta ainda o “Drill Angle Actual” (ângulo de perfuração real) que se traduz no ângulo medido depois da perfuração através do Boretrak.

3.3 Wipfrag

Atualmente existem várias maneiras de se medir a granulometria de partículas pequenas em laboratório, tais como centrifugação, sedimentação e análises microscópicas. Mas em caso de fragmentos muito grandes, como nos desmontes de rocha, apenas um método digital ótico (fotoanálise) é viável e prático.

O WipFrag é um *software* desenvolvido com a finalidade de visualizar faixas granulométricas do material de uma pilha de material, após um desmonte de rochas, através de dados numéricos e gráficos.

Resumidamente, o WipFrag utiliza uma imagem de vídeo ou fotográfica onde se tem uma escala, do material que se deseja obter a informação granulométrica. Esta imagem é

convertida numa “rede” de fragmentos pelo programa no computador, então a rede é medida, apresentada e plotada numa seleção de estatística da fragmentação e seus gráficos (figura 17).

Pelo WipFrag pode-se então obter uma análise da fragmentação do maciço desmontado em relação a quantidade de material encontrada em cada faixa granulométrica existente. Essa análise é feita apenas de forma superficial, ou seja, apenas na parte visível da pilha de material onde a fotografia ou filmagem pode captar.

A análise granulométrica torna-se importante, pois informa da presença de blocos maiores do que as dimensões do britador primário, o que exigiria quebra secundária de material e também a presença de material muito fino (com dimensões muito abaixo das do britador primário), indicando um superdimensionamento do diagrama de fogo.

O programa apresenta depois os resultados da leitura, sob a forma de histograma e apresenta também uma curva granulométrica do material fragmentado.

Tal como foi referido anteriormente no presente trabalho, o estudo da fragmentação do material após o desmonte será focalizado na fração mais fina e que influência esta terá numa visão global de toda a operação de exploração da rocha.

Podem apontar-se, relativamente ao software Wipfrag, as seguintes vantagens e desvantagens:

Vantagens: Deteta irregularidades; Estabelece controle de qualidades; Caracteriza a geologia; Resultados imediatos; melhora a segurança, Melhora a fragmentação; Objetivo de quantificação; Auxilia na redução da diluição e do desperdício.

Desvantagens: Erro de amostragem, uma vez que as fotografias podem captar zonas de maiores calibres ou zonas de menores calibres; O não delineamento da rocha, que resulta de fotografias mal focadas ou com iluminação inadequada provocando demasiadas sombras entre as rochas; A não captura de finos, por serem fragmentos pequenos, dificulta a sua identificação não permitindo o delineamento correto.

3.3.1 Processos de recolha de amostra e fotografia

Segundo Franklin *et al.*, 1996, o processo de recolha de amostra a utilizar no WipFrag resume-se à captação fotográfica da pilha de material em que se pretende avaliar a fragmentação. De uma forma geral, quando maior for o número de fotografias disponíveis da amostra, mais fiáveis serão os resultados finais obtidos (histograma e curva granulométrica). Isto deve-se ao

facto de muitas vezes, as amostras serem demasiado heterogéneas dificultando na obtenção dos resultados finais.

Para a recolha das fotografias das amostras deve seguir-se os seguintes passos:

- Selecionar a melhor perspetiva para a recolha da fotografia de forma que se torne numa representação fiável de toda a pilha de material em estudo;
- Utilizar um objecto (normalmente um quadrado de 1m x 1m) que sirva de escala para o tratamento de dados.
- É aconselhável que se recolha no mínimo 4 fotografias da amostra a estudar.

Precauções a ter na recolha das fotografias:

- Evitar ângulos demasiado amplos ou oblíquos que possam distorcer a escala utilizada;
- Sempre que possível, garantir uma luz uniforme na amostra de forma evitar a formação de sombras que possam adulterar os resultados finais (figura 18);
- Ter atenção à segregação da pilha de material. Muitas vezes, os grandes blocos tendem a deslizar para as extremidades da pilha e os finos instalam-se na superfície da mesma. Isto pode ser evitado com a recolha de fotografias de vários ângulos.
- Manter a máquina fotográfica em boas condições de trabalho, protegida da poeira ou de qualquer tipo de danos mecânicos.

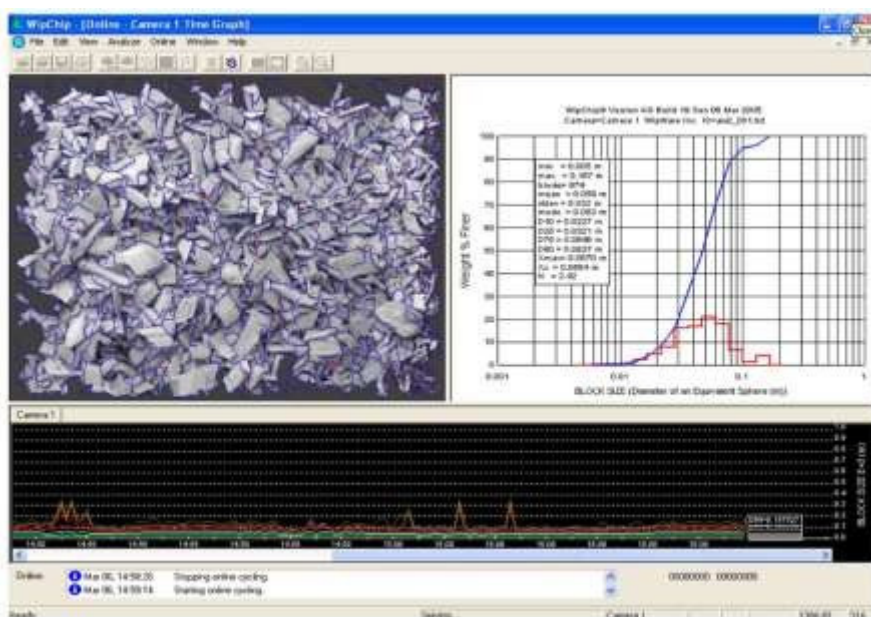


Figura 18 - Exemplo prático da aplicação do software Wipfrag (fonte: <https://landshaft-design.ru/prefix/731454.jpg>).

CAPÍTULO 4
Casos de estudio

(Página propositadamente em branco)

4. Casos de estudo

Este trabalho contemplou como casos de estudo as pedreiras da “Bouça do Menino” em Cervães, “Moinho de Vento” em Vila Nova de Famalicão, “Caramelo” em Tondela e “Coutada” em Santo Tirso, todas propriedades da empresa Mota-Engil Engenharia e Construção, SA.

4.1 Pedreira de Cervães “Bouça do Menino”

4.1.1 Localização Geográfica

A pedreira “Bouça do Menino” situa-se no lugar com o mesmo nome, na Freguesia de Cervães, Concelho de Vila Verde, Distrito de Braga pertencente à empresa Mota-Engil, SA. (figura 19).



Figura 19 – Representação do distrito de Braga, localização da pedreira “Bouça do Menino” (fonte: www.anmp.pt).

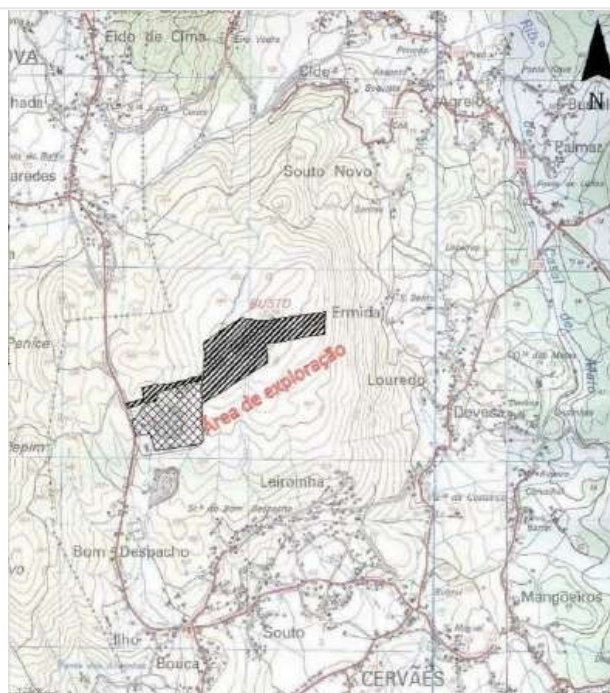


Figura 20 – Localização da pedreira Bouça do Menino (Mota-Engil, 2004).

4.1.2 Geologia local

A área referente ao local em estudo insere-se nos terrenos do Parautótone da Zona Centro Ibérica (ZCI), que corresponde a uma das unidades mais importantes do Maciço Hespérico e encontra-se cartografada pelos Serviços Geológicos de Portugal, à escala 1/50 000, na Folha 5-C – Barcelos (figura 21). As litologias que afloram no local da pedreira de “Bouça do Menino” correspondem a rochas de natureza granítica. Também ocorrem formações metassedimentares, tanto a nascente como a poente da área (tabela 2).

A rocha granítica é referenciada na respetiva carta geológica por **γπm**. Esta rocha corresponde a um granito de grão médio, de duas micas, não porfiróide. Na mesma carta, esta rocha insere-se num grupo maior de granitos monzoníticos, predominantemente biotíticos (C. Teixeira & Medeiros, 1969).

Através de sondagens realizadas pela empresa Mota-Engil Engenharia, S.A. foi possível apurar que o maciço exposto nos taludes de escavação da pedreira “Bouça do Menino”, apresenta as seguintes características:

1. Uma camada superficial de terra vegetal e de solo, igual ou inferior a 1m;
2. A parte superficial do maciço geológico corresponde a uma camada de areais médias e finas com cerca de 5m;
3. Em seguida, ocorre uma camada com cerca de 9m de espessura de granito monzonítico de grão médio a grosseiro muito alterado;
4. Posteriormente, ocorre um granito com as mesmas características, mas que se apresenta intensamente fracturado, espessura 3,5m;
5. Por fim, ocorre o granito de melhor qualidade, granito de grão grosseiro a médio, tonalidade azulada.

Tabela 2 – Características Macroscópicas da rocha granítica (Mota-Engil, 2004).

Características Macroscópicas da rocha granítica	
Textura	Grão médio a grosseiro, porfiróide.
Mineralogia	Predominantemente biotítico.
Estruturas	A rocha apresenta-se maioritariamente homogénea.
Grau de Alteração	O grau de alteração do maciço da zona da pedreira é considerável nas camadas superficiais, cerca de 5m de Saibro.
Fracturação	Duas famílias principais de diaclases, pouco espaçadas. Algumas destas estruturas dão lugar a zonas de falha.
Observações	Quartzo patenteia extinção ondulante, Biotite tem halos pleocróicos, Apatite é frequente.

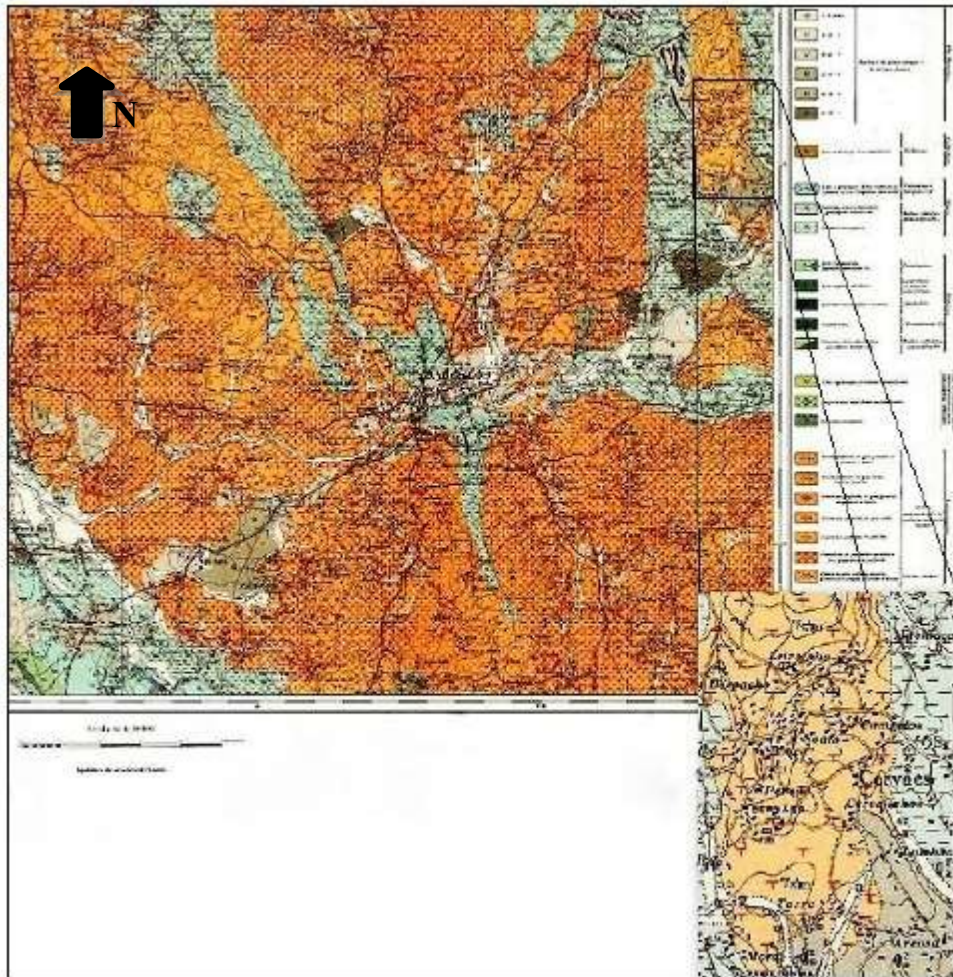


Figura 21 – Extrato da Carta geológica da folha 5-C Barcelos (adaptado de Medeiros C., Teixeira A., 1969).

4.1.3 Geomorfologia Local

As formas de relevo que ocorrem na região onde se insere o local da pedra em estudo encontram-se condicionadas pelo substrato rochoso, o qual, e como já referido, é predominantemente de natureza granítica. No entanto, e apesar de nas proximidades do local existirem faixas constituídas por formações de natureza metassedimentar, orientadas segundo a direcção NO-SE, as litologias graníticas que afloram, sendo mais resistentes à erosão, constituem as principais unidades geomorfológicas de toda a área.

O local onde se encontra inserida a pedra de “Bouça do Menino” caracteriza-se por apresentar um relevo moderadamente acidentado, ocupando uma vertente meridional virada a SE, da Serra da Gatanha.

De uma forma geral, as cotas mais elevadas localizam-se junto ao sector norte da área, atingindo a curva de nível dos 250 metros.

Na parte SE da área, as cotas do terreno atingem cerca de 185 metros de altitude, correspondendo ao ponto mais baixo de toda a área de exploração. As zonas de talvegue correspondem a linhas de água que drenam a área segundo o azimute N-S, apresentando um padrão sub-paralelo na parte nascente da área da pedreira. Para montante, as linhas de drenagem, adquirem uma direcção predominante segundo o azimute NO-SE, possivelmente relacionada com a escorrência de estruturas de origem tectónica do tipo frágil (figura 22).

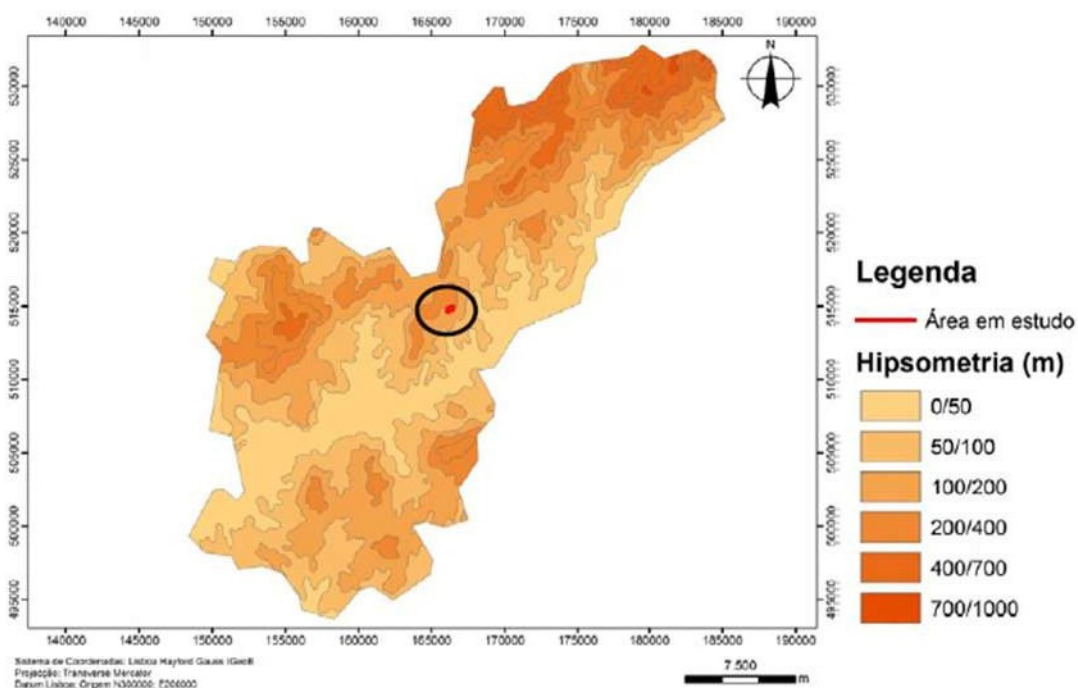


Figura 22 – Hipsometria do local da pedreira, concelho de Vila Verde. (fonte: www.sniamb.apambiente.pt/webatlas).

4.1.4 Hidrogeologia Local

Do ponto de vista hidrogeológico, o local caracteriza-se por ser um meio fissurado (forma de circulação da água devido ao facto de a litologia da região do Minho ser maioritariamente de natureza granítica), com permeabilidade média a baixa, tendo uma produtividade aquífera de 1 a 3 l/km². (adaptado de Carta Hidrogeológica na escala 1/200.000, PEDROSA, 1999).

4.2 Pedreira de Vila Nova de Famalicão “Moinho de Vento”

4.2.1 Localização Geográfica

A pedreira “Moinho de Vento” situa-se no lugar com o mesmo nome, situado nas Freguesias de Portela, Airão (S. João Baptista) e Escudeiros, respetivamente concelhos de Famalicão, Guimarães e Braga (figura 23 e 24).



Figura 23 – Localização geográfica dos concelhos de Braga, Famalicão e Guimarães (fonte: www.anmp.pt).

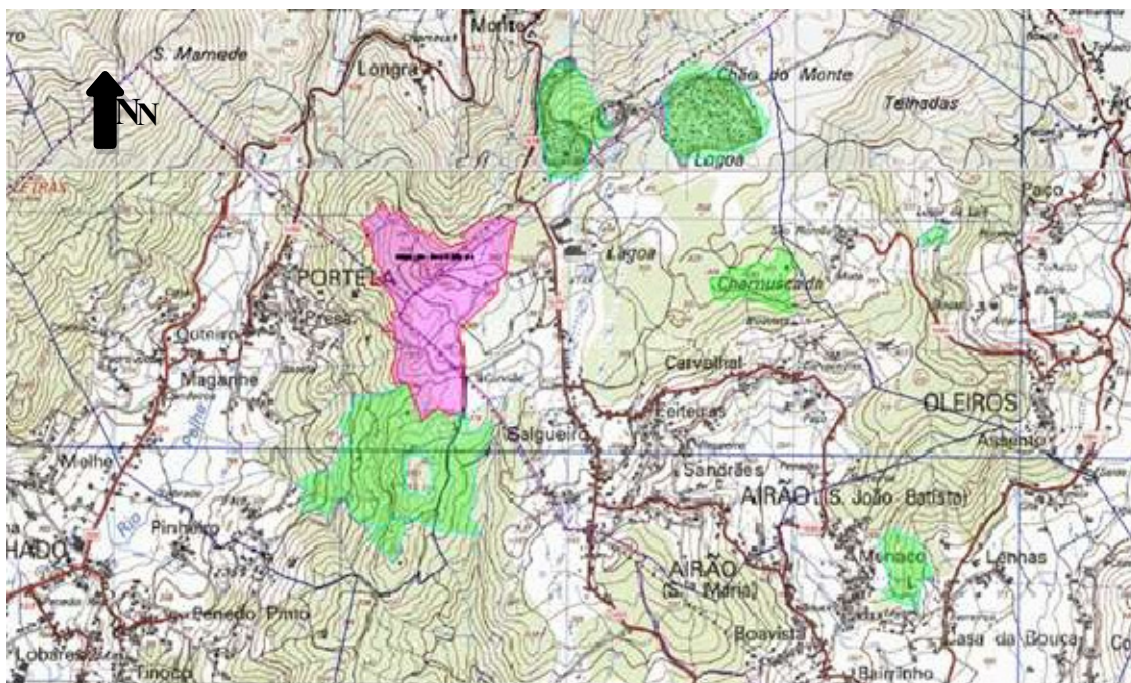


Figura 24 – Localização da Pedreira “Moinho de Vento” (magenta) e restantes pedreiras vizinhas (verde) (Mota-Engil, 2005).

4.2.2 Geologia Local

A litologia que ocorre na zona da pedreira de Moinho de Vento, corresponde essencialmente a um granito de grão médio, de duas micas, com uma foliação marcada pelo alinhamento das micas com orientação N40W, com predomínio de biotite, de cor mais escura. Mineralogicamente é constituído por quartzo, biotite, feldspato potássico e plagioclase. Os megacristais de feldspato existentes conferem-lhe o carácter porfiróide. Está referenciado na Carta Geológica Folha 9B – Guimarães, pelos Serviços Geológicos de Portugal como “Ym1” (Granitos de Airão, Aves e Roriz), classificado como granito *tardi* a pós-tectónico relativamente à fase D₃ da orogenia Hercínia, e encontra-se relacionada com movimentações ao longo dos cisalhamentos dúcteis de Viso-Régua e o Dúrico-Beirão (tabela 3).

Tabela 3 – Características macroscópicas da rocha granítica (Mota-Engil, 2005).

	Granito de Airão, Aves e Roriz (Ym1)
Textura	Grão médio, com tendência porfiróide
Mineralogia	Duas micas, essencialmente Biotítico; fénocristais centimétricos de feldspato dispersos de forma homogénea
Estruturas	Presença de encaves de grão fino a médio, de tendência básica e cor escura, de forma esférica a ovalada, dispersos ao longo do maciço de forma uniforme
Grau de Alteração	Espessura de alteração pouco expressiva (< 1metro); em zonas mais superficiais adquire tonalidade amarelada
Fracturação	Várias famílias de diaclases, relativamente espaçadas
Observações	Trata-se de uma rocha granítica bastante abundante em toda a região

4.2.3 Geomorfologia Local

Os concelhos onde se situa a pedreira encontram-se divididos em duas unidades geológicas principais: rochas metassedimentares na parte Ocidental e unidade graníticas na parte Leste. Onde incidem as rochas metassedimentares, em termos geomorfológicos, é mais aplanada e levemente ondulada. Já na zona granítica, revela-se mais acidentada, onde ocorrem as cotas mais elevadas (diferença máxima de cotas 410-350 metros).

A área do projecto insere-se num maciço granítico, com relevo bem definido, delimitado por vales que apresentam declives algo acentuados. Este maciço integra um importante alinhamento granítico, segundo a direcção NO-SE, paralelamente às estruturas regionais relacionadas com a terceira fase de deformação Hercínia (D3). A orientação do maciço corresponde a um alinhamento principal de cúpulas graníticas, o qual ocorre segundo a

mesma direcção, estando delimitado por vales acentuados, possivelmente relacionadas com a actuação de falhas tardias, com a mesma orientação.

A área encontra-se drenada por diversas linhas de água, seguindo um padrão sub-paralelo em ambas as vertentes do maciço. As orientações preferenciais das linhas de água seguem as direcções NNO-SSE e NE-SO, integrando uma rede de drenagem principal segundo NE-SO (Revisão do Plano Diretor Municipal de Vila Nova de Famalicão, 2004).

4.2.4 Hidrogeologia Local

A área da pedreira de “Moinho de Vento” apresenta duas unidades hidrogeológicas, com permeabilidades diferentes:

- Tipo Porosa – baixa permeabilidade;
- Tipo Fissural – alta permeabilidade

Estas duas unidades hidrogeológicas estão patentes nesta zona pois estão directamente associadas ao facto da unidade geológica mais presente ser de natureza granítica. Por este facto, consultada a carta hidrogeológica de Portugal, conseguimos deduzir que estamos perante uma zona com uma produtividade aquífera de 1 a 3 l/s.km² (adaptado de Carta Hidrogeológica na escala 1/200.000, Pedrosa, 1999).

4.3 Pedreira de Santo Tirso “Coutada”

4.3.1 Localização Geográfica

A pedreira de “Coutada” situa-se no lugar de Coutada de Lamosêlo, freguesia do Monte Córdova, concelho de Santo Tirso, distrito do Porto.

Mais especificamente, esta área margina a Norte com a EM1115, a Sul com áreas florestais e de baldio, a Este com o limite do concelho e a W com uma linha de água de carácter sazonal.

4.3.2 Geologia Local

A área da pedreira encontra-se cartografada pelos Serviços Geológicos de Portugal, na escala 1/50.000, na folha 9B-Guimarães.

As principais litologias que afloram na área estudo são granitos da idade Hercínica, *tardi* a pós-tectónicos relativamente à terceira fase de deformação.

Distinguem-se duas fácies principais que apresentam diferentes características: “Granito de Eiriz” e a mancha correspondente aos “Granitos de Guimarães e Santo Tirso”, referenciados na carta como “ $\Upsilon m2$ ” e “ $\Upsilon \pi g$ ”, respetivamente.

O primeiro granito, que corresponde à fácies predominante na área, classifica-se como um monzogranito de grão médio de tendência porfiroide, de duas micas. Os segundos, de escassa ocorrência na área em estudo, correspondem a monzogranitos biotíticos, porfiroides de grão grosseiro.

4.3.3 Geomorfologia Local

A pedreira insere-se na envolvente de um maciço granítico com relevo bem definido, delimitado a poente por um vale preenchido por uma importante linha de água, tributária do Rio Vizela. Este maciço integra um importante alinhamento granítico, segundo NW-SE, paralelamente às estruturas regionais da terceira fase (D3) de deformação Hercínica.

A orientação do maciço, segundo NNE-SSW, desenvolve-se ao longo de um alinhamento principal de cúpulas graníticas que ocorre segundo a mesma direção, delimitado por vales acentuados, possivelmente relacionados com falhas tardias, com a mesma direção.

A sua topografia algo acidentada, ronda em média os 450 metros, com a cota mais elevada a registar 535 metros, no Monte do Lavradio, situado a SE da área a explorar. Esta situa-se na vertente poente do maciço, desenvolvendo-se até uma cota mínima de cerca de 420 metros, com uma inclinação moderada, com valores máximos de cerca de 10°.

O maciço granítico encontra-se drenado por várias linhas de água, seguindo um padrão geométrico, sub-paralelo. As linhas de água orientam-se preferencialmente segundo as direções NNW-SSE (principais) e NE-SW (tributárias) e integram a rede de drenagem do Rio Vizela, segundo NE-SW.

4.3.4 Hidrogeologia local

As linhas de água que ocorrem nas proximidades do maciço integram as sub-bacias do rio Vizela (a norte e a poente), do rio Eiriz (a sul e a nascente), e a bacia do rio Leça. A sua

orientação preferencial, com drenagem sub-paralela para NNW, S e SW, é condicionada pela forma do maciço e pelos sistemas de fraturas que o afetam.

Na caracterização hidrológica dos recursos hídricos da região, há que ter em consideração a existência de fatores condicionadores como o regime pluviométrico e substrato rochoso.

Relativamente à pluviosidade na região, os dados obtidos da Carta Hidrogeológica de Portugal, indicam médias anuais para a precipitação de 1400 mm/m² e para a evapotranspiração real de cerca de 650 mm/m².

Segundos dados retirados da mesma carta relativamente à aptidão aquífera do substrato rochoso, a permeabilidade atribuída às formações rochosas presentes na área, varia entre média a baixa e a sua produtividade é considerada significativa, com valores situados entre 1 a 3 l/s.km² (adaptado de Carta Hidrogeológica na escala 1/200.000, PEDROSA, 1999).

4.4 Pedreira de Tondela “Caramelo”

4.4.1 Localização Geográfica

A pedreira do “Caramelo”, propriedade da empresa Mota-Engil, SA. Localiza-se na freguesia de Caparrosa, concelho de Tondela, distrito de Viseu, encontrando-se em linha reta afastada de 3 km para Sul de Caparrosa e cerca de 10 km para Norte de Tondela. A pedreira insere-se no centro de um triângulo formado pelos vértices onde assentam as freguesias de Caparrosa, Santiago de Besteiros e Vilar de Besteiros, localizadas respetivamente a Norte, Sudoeste e Sudeste da pedreira (figura 25).



Figura 25 – Localização da Pedreira do “Caramelo” (Mota-Engil, 2006).

4.4.2 Geomorfologia local

A geomorfologia da envolvente à pedreira do “Caramelo”, é marcada pela presença da ribeira das Mestras, que atravessam a região segundo uma direção NW-SE e provoca na superfície terrestre um entalhe em vale aberto com encostas de inclinação variável.

A bacia hidrográfica da ribeira de Mestras ocupa uma área de cerca de 13.2km². A parte mais distal da mesma, na qual se projeta a poligonal da pedreira, é caracterizada por uma encosta suave e aplanada que se desenvolve segundo as cotas 250 e 650 m, enquanto que a parte mais proximal corresponde a uma encosta íngreme com inclinações a variar entre os 15 e os 35°.

A bacia da ribeira das Mestras apresenta um desenvolvimento principal segundo NW-SE, com as encostas quentes (expostas a Sul e quadrantes contíguos) a dominarem claramente sobre as encostas frias (viradas a N e sectores contíguos). A pedreira localiza-se numa encosta quente, com exposição a Poente (figura 26).

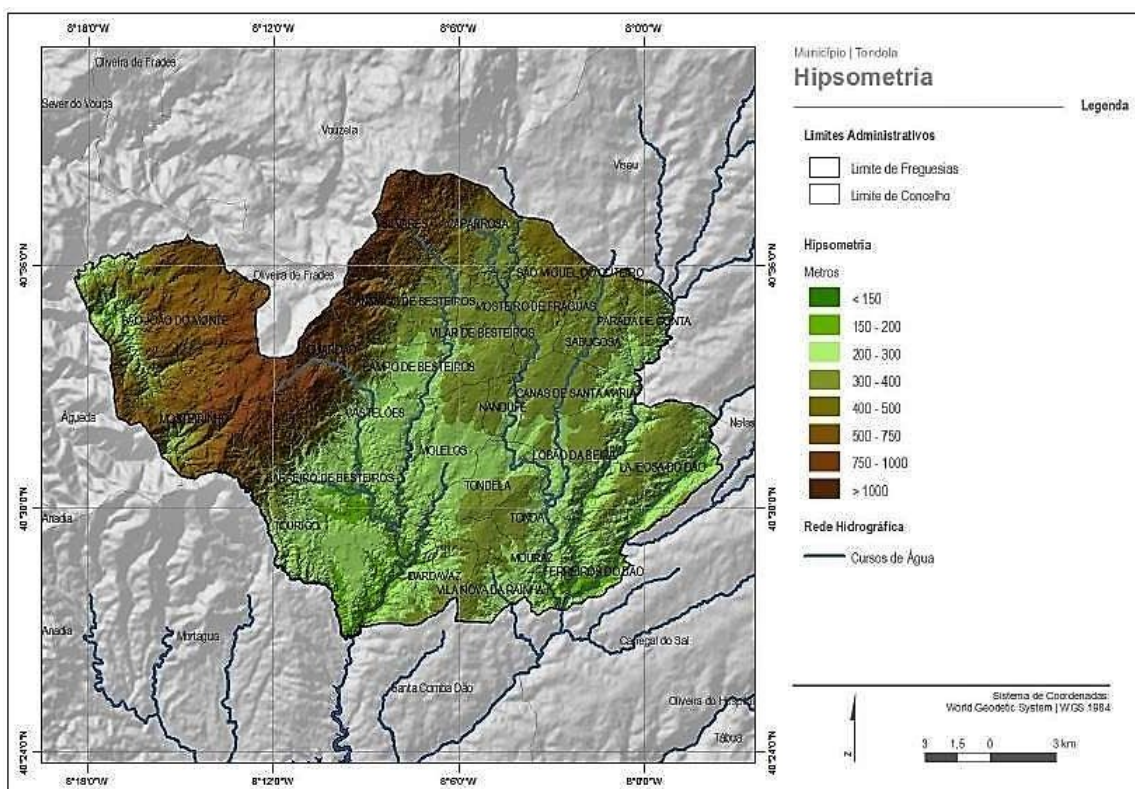


Figura 26 – Hipsometria do local da Pedreira do Caramelo (Plano Diretor Municipal de Tondela, 2005)

4.4.3 Geologia local

Integrada no sector da zona Centro-Ibérica e centrada no concelho de Tondela, a zona alvo de estudo abrange a área representada pela folha Nº 188 (Vila Chã de Sá/Visou) da Carta militar de Portugal à escala 1/25000 editada pelo instituto Geográfico do Exército. Envolve uma parcela do território a NNW de Tondela e a SW de Visou que, em termos geológicos, é dominada pela ocorrência de formações granitoides de implantação Hercínica.

Com efeito, a região em estudo abrange o extremo sudeste da faixa plutonometamórfica Porto-Tondela, integrando o flanco sul do Batólito Granítico das Beiras, cuja implantação se terá processado nos estádios terminais da orogenia Hercínica, nomeadamente os granitos biotíticos grosseiros profiróides que contactam com os granitos moscovítico-biotíticos implantando no domo térmico definido pela faixa plutonometamórfica.

As rochas granitoides constituem assim os litótipos largamente dominantes na região em estudo, merecendo especial relevo os granitos biotíticos profiróides que cobrem a maior parte da área correspondente aos corpos ígneos aflorantes que, embora apresentem texturas e granularidades diferentes, apresentam uma composição mineralógica bastante uniforme que lhes confere por vezes uma tendência granodiorítica. Os metassedimentos englobados no complexo xisto-grauváquio anteordovícico e os depósitos de cobertura assentes sobre a plataforma granítica, onde se destacam os arenitos arcósicos grosseiros (Ferreira, 1978), constituem os principais litótipos de natureza não ígnea aflorantes.

A área delimitada pela pedreira do “Caramelo” assenta no granito de Souto Escuro, que apresenta diferenças petrográficas pouco acentuadas relativamente ao granito de Cravalhal da Mulher, podendo as pequenas variações de textura, granularidade e composição mineralógica conferir por vezes uma tendência granodiorítica como se pode verificar em alguns dos corpos menos representativos dos afloramentos observados no maciço granítico a explorar (figura 27).

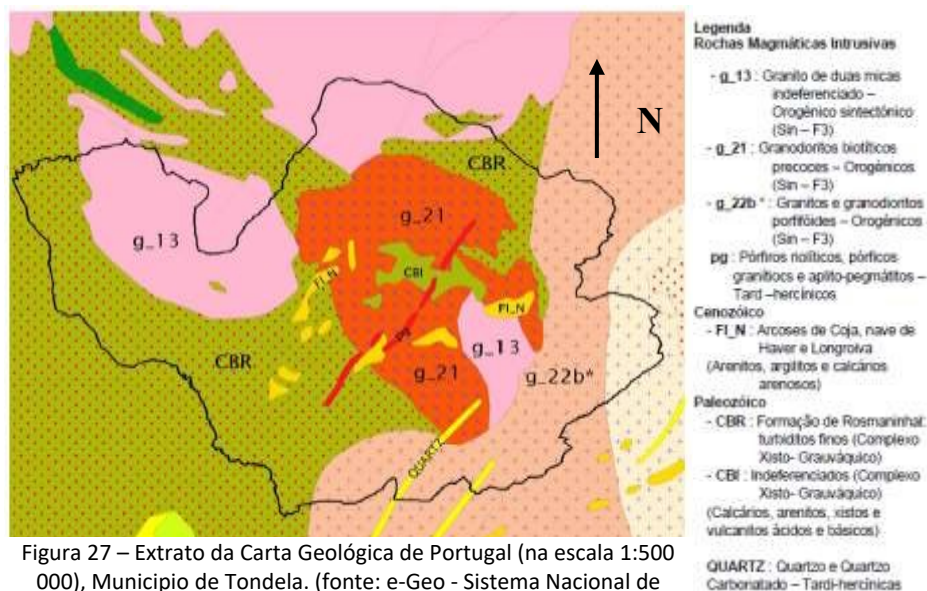


Figura 27 – Extrato da Carta Geológica de Portugal (na escala 1:500 000), Município de Tondela. (fonte: e-Geo - Sistema Nacional de

4.4.4 Hidrogeologia

A área em estudo encontra-se inserida na bacia hidrográfica da ribeira das Mestras. Os resultados do balanço hídrico permitem concluir que a área em estudo reúne boas condições para a infiltração sub-superficial, mas condições pouco favoráveis à recarga dos aquíferos subterrâneos. Tendo em consideração as características geológicas da área em estudo (rochas graníticas), o modelo hidrogeológico dá a existência de dois níveis aquíferos distintos:

- Um nível sub-superficial, correspondente ao solo e manto de alteração subjacente, com armazenamento anual médio igual a 345 mm/ano;
- Um nível mais profundo, correspondente ao maciço fraturado e com armazenamento anual médio igual a 60 mm/ano.

A poligonal da pedra do “Caramelo” localiza-se numa área com potencial para a recarga dos aquíferos sub-superficial (e eventualmente do maciço fraturado), embora a zona mais a SE e pequenas manchas do sector NE correspondam a zonas de descarga.

4.5 Quadro síntese dos casos de estudo

Neste ponto do capítulo será exposto um quadro síntese (tabela 4) de todos os casos de estudo considerados para o presente estudo. O mesmo engloba os principais aspetos descritos anteriormente, tais como a geologia, a geomorfologia e a hidrologia de cada uma das pedreiras estudadas.

Tabela 4 – Quadro síntese de todos os casos de estudo

	Pedreiras			
	Cervães	Famalicão	Tondela	Santo Tirso
Geologia	Granito de grão médio, de duas micas, não porfiróide.	Granito de grão médio com tendência porfiróide.	Granitos biotíticos profiroides com texturas granulares distintas	Granito de grão grosseiro, biotítico e com tendência porfiróide.
Geomorfologia	Substrato rochoso de natureza granítica moderadamente acidentado.	Dividido em duas unidades geológicas: rochas metassedimentares e graníticas.	Encosta suave e aplanada que se desenvolve entre as cotas 250 e 650m.	Maciço de natureza granítica delimitado por vales acidentados. Cota mínima de 420 metros.
Hidrogeologia	Meio fissurado com permeabilidade média a baixa.	Meio poroso de baixa permeabilidade e meio fissural de alta permeabilidade.	Boas condições para a infiltração sub-superficial, mas pouco favoráveis à recarga dos aquíferos subterrâneos	Meio fissurado com permeabilidade média a baixa.

(Página propositadamente em branco)

CAPÍTULO 5

Apresentação e discussão de resultados

(Página propositadamente em branco)

5. Apresentação e discussão de resultados

No presente capítulo serão abordados todos os estudos práticos realizados nas pedreiras de Cervães, Vila Nova de Famalicão, Tondela e Santo Tirso. De referir que os levantamentos cartográficos presentes neste trabalho foram gentilmente cedidos pela empresa Mota-Engil, SA. Em todos os casos estudados, as famílias de descontinuidades são um mero indicador e não foram tomados como parâmetros a relacionar neste estudo.

5.1 Primeiro caso de estudo - pedreira de Cervães “Bouça do Menino”

5.1.1 Levantamento cartográfico

As características do maciço exposto nos taludes de escavação são muito variáveis não só devido a fenómenos de descompressão e alteração, com carácter heterogéneo, como pela sobreposição de efeitos induzidos pela passagem de acidentes tectónicos com orientação E-W.

Em termos genéricos, a observação dos taludes, mostra, sob uma delgada cobertura de terra vegetal (não superior a 1 metro), uma espessura da ordem dos 30 metros de maciço com características variáveis. A parte superficial pode atingir até 5 metros de espessura e corresponde a uma parte do maciço mais arenizada (correspondente à chamada pedra amarela, utilizada na produção de areias). Subjacente a esta camada de granito amarelo, apresenta-se um maciço irregularmente alterado e fraturado que atinge cerca de 9 metros de espessura. Inferiormente, o granito exhibe melhor qualidade.

Observam-se famílias de diaclases mestras a compartimentar o maciço em blocos de dimensões variáveis, sendo predominantemente as N-S e E-W, muito inclinada a sub-verticais e uma sub-horizontal. Observam-se ainda, diaclases N30°E e N30°W, 70°W a verticais (que constituem uma família independente da N-S) e outra N40°-50°E, 75°N.

O maciço a partir dos 15 a 20 metros de profundidade, de uma forma geral, apresenta características de fracturação W1-2 e de fracturação F1-2. A circulação de água no maciço é praticamente nula se bem que por vezes, durante a perfuração, verifica-se alguma água no fundo dos furos.

5.1.2 Parâmetros da pega de fogo (Pedreira de Cervães)

Os parâmetros para a pega de fogo utilizados na pedreira de Cervães são os seguintes:

- Malha: 2,8m x 3,5m;
- Altura da bancada: 15m;
- Tamponamento: 1,5m;
- Carga específica: 0,467 kg/m³;
- Perfuração específica: 0,112 m/m³
- Explosivo carga de coluna: Senatel Magnfrac
- Explosivo carga de fundo: Senatel Pulsar
- Número de furos: 100 furos em 5 fiadas

Na figura 28 é apresentada a modelação 3D da bancada a desmontar e o posicionamento apenas dos furos da frente de desmonte.

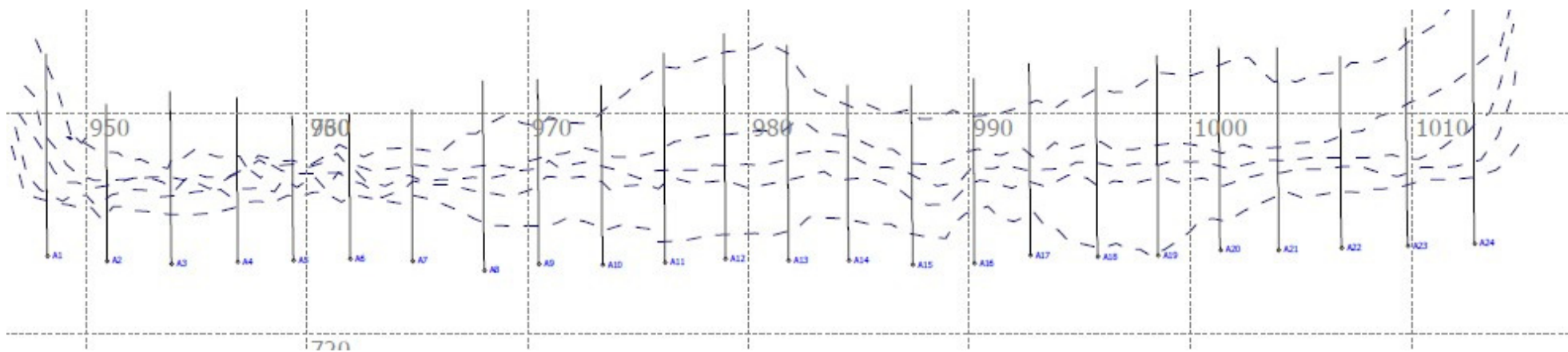


Figura 28 - Modelação 3D da bancada e respetivo posicionamento dos furos da frente (Pedreira de Cervães).

5.1.3 Resultados obtidos através do “Laser Profile 3D” e “Boretrak” (Pedreira de Cervães)

Neste ponto do capítulo serão apresentados os resultados obtidos através das medições do “Laser Profile 3D” em conjugação com os dados do “Boretrak” dos furos que apresentam maiores desvios de furação da pedreira de Cervães.

De uma forma geral a perfuração na pedreira de Cervães é executada de uma forma bastante precisa, traduzindo-se em poucos desvios de furação. Isto deve-se ao facto de os furos estarem quase sempre secos, as condições de furação serem muito boas (parte superior da bancada é de fácil acesso e geralmente está sempre limpa) e trata-se de um maciço sem grandes acidentes geológicos que possam interferir na qualidade da furação.

Nesta pega de fogo em concreto, apenas em alguns furos o desvio foi mais significativo, sendo estes os furos A11 e A20 com cada um deles 4° graus de desvio (figuras 29 e 30):

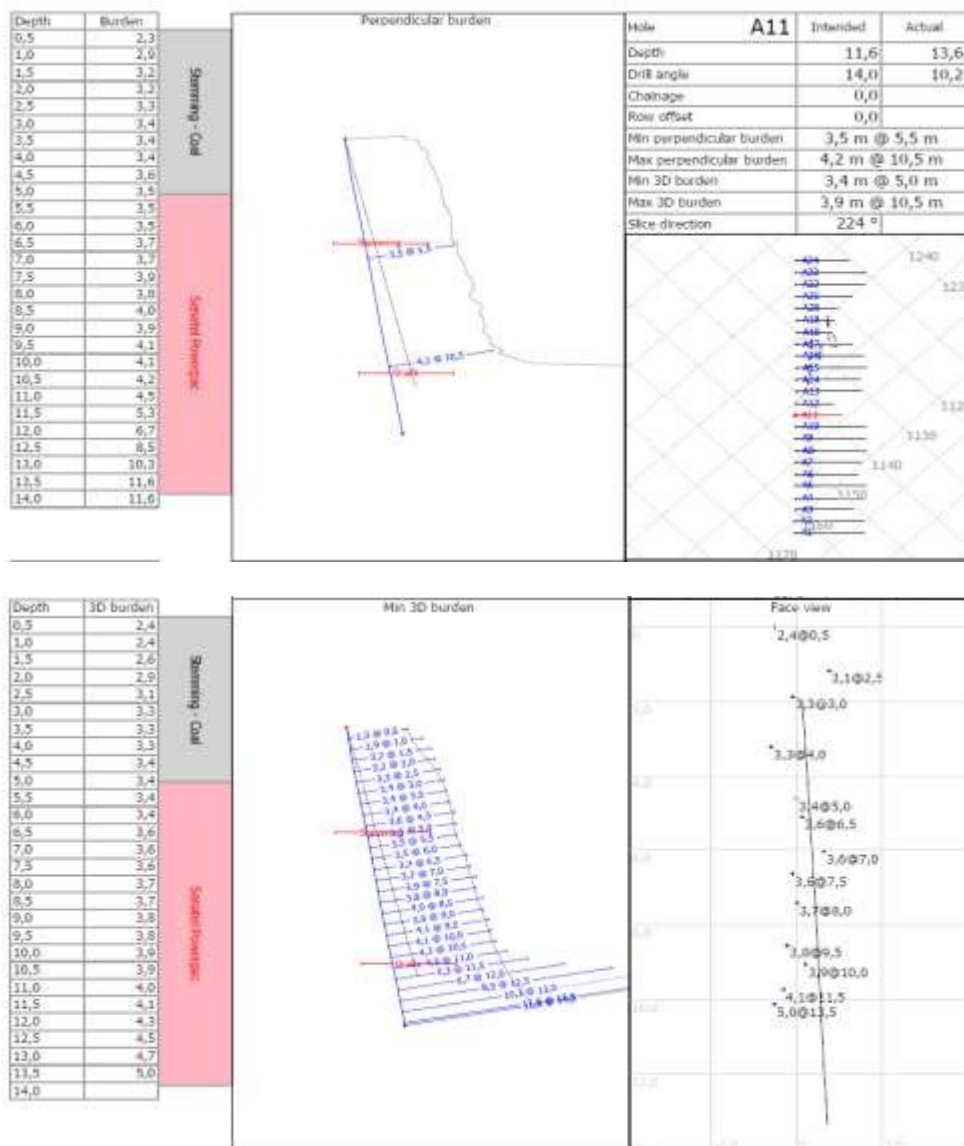


Figura 29 - Resultados obtidos do furo A11 (laser e boretrak).

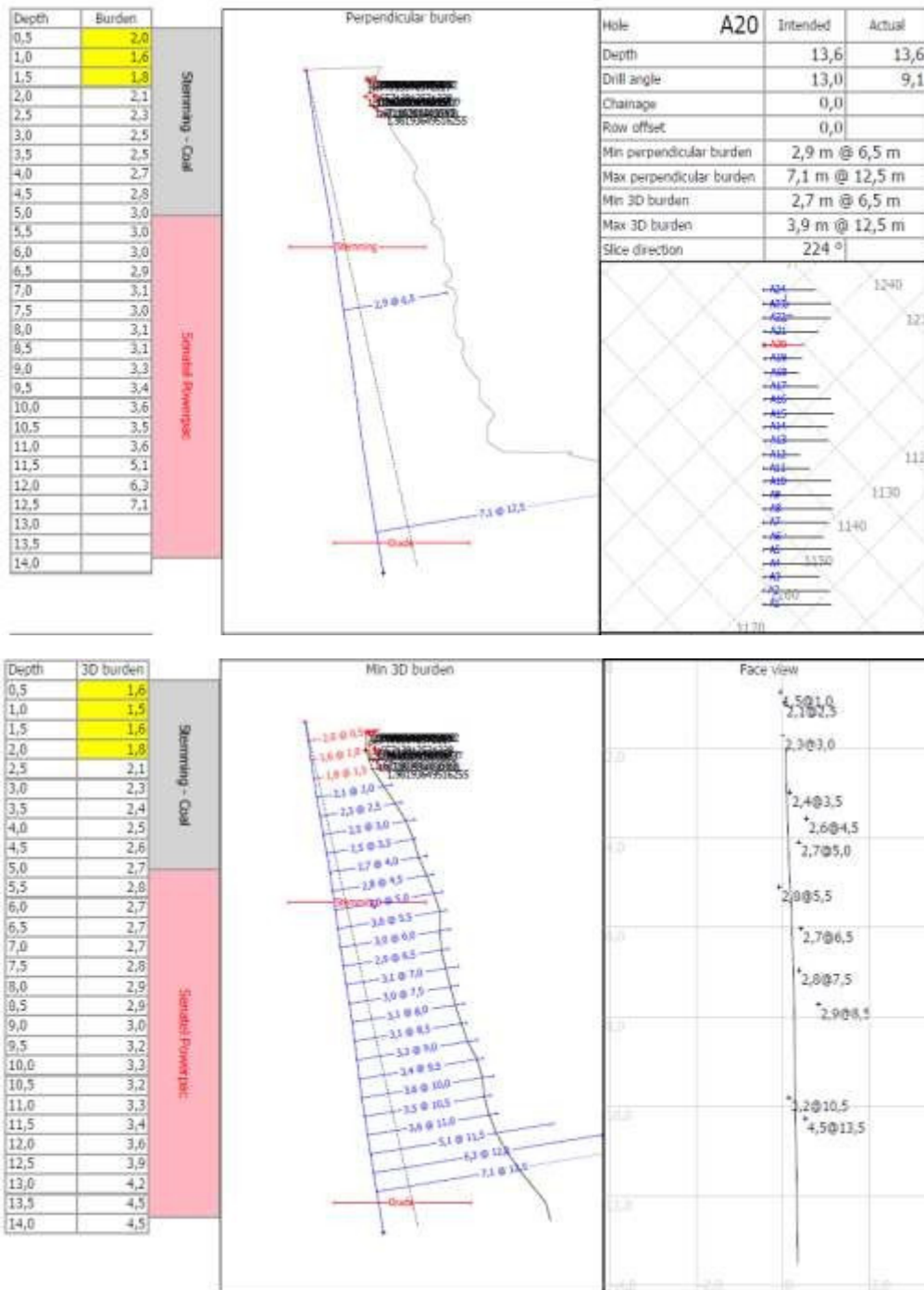


Figura 30- Resultados obtidos do furo A20 (laser e boretrak, Pedreira de Cervães).

Estes foram os furos que obtiveram maiores desvios em relação ao ângulo ideal de furação na pedreira de Cervães. Os restantes furos tiveram desvios de ordem de grandeza inferior sendo que em alguns deles o desvio é quase nulo (ver Anexos 1 para os resultados dos restantes furos da pedreira de Cervães). De uma forma geral, o total de desvios na pedreira de Cervães foi de 19,7 graus.

5.1.4 Resultados de fragmentação – Wipfrag (Pedreira de Cervães)

A figura 31 ilustra o resultado final obtido, após o desmonte, em termos de fragmentação.

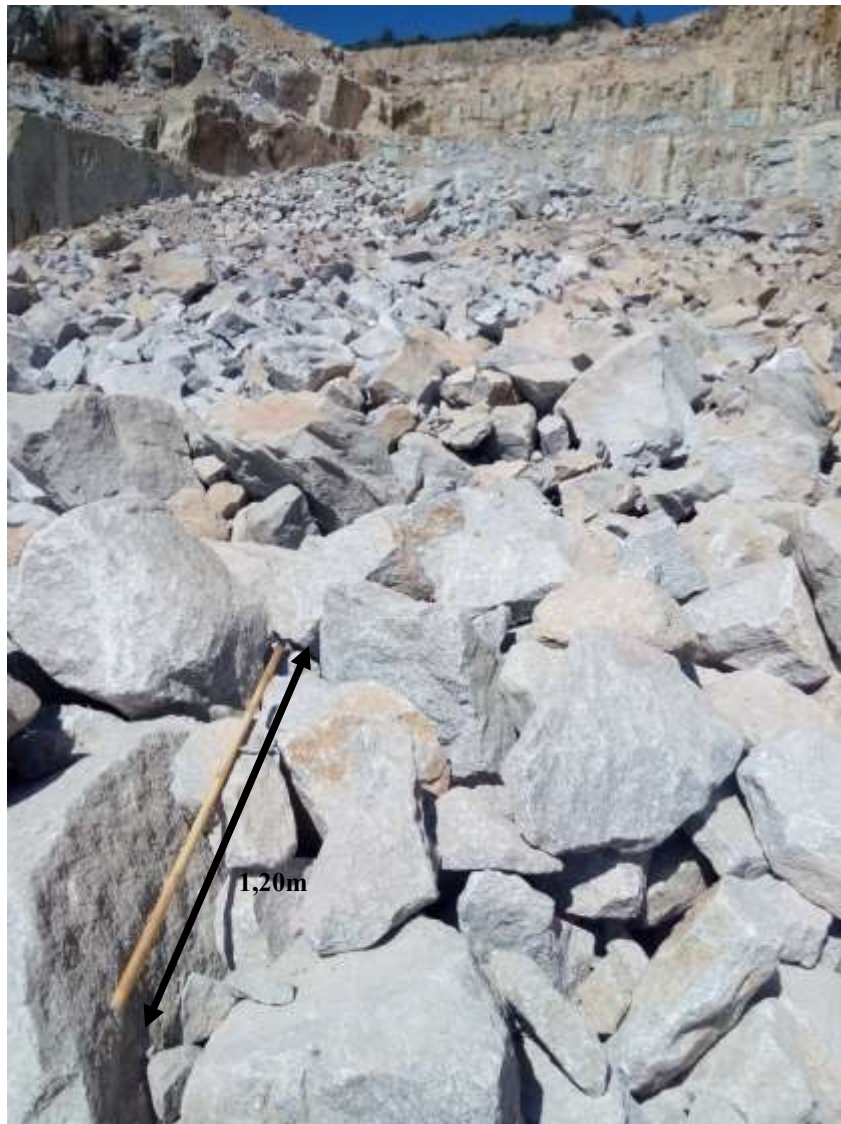


Figura 31 - Pilha de material pós-desmonte (Pedreira de Cervães).

Posteriormente, esta imagem foi tratada através do *software* Wipfrag, software este disponibilizado gentilmente pela empresa Mota-Engil, de forma a podermos ter uma análise granulométrica o mais aproximada possível da pilha de material pós-desmonte e perceber se a fragmentação da mesma se aproxima ou não do ideal. Para escala foi utilizado um utensílio de madeira com 1,20m de comprimento.

A figura 32 ilustra o resultado final obtido, após o desmonte, em termos de fragmentação.

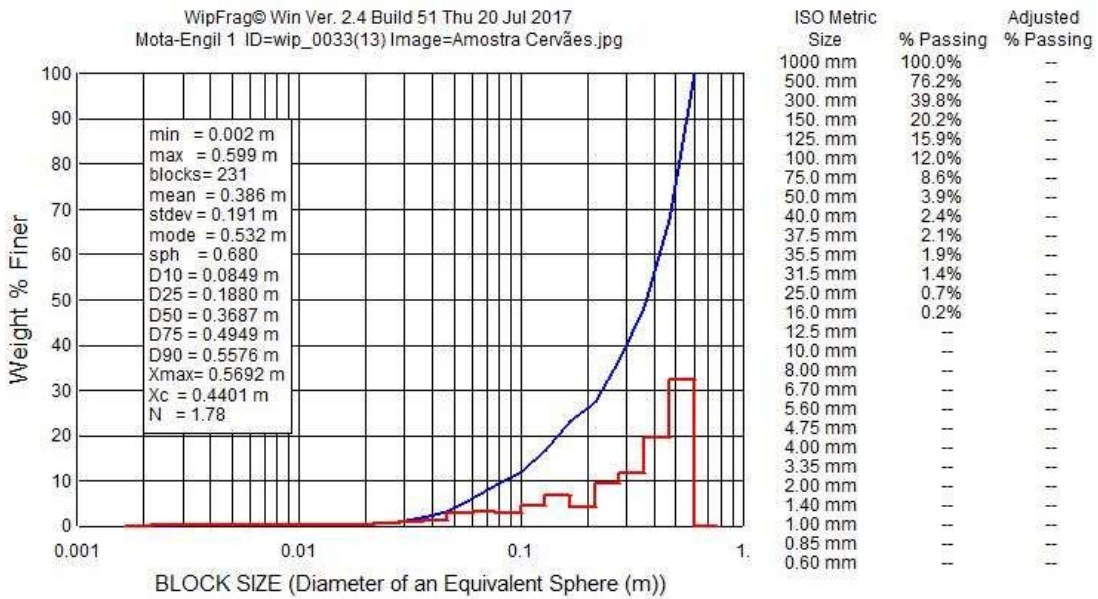


Figura 32 - Curva granulométrica e histograma após o desmonte (Pedreira de Cervães).

Na pedra Cervães, o britador primário tem como abertura máxima 800mm e uma produção de 150 ton/h ou 57 m³/h. Tendo isto em consideração e a curva granulométrica do material desmontado, a percentagem de fragmentação secundária necessária é de 0% pois a pedra de maiores dimensões tem 600mm, sendo perfeitamente admissível no britador primário.

5.1.5 Cálculo do custo de Energia necessária na produção (Pedreira de Cervães).

Neste capítulo será então calculado o custo da energia necessária para se poder produzir uma tonelada de material, tendo em consideração os resultados obtidos da curva granulométrica anteriormente apresentada. De referir que estes cálculos foram efetuados em todos os casos de estudo e estão só relacionados com o fragmentador primário de cada uma das instalações de britagem.

Para determinar os KW/t necessários para produzir uma tonelada, recorreu-se à Fórmula de Bond (equação 3).

$$E = 10 \times W_i \times \left[\frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{A}} \right]$$

Equação 3 – Equação de Bond
(Eloranta, 1997).

Sendo nesta equação:

W_i, Impacto rocha ígnea granito;

P, abertura de fecho do primário (μ);

A, pedra de maior dimensão (μ)

E, energia necessária para produzir 1 tonelada de material (KW/t).

Posto isto, os dados que temos para utilizar na equação apresentada anteriormente estão apresentados na tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros para calcular Energia necessária (Pedreira de Cervães).

A (μ)	P (μ)	W_i	E (kw/t)
599000	140000	16,7	0,23

A pedra de maior dimensão tem 599000 μ , a abertura de fecho do primário é de 140000 μ e o impacto da rocha tem que ter em consideração o facto de ser uma rocha ígnea, neste caso, granito.

Com este resultado de 0,23 kw/t, podemos então determinar a energia total gasta na britagem por hora através da seguinte equação (4):

$$Et = Q \times \gamma \times E$$

Equação 4 – Equação para determinar a energia total por hora na britagem (Metso, 2002).

Sendo nesta equação:

Q, capacidade da instalação (m^3/h);

γ , densidade aparente granito (t/m^3);

E, Energia necessária para produzir 1 tonelada de material

Sendo assim, os dados que temos para aplicar na equação 4 são os apresentados na tabela 5.

Tabela 6 - Parâmetros para calcular energia total (Pedreira de Cervães).

Q (m^3/h)	γ (t/m^3)	E (Kw/t)	Et (kwh)
57	1,6	0,23	20,98

Por fim, conclui-se que, por hora de trabalho na central de britagem são gastos 20,98 KWh tendo em consideração a granulometria obtida pós desmonte. Com este dado, foram então determinados os custos associados a este gasto de energia por hora na instalação. Considerando as tarifas da empresa EDP para custo energético apresentados na tabela 6.

Tabela 7 - Tarifas de consumo energético EDP.

Tarifa EDP	
Hora de Ponta	0,1152 €/KWh
Hora Cheio	0,0704 €/KWh
Hora Vazio	0,0440 €/KWh

Tendo estas tarifas energéticas em consideração, podemos então determinar que, para um tamanho de pedra máximo que irá ser introduzido na instalação de 600mm e para uma produção de 57m³/h, temos um gasto de 1,47€/h o que se traduz e 0,025€/m³.

5.2 Segundo caso de estudo – Pedreira de Famalicão “Moinho de Vento”

5.2.1 Levantamento Cartográfico

Nesta pedreira, as características do maciço exposto nos taludes de escavação são de características mais homogêneas do que no primeiro caso de estudo. A rocha apresenta-se maioritariamente sã ou não alterada (W1) e zonas pouco alteradas (W2) a medianamente alteradas (W3). Devido ao maciço apresentar-se muito pouco alterado de uma forma geral, o material-rocha apresenta globalmente uma tonalidade acinzentada.

As famílias de descontinuidades presentes no maciço rochoso estão representadas no diagrama de rosetas (Figura 33).

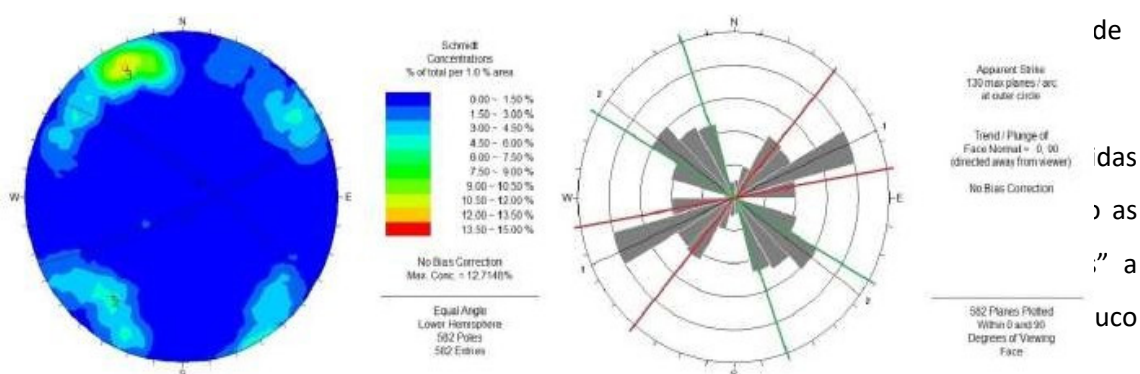


Figura 33 - Representação das principais famílias de descontinuidades da pedreira "Moinho de Vento" (fonte: Resumo não técnico Mota-Engil, 2004).

A circulação de água no maciço é praticamente nula, no entanto poderá existir pontualmente alguma água nos furos.

5.2.2 Parâmetros da pega de fogo (Pedreira de Vila Nova de Famalicão)

Os parâmetros para a pega de fogo utilizados na pedreira de Vila Nova de Famalicão são os seguintes:

- Malha: 2,6m x 3,1m;
- Altura da bancada: 12,68m;
- Tamponamento: 1,5m;
- Carga específica: 0,450 kg/m³;
- Perfuração específica: 0,131 m/m³
- Explosivo carga de coluna: Senatel Magnfrac
- Explosivo carga de fundo: Senatel Pulsar
- Número de furos: 43

A figura 34 apresente a modelação 3D da bancada a desmontar e o posicionamento apenas dos furos da frente e segunda fiada de desmonte.

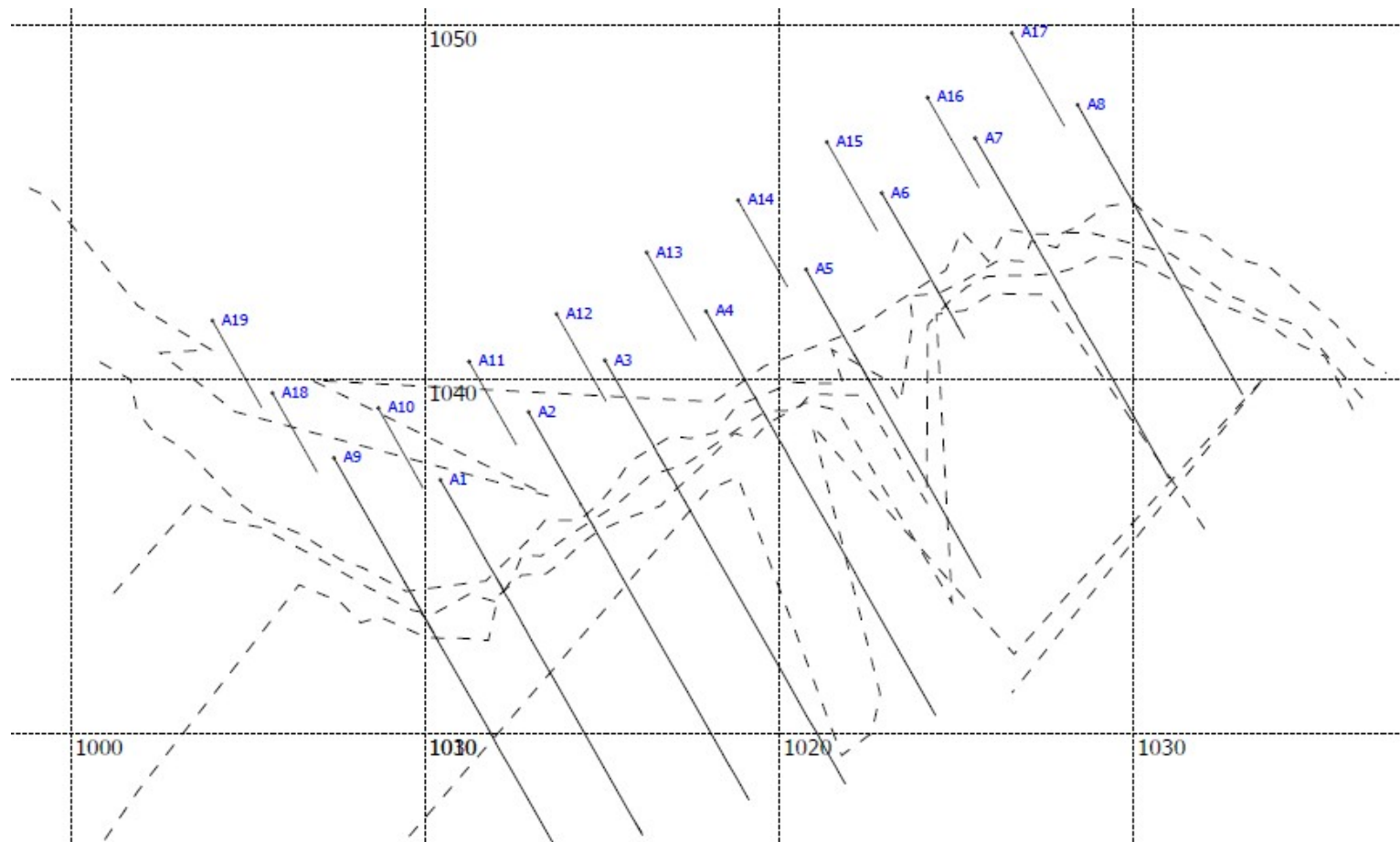


Figura 34 - Modelação 3D da bancada e respetivo posicionamento dos furos da frente e da segunda fiada (Pedreira de Vila Nova de Famalicão).

5.2.3 Resultados obtidos através do “Laser Profile 3D” e “Boretrak” (Pedreira de Vila Nova de Famalicão).

De uma forma geral, o maciço rochoso da pedreira é bastante competente, podendo levar a aso a alguns desvios de furação. No entanto, o facto de as famílias de descontinuidades serem sub-horizontais é benéfico para o sentido de desmonte tendo sempre em atenção que pode levar à formação de blocos pós-desmonte. Nesta pega de fogo em concreto alguns furos tiveram um desvio significativo, sendo os furos A8 e A9 os que têm maiores desvios, 4,4° e 5° graus respetivamente (figuras 35 e 36).

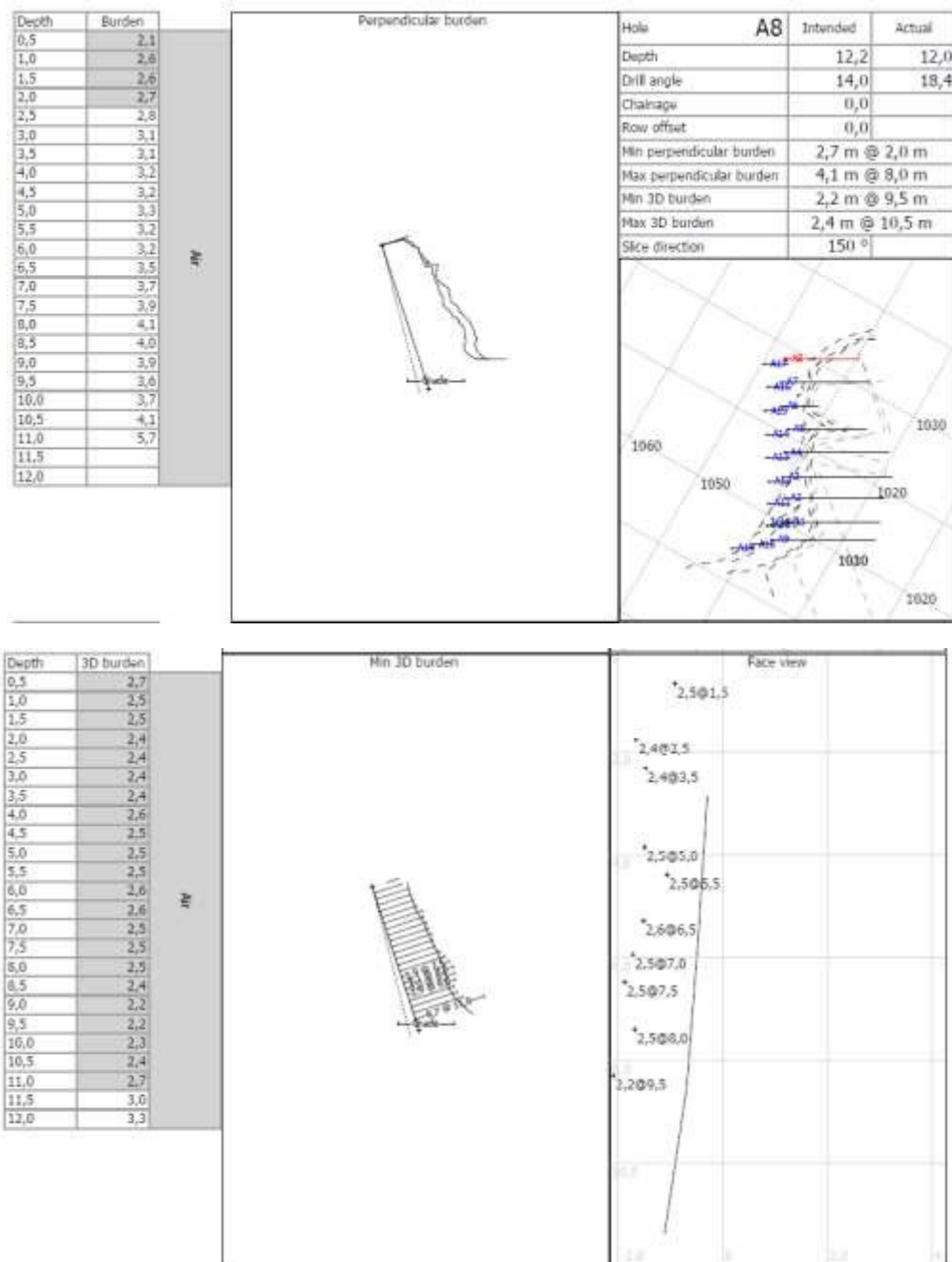


Figura 35- Resultados obtidos do furo A8 (laser e boretrak, Pedreira de Vila Nova de Famalicão).

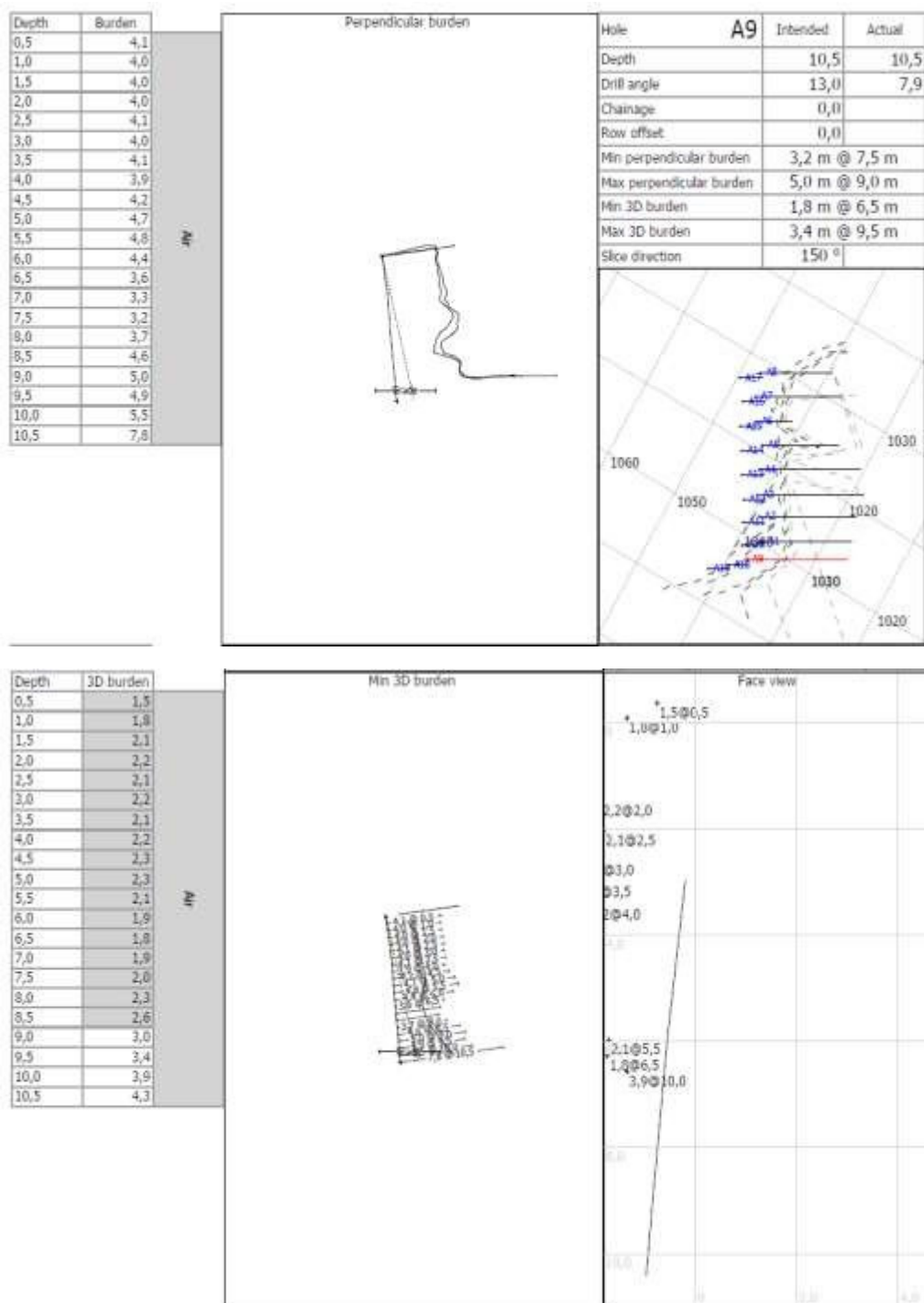


Figura 36 - Resultados obtidos do furo A9 (laser e boretrak, pedraira de Vila Nova de Famalicão).

Estes foram então os furos que obtiveram maiores desvios em relação ao ângulo ideal de furação na pedraira de Vila Nova de Famalicão. De uma forma geral, o total de desvios na pega de fogo foi de 26,1° graus (ver Anexo 2 para os resultados dos restantes furos na pedraira de Vila Nova de Famalicão).

5.2.4 Resultados de fragmentação – Wipfrag (Pedreira de Vila Nova de Famalicão)

A figura 37 ilustra o resultado final obtido, após o desmonte, em termos de fragmentação.



Figura 37 - Pilha de material pós-desmonte (Pedreira de Vila Nova de Famalicão)

Tal como foi efetuado no primeiro caso de estudo, esta imagem do material após o desmonte, foi analisada através do *software* Wipfrag obtendo-se uma curva granulométrica e um histograma (figura 38). A escala utilizada foi a caixa presente na fotografia com 0.65m de comprimento.

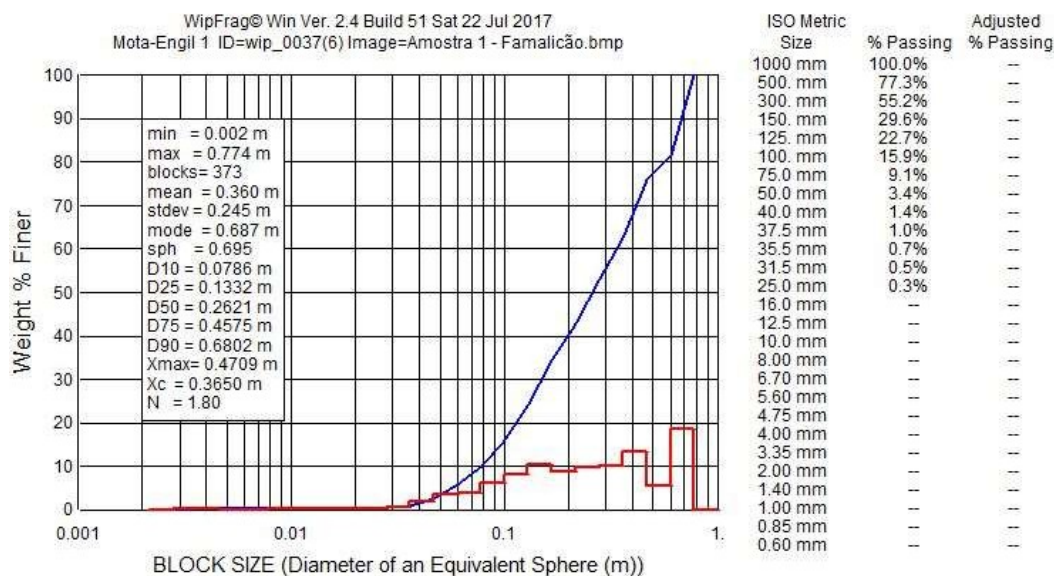


Figura 38 - Curva granulométrica e histograma após o desmonte (Pedreira de Vila Nova de Famalicão).

Na pedra de Vila Nova de Famalicão, o britador primário tem como abertura máxima 700mm e uma produção de 150 ton/h ou 57 m³/h. Tendo isto e a curva granulométrica do material desmontado em consideração, a percentagem de fragmentação secundária necessária é de 10% (figura 39), sendo que a pedra de maiores dimensões tem 775 mm.

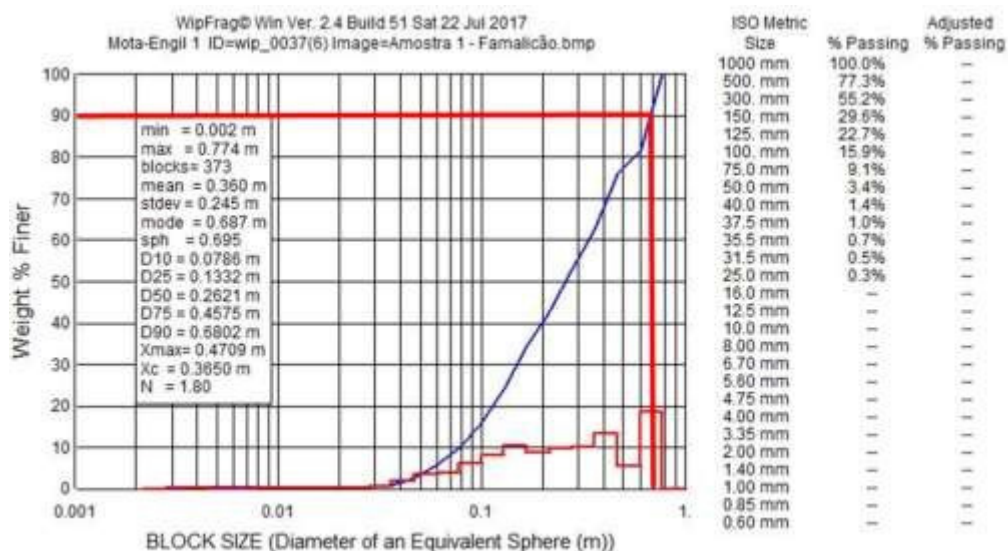


Figura 39 - Determinação da percentagem de fragmentação secundária necessária (Pedreira de Vila Nova de Famalicão).

5.2.5 Cálculo do custo de Energia necessária na produção

Tal como foi feito no primeiro caso de estudo, neste ponto do capítulo será calculado o custo da energia necessária para se poder produzir uma tonelada de material, tendo em consideração os resultados obtidos da curva granulométrica anteriormente apresentada, na pedreira de Vila Nova de Famalicão.

Tabela 8 - Energia necessária para produzir 1 tonelada de material (Pedreira de Vila Nova de Famalicão).

A (μ)	P (μ)	W_i	E (kw/t)
774000	140000	16,7	0,26

Tabela 9 - Energia total necessária por hora na instalação (Pedreira de Vila Nova de Famalicão).

Q (m^3/h)	γ (t/m^3)	E (Kw/t)	Et (kwh)
57	1,6	0,26	23.71

Por fim, conclui-se que, por hora de trabalho na central de britagem são gastos 23,71 kw/h tendo em consideração a granulometria obtida pós desmonte.

Tendo em consideração as mesmas tarifas energéticas da EDP, pode-se então determinar que, para um tamanho de pedra máximo que irá ser introduzido na instalação de 774mm e para uma produção de 57 m^3/h , temos um gasto de 1,66€/h o que se traduz e 0,029€/ m^3 .

5.3 Terceiro caso de estudo – Pedreira de Tondela

5.3.1 Levantamento Cartográfico

Segundo os resultados das sondagens efetuadas pela empresa Mota-Engil no local da pedreira, estamos perante um maciço medianamente alterado (W_3) e muito fraturado (F_4) a nível superficial, mas que em profundidade se revela um maciço com maior qualidade (W_{1-2}) e menos fraturado (F_{1-2}).

Ao analisar a representação estereográfica apresentada na figura 40, pode-se concluir que estamos perante um maciço com duas famílias de descontinuidades principais:

- Família 1: N20°/30° E; 40°SE
- Família 2: N70°/80°W; 50° NE

5.3.2 Parâmetros da Pega de fogo (Pedreira de Tondela)

Os parâmetros da pega de fogo efetuada na pedreira de Tondela são os seguintes:

- Malha: 2,5m x 2,5m;
- Altura da bancada: 8m;
- Tamponamento: 1,5m;
- Carga específica: 0,483kg/m³;
- Perfuração específica: 0,190 m/m³
- Explosivo carga de coluna: Senatel Magnfrac
- Explosivo carga de fundo: Senatel Pulsar
- Número de furos: 73

Na figura 41 está representada a modelação 3D da bancada a desmontar e o posicionamento apenas dos furos da frente de desmonte.

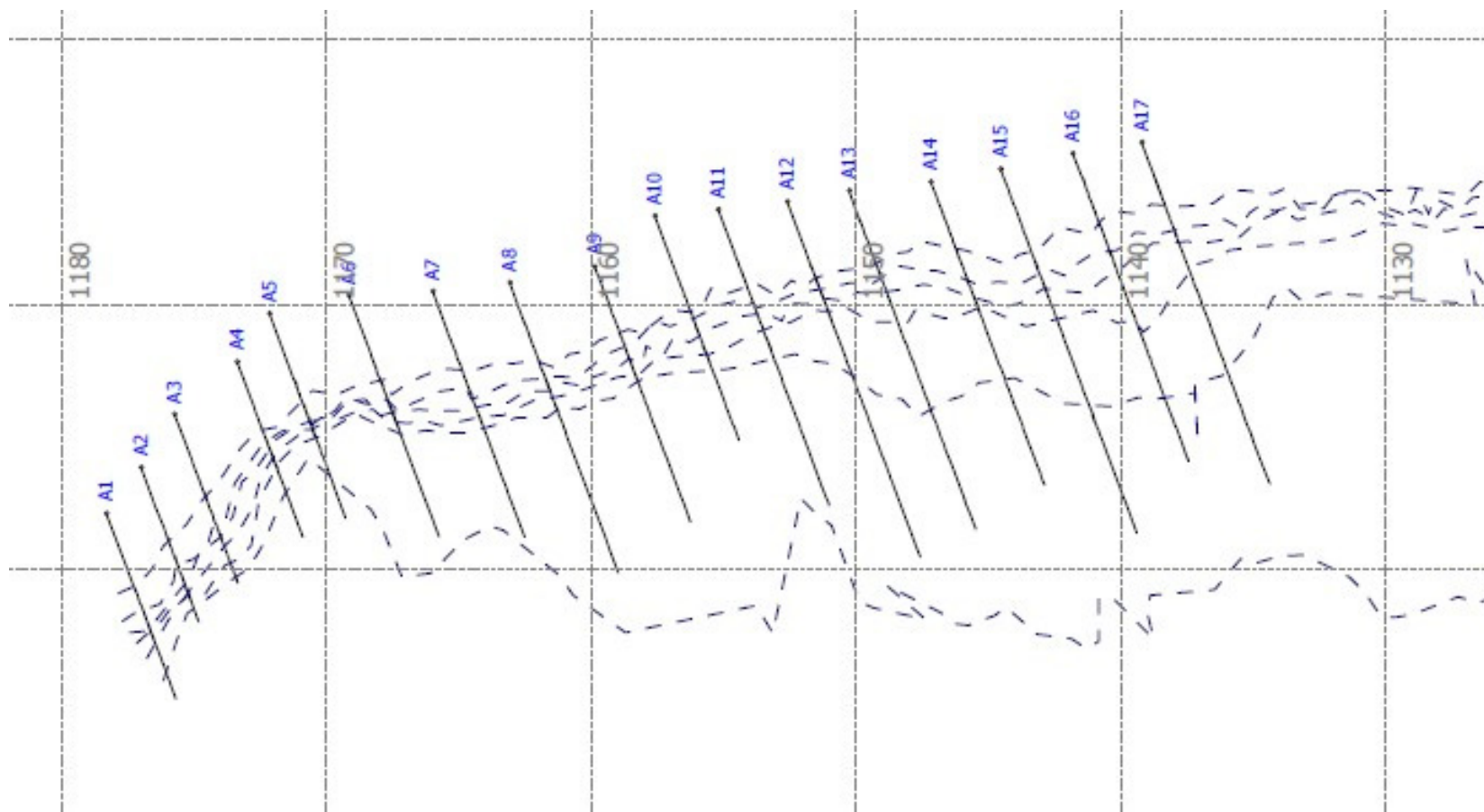


Figura 41 -Modelação 3D da bancada e respetivo posicionamento dos furos da frente (Pedreira de Tondela).

5.3.3 Resultados obtidos através do “Laser Profile 3D” e “Boretrak” (Pedreira de Tondela)

De uma forma geral, o maciço rochoso, tal como nas pedreiras anteriores, é bastante competente, podendo levar a aso a alguns desvios de furação. Tal como na pedreira de Famalicão, o facto de as famílias de descontinuidades serem sub-horizontais é benéfico para o sentido de desmonte tendo sempre em atenção que pode levar à formação de blocos pós-desmonte. Nesta pega de fogo em concreto, alguns furos tiveram um desvio significativo, sendo os furos A14 e A15 (figuras 42 e 43) os que têm maiores desvios, 3,4° e 4,4° graus, respetivamente. Isto pode influenciar ainda mais a qualidade da fragmentação visto que são furos que se encontram muito próximos um do outro.

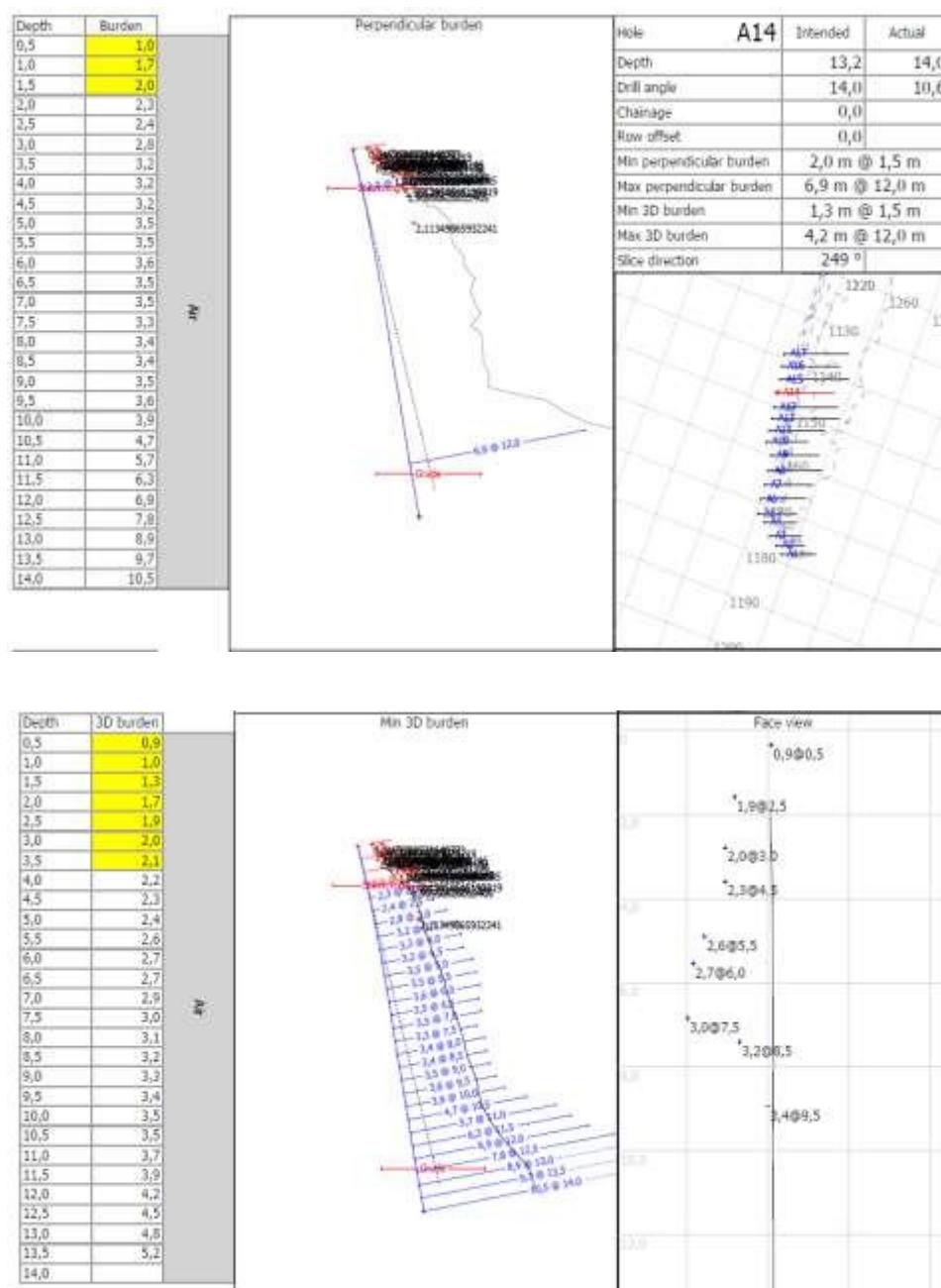


Figura 42 - Resultados obtidos do furo A14 (laser e boretrak, Pedreira de Tondela).

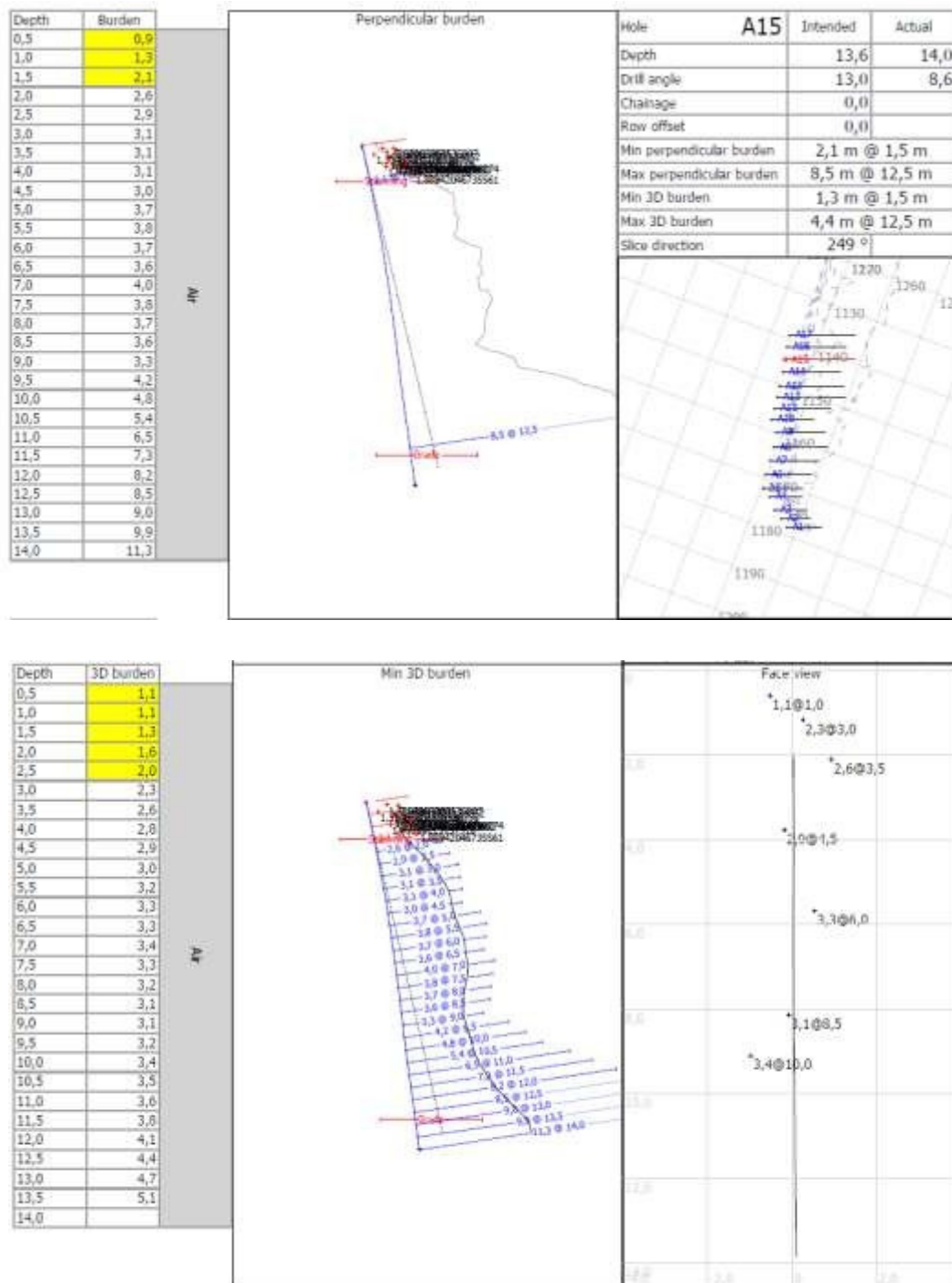


Figura 43 - Resultados obtidos do furo A15 (laser e boretrak, Pedreira de Tondela).

Estes foram os furos que obtiveram maiores desvios em relação ao ângulo ideal de furação. De uma forma geral, o total de desvios na pedreira de Tondela foi de 28,3° graus (ver Anexo 3 para os resultados obtidos dos restantes furos na pedreira de Tondela).

5.3.4 Resultados da fragmentação – Wipfrag (Pedreira de Tondela)

A figura 44 ilustra o resultado final obtido, após o desmonte, em termos de fragmentação.



Figura 44 - Pilha de material pós-desmonte (Pedreira de Tondela).

Tal como foi feito nos casos de estudo anteriores, esta imagem do material após o desmonte, realizado na pedreira de Tondela, foi analisada através do software Wipfrag obtendo-se uma curva granulométrica e um histograma (figura 45). Mais uma vez, a escala utilizada foi a caixa presente na fotografia com 0.65m de comprimento.

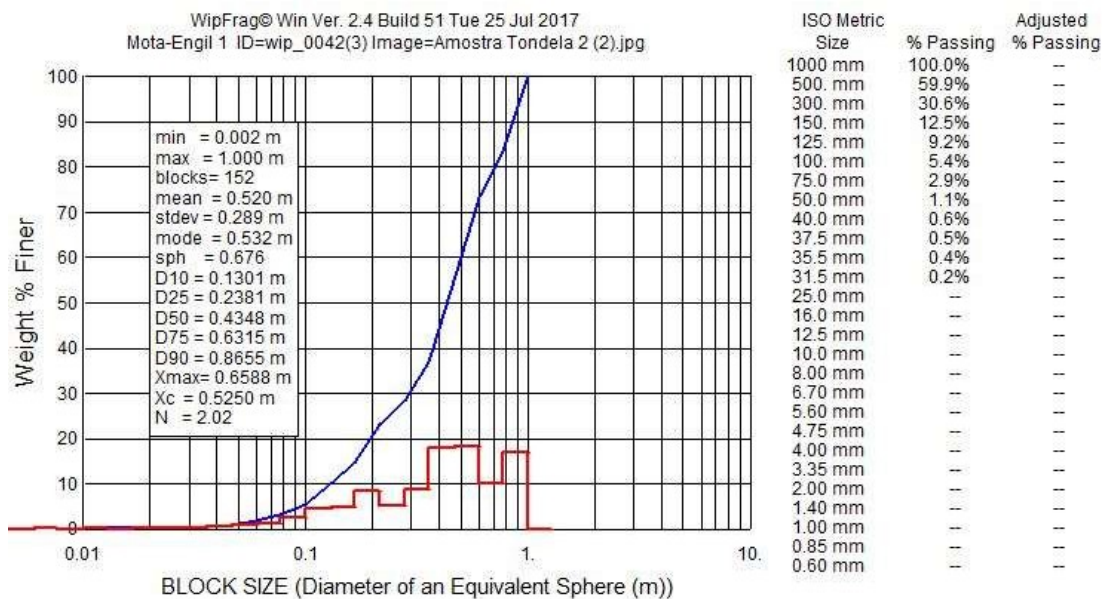


Figura 45 - Curva granulométrica e histograma após o desmorte (Pedreira de Tondela).

Na pedra de Tondela, o britador primário tem como abertura máxima 700mm e uma produção de 150 ton/h ou 57 m³/h. Tendo isto em consideração e a curva granulométrica do material desmontado, a percentagem de fragmentação secundária necessária é de 20% (figura 46) sendo que a pedra de maiores dimensões tem 1000 mm.

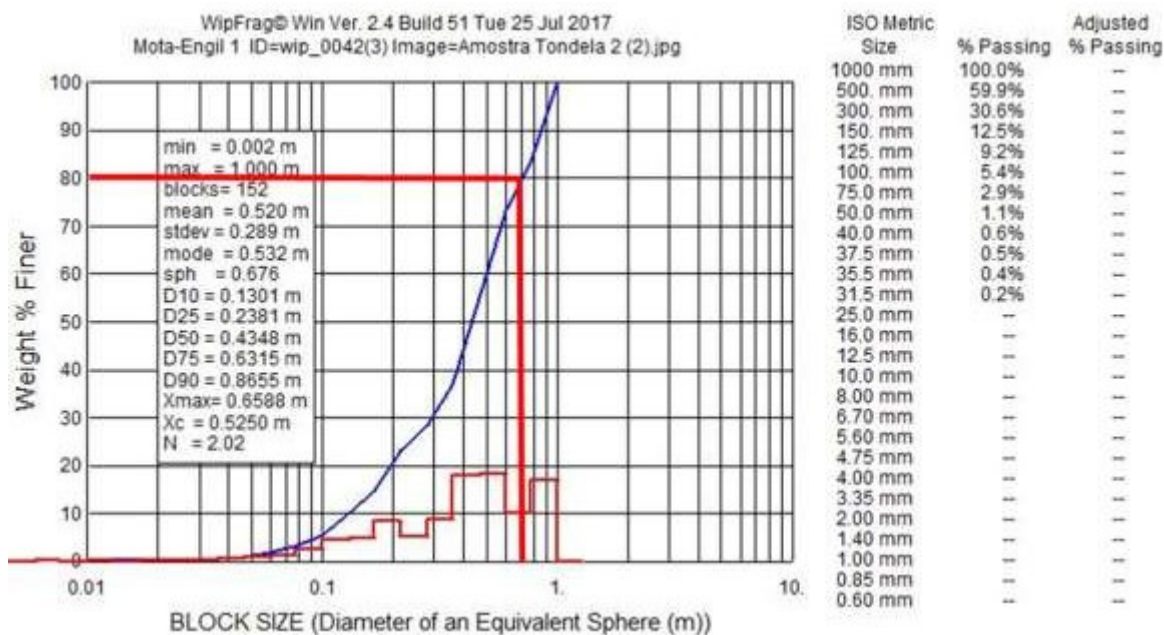


Figura 56 – Determinação da percentagem de fragmentação secundária necessária (Pedreira de Tondela).

5.3.5 Cálculo do custo de Energia necessária na produção

Tal como foi efetuado nos casos de estudo anteriores, neste ponto do capítulo serão determinados os custos energéticos para produção de 1m^3 de material. Considerando a partícula de maior de dimensão de 1000000μ e a abertura de fecho do britador primário de 140000μ , podemos então determinar a energia necessária para produzir uma tonelada de material pelo britador primário e a energia total necessária por hora na instalação (tabelas 9 e 10).

Tabela 10 -Energia necessária para produzir 1 tonelada de material (Pedreira Tondela)

A (μ)	P (μ)	W_i	E (kw/t)
1000000	140000	16,7	0,28

Tabela 11 - Energia total necessária por hora na instalação (Pedreira Tondela)

Q (m^3/h)	γ (t/m^3)	E (Kw/t)	Et (kwh)
57	1,6	0,28	25,47

Por fim, conclui-se que, por hora de trabalho na central de britagem são gastos 25,47 kwh tendo em consideração a granulometria obtida pós desmonte.

Tendo estas tarifas energéticas em consideração, pode-se então determinar que, para um tamanho de pedra máximo que irá ser introduzido na instalação de 1000mm e para uma produção de $57\text{ m}^3/\text{h}$, temos um gasto de $1,78\text{€}/\text{h}$ o que se traduz e $0,031\text{€}/\text{m}^3$.

5.4 Quarto caso de estudo – Pedreira de Santo Tirso

5.4.1 Levantamento cartográfico

No que às fácies litológicas diz respeito, o maciço rochoso da pedreira de Santo Tirso tem as seguintes características:

- **Granito de Burgães, Selho e Arões** – Corresponde à mancha de maior dimensão, constituída por um granito de grão médio e grosseiro, porfiroide, que se apresenta medianamente alterado (W_3) mais superficialmente, evoluindo para pouco alterado em profundidade (W_{1-2}).

- **Granito de S. Sebastião, Sto. Ovídio e Fontão** – Corresponde a pequenas manchas localizadas no seio da formação anterior, sendo constituída por um granito ortosoalbitico de grão fino, que apresenta medianamente alterado (W_3) mais superficialmente, evoluindo para pouco alterado (W_{1-2}) em profundidade.

A tectónica do local evidencia os eixos principais de fracturação com orientações a NW/SE, NE/SW e ENE/WSW (figura 47).

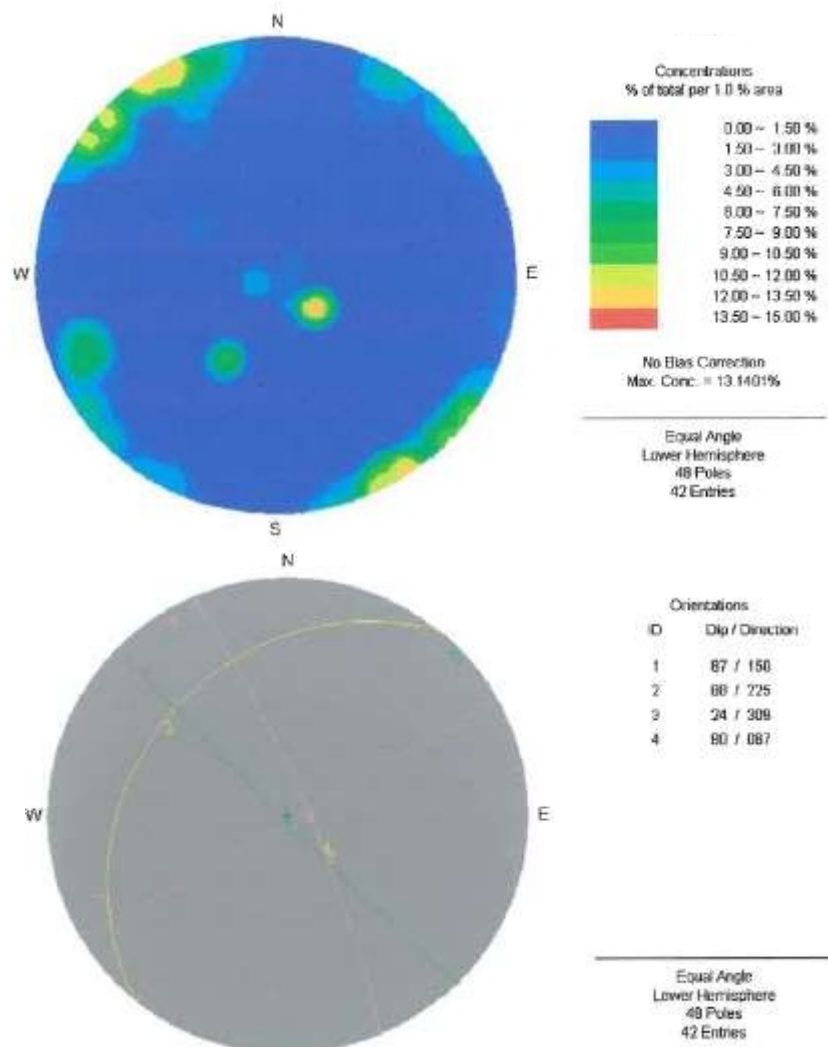


Figura 47 - Representação estereográfica das discontinuidades do maciço (fonte: Resumo não técnico Mota-Engil, 2004).

As famílias de discontinuidades presentes no maciço rochoso têm as seguintes atitudes:

- Família 1: N150°E;87 NE
- Família 2: N225°E;88 NE

- Família 3: N309°E;24 NE
- Família 4: N67°E;80 SE

Conforme resulta da análise de resultados, verifica-se que as famílias 1,2 e 3 têm orientações semelhantes, sendo as famílias 1 e 2 sub-verticais e a família 3 sub-horizontal. Já a família 4 evidencia orientações díspares em relação aos dois tipos de batólitos existentes no local.

5.4.2 Parâmetros da Pega de fogo (Pedreira de Santo Tirso)

Os parâmetros da pega de fogo efetuada na pedreira de Santo Tirso são os seguintes:

- Malha: 2,50m x 3m;
- Altura da bancada: 12,5m;
- Tamponamento: 1,5m;
- Carga específica: 0,563 kg/m³;
- Perfuração específica: 0,141 m/m³
- Explosivo carga de coluna: Senatel Magnfrac (pontualmente Powerpac)
- Explosivo carga de fundo: Senatel Pulsar
- Número de furos: 31

Na figura 48 está representada a modelação 3D da bancada a desmontar e o posicionamento apenas dos furos da frente de desmonte.

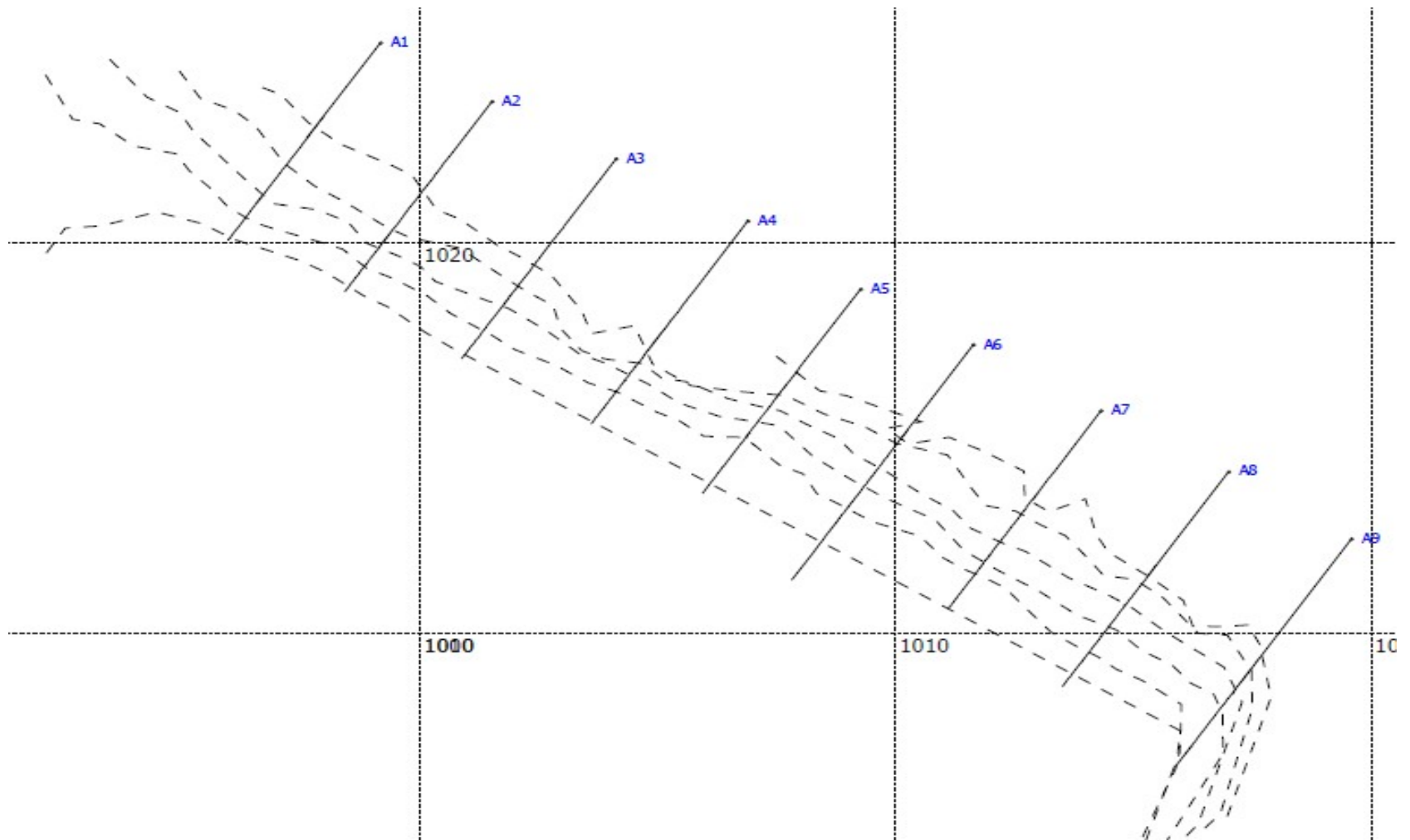


Figura 48 - Modelação 3D da bancada e respetivo posicionamento dos furos da frente (Pedreira de Santo Tirso).

5.4.3 Resultados obtidos através do “Laser Profile 3D” e “Boretrak” (Pedreira de Santo Tirso).

De uma forma geral, o maciço rochoso é o menos competente de todas a pedreiras estudadas. Possui famílias de descontinuidades com atitudes geológicas muito variadas o que poderá causar, a partida, problemas na furação e consequentemente na fragmentação. Nesta pega de fogo em concreto alguns furos tiveram um desvio significativo, sendo os furos A4 e A6 os que têm maiores desvios, 3,7° e 8,2° graus. Tal como na pedreira de Tondela, este facto também poderá influenciar a qualidade da fragmentação visto que são furos que se encontram muito próximos um do outro (figuras 49 e 50).

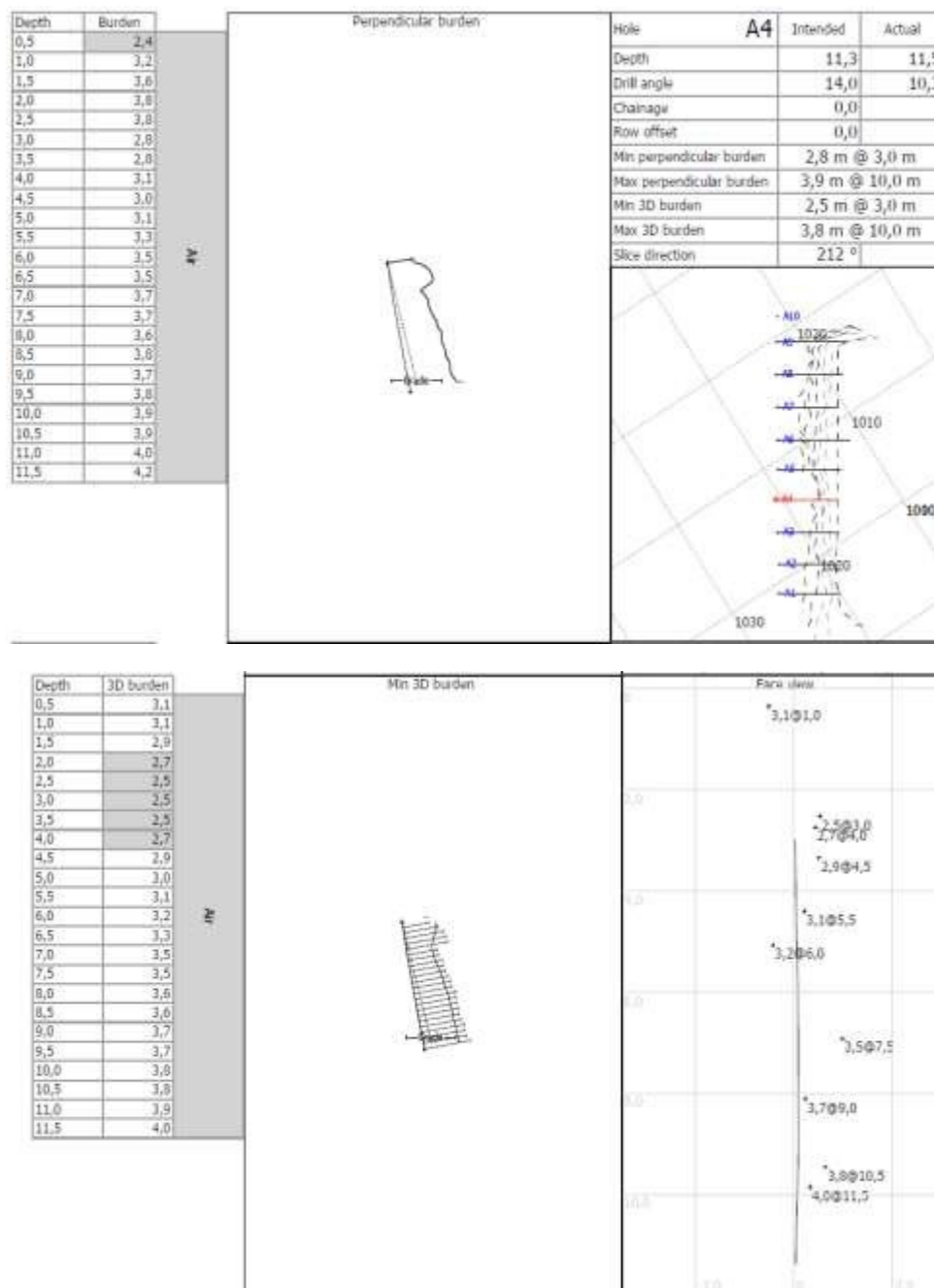


Figura 49 - Resultados obtidos do furo A4 (laser e boretrak, Pedreira de Santo Tirso).

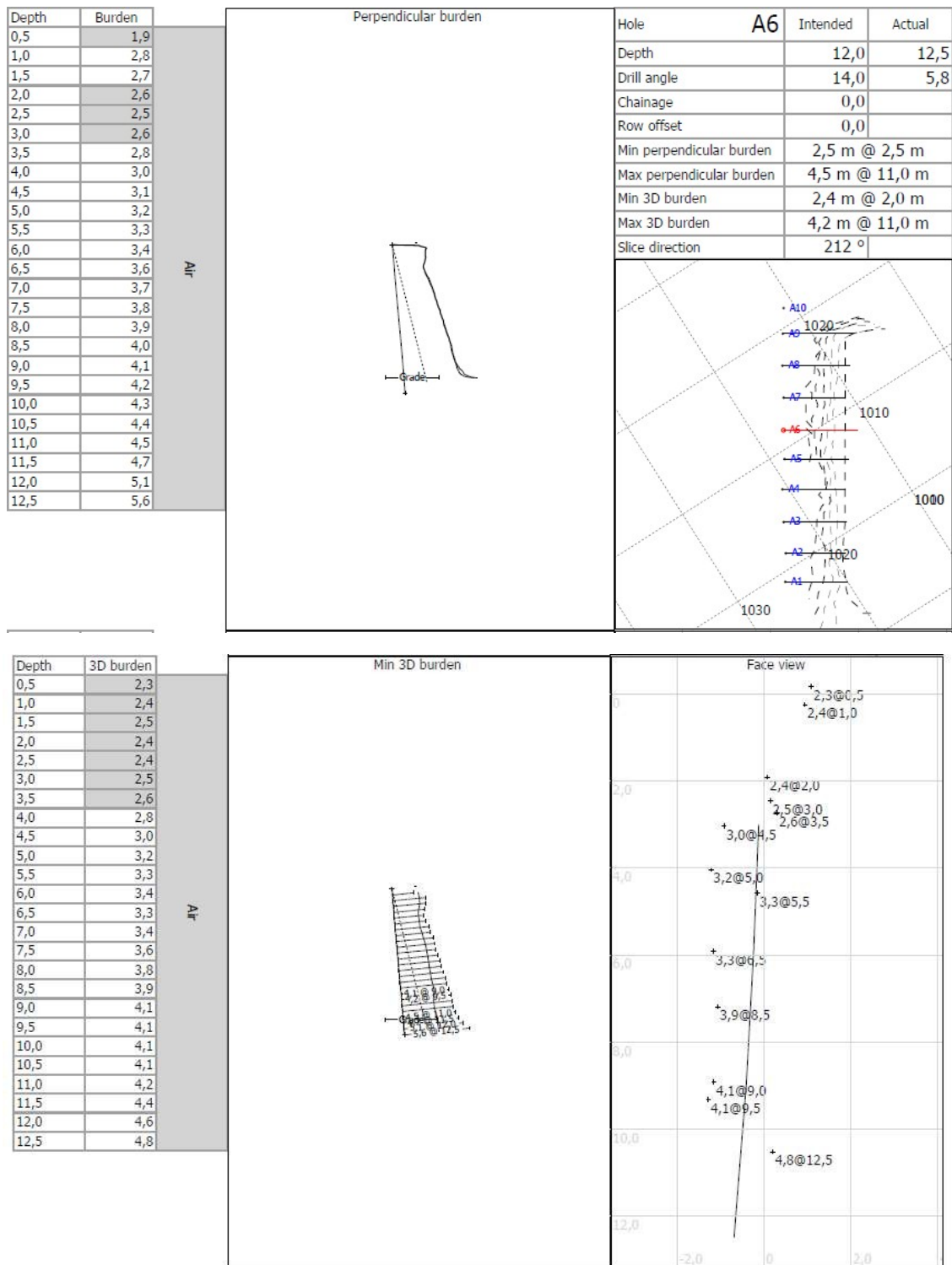


Figura 50 - Resultados obtidos do furo A6 (laser e boretrak, Pedreira de Santo Tirso).

Estes foram os furos que obtiveram maiores desvios em relação ao ângulo ideal de furação. De uma forma geral, o total de desvios na pega de fogo foi de 23,7 graus (ver Anexo 4 para os restantes resultados obtidos nos restantes furos na pedreira de Santo Tirso).

5.4.4 Resultados da fragmentação – Wipfrag (Pedreira de Santo Tirso)

A figura 51 ilustra o resultado final obtido, após o desmonte, em termos de fragmentação na pedreira de Santo Tirso.



Figura 51 - Pilha de material pós-desmonte.

Tal como foi feito previamente, esta imagem do material após o desmonte, foi analisada através do software Wipfrag obtendo-se uma curva granulométrica e um histograma (figura 52). Mais uma vez, a escala utilizada foi a caixa presente na fotografia com 0.65m de comprimento.

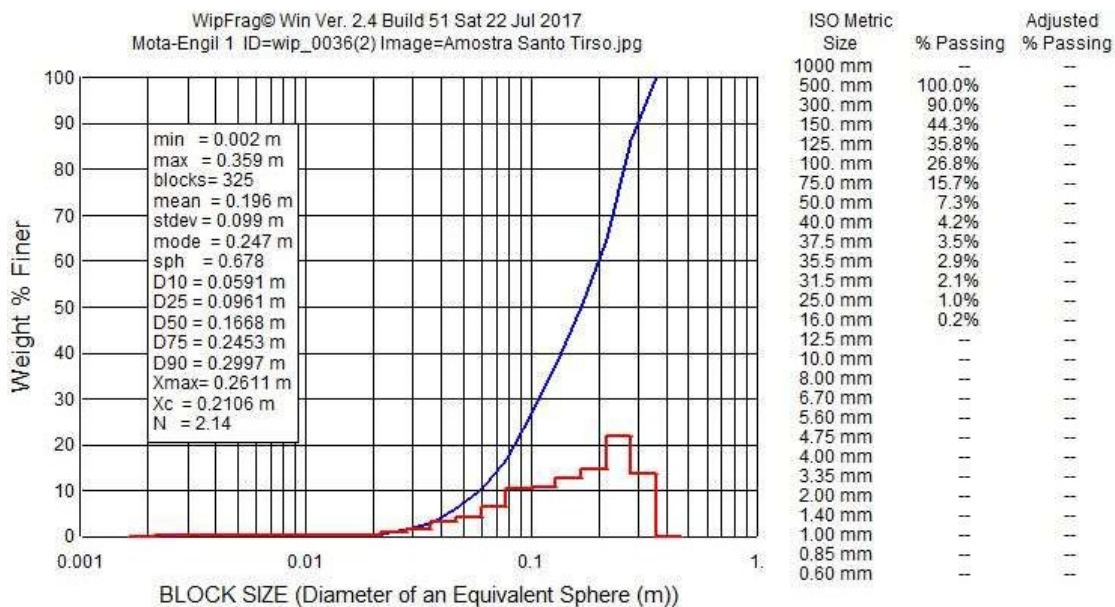


Figura 52 - Curva granulométrica e histograma após o desmorte (pedreira de Santo Tirso).

Na pedreira de Santo Tirso, o britador primário tem como abertura máxima 700mm e uma produção de 150 ton/h ou 57 m³/h. Tendo isto em consideração e a curva granulométrica do material desmontado, a percentagem de fragmentação secundária necessária é de 0% visto que a pedra de maiores dimensões tem 359 mm. A qualidade da fragmentação na pedreira de Santo Tirso revela-se demasiado fina em comparação com os restantes casos de estudo. Este facto poderá suscitar problemas no fragmentador primário relacionados com a sobrefragmentação. Este problema está relacionado com o facto de, aquando da alimentação do fragmentador, irão ser colocadas pedras que não irão sofrer qualquer tipo de redução de calibre pelo facto de serem já de calibres muito próximos da abertura de fecho do fragmentador.

5.4.5 Cálculo do custo de Energia necessária na produção

No presente ponto deste capítulo, tal como foi feito anteriormente nos restantes casos de estudo, vão ser apresentados os custos relacionados o consumo energético para produzir uma tonelada de material bem como a energia total necessária por hora na instalação (tabelas 11 e 12).

Tabela 12 -Energia necessária para produzir 1 tonelada de material (Pedreira de Santo Tirso)

A (μ)	P (μ)	W _i	E (kw/t)
359000	140000	16,7	0,17

Tabela 13 - Energia total necessária por hora na instalação (Pedreira de Santo Tirso).

Q (m ³ /h)	γ (t/m ³)	E (Kw/t)	Et (kwh)
57	1,6	0,17	15,29

Por fim, conclui-se que, por hora de trabalho na central de britagem são consumidos 15,29 kwh tendo em consideração a granulometria obtida pós desmonte.

Tendo estas tarifas energéticas em consideração, pode-se então determinar que, para um tamanho de pedra máximo que irá ser introduzido na instalação de 359mm e para uma produção de 57 m³/h, temos um custo de 1,07€/h o que se traduz e 0,019€/m³.

5.5 Discussão de Resultados

No presente ponto do capítulo será feita uma breve discussão dos resultados obtidos e apresentados anteriormente.

De uma forma geral, a média em graus de desvios de furação, para as pedreiras em estudo varia entre 19,7° e 28,3°, conforme se pode observar no gráfico 1.

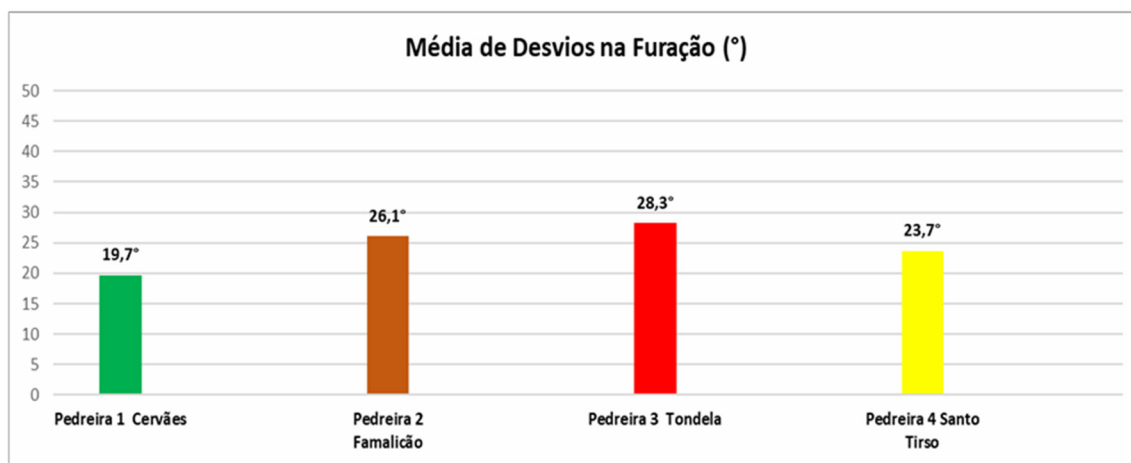


Gráfico 1 – Média de desvios de furação (°).

Tal como se pode constatar, a pedreira de Cervães foi a pedreira que obteve menores desvios de furação de todas as pedreiras estudadas (média de 19,7°). Isto teve influencia direta na qualidade da fragmentação e, posteriormente, nos resultados obtidos relativamente à curva granulométrica obtida através do *software* Wipfrag. Trata-se de uma curva granulométrica extensa e em que a granulometria não se apresenta nem demasiado fina, que poderia bloquear a instalação de britagem, nem demasiado grosseira, que se traduz, na maioria dos casos, no recurso à fragmentação secundária.

A segunda pedreira com mais desvios de furação é a pedreira de Santo Tirso com uma média de 23,7°. Os resultados obtidos na qualidade de fragmentação e consequentemente na curva granulométrica, refletem que, a fragmentação apresenta-se extremamente fina o que poderá ser prejudicial para a instalação de britagem. Também se pode associar este problema à carga explosiva utilizada podendo ter sido excessiva.

A terceira pedreira com mais desvios de furação é a pedreira de Famalicão com uma média de 26,3°. Neste caso em concreto, a qualidade da fragmentação e da curva granulométrica permitem concluir que a fragmentação é grosseira de uma forma geral, criando problemas na colocação do material no fragmentador primário. Por este facto, os custos associados à fragmentação secundária e ao consumo energético serão superiores

E por fim, a pedreira com mais desvios de furação foi a pedreira de Tondela com uma média de 28,3°. Este foi, dos casos de estudo, o mais extremo de todos. É a pedreira que apresenta maior percentagem de material que necessita de ser submetido a fragmentação secundária com 20% (gráfico 2), maior dimensão de fragmentação, curva granulométrica menos extensa e maiores custos de consumo energético para produção (0,031 €/m³).

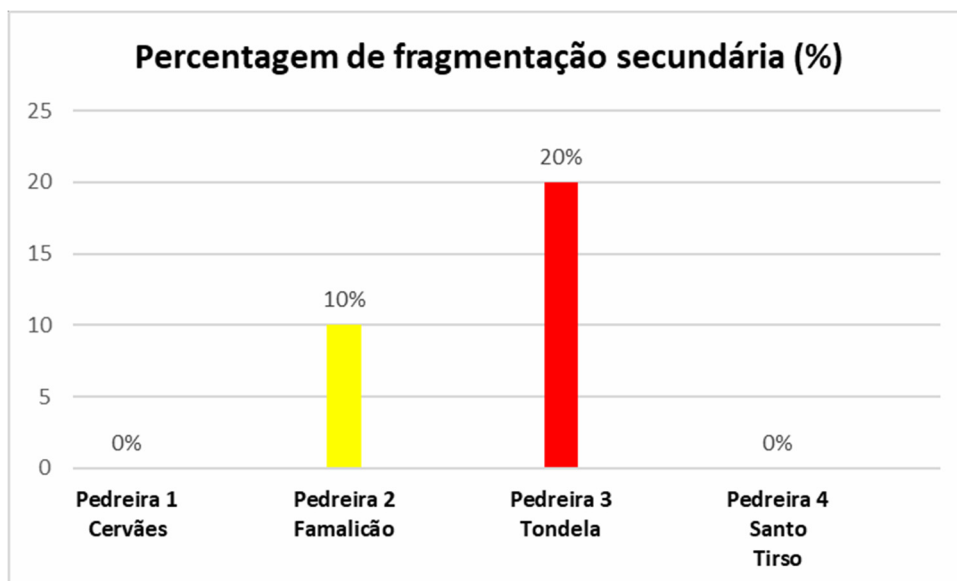


Gráfico 2 – Percentagem de taqueio em cada um dos casos estudados.

No que diz respeito à dimensão do maior bloco obteve-se os resultados apresentados no gráfico 3.

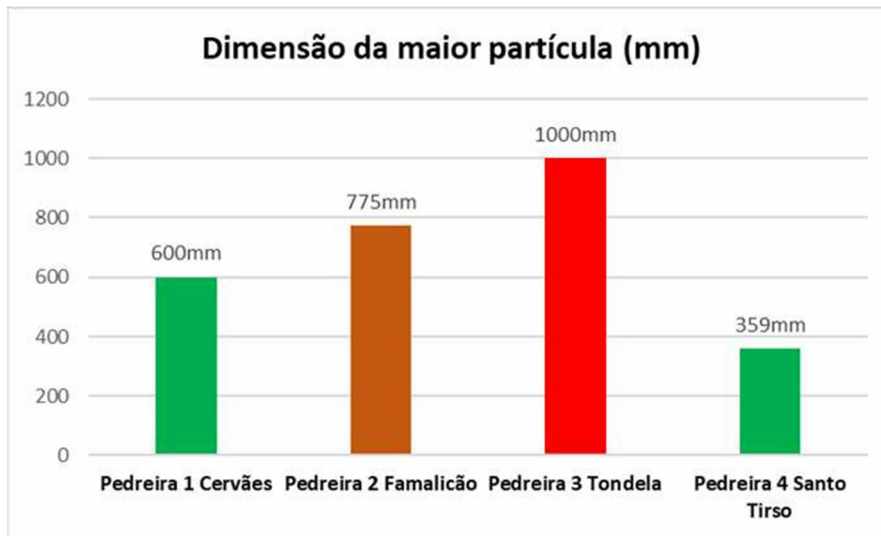


Gráfico 3 – Dimensão da maior partícula.

Tal como se pode observar no gráfico 3, a pedreira Tondela foi a que obteve o bloco de maiores dimensões. Isto deve-se ao facto de, em todas as pedreiras estudadas, esta ter sido a pedreira que apresentou maiores desvios de perfuração. O mesmo aconteceu com a pedreira de Vila Nova de Famalicão, onde os desvios de furação foram bastante significativos e isso reflete-se na dimensão do calibre da fragmentação. A dimensão do maior bloco é um fator importante a ter em consideração porque influencia o custo energético de produção (gráfico 4).

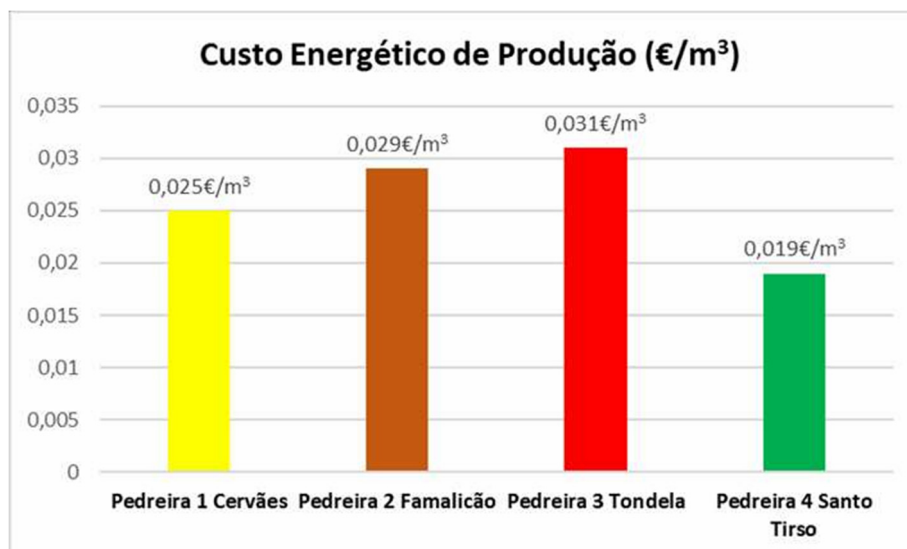


Gráfico 4 – Custo energético de produção (€/m³).

Tal como podemos observar, o custo energético de produção está dependente da dimensão da maior partícula. As pedreiras de Tondela e Vila Nova de Famalicão foram as que obtiveram calibres de maiores dimensões, foram também as que obtiveram maiores custos de produção (€/m³).

Seguidamente, faz-se comparação direta entre fatores tais como os desvios de furação com a percentagem de taqueio, dimensão da maior partícula e custos do consumo energético, de forma a ter uma melhor perceção da influência dos desvios de furação (gráficos 5, 6, 7, 8, 9 e 10).

É importante referir que, na comparação direta entre a dimensão da maior partícula e o consumo energético não foram considerados os valores da pedreira de Cervães. Isto deve-se ao facto de a pedreira de Cervães apresentar consideravelmente menos desvios de furação que os restantes casos de estudo e, por isso, poder-se-ia não obter uma perceção real do impacto que os mesmos têm nestes dois fatores.

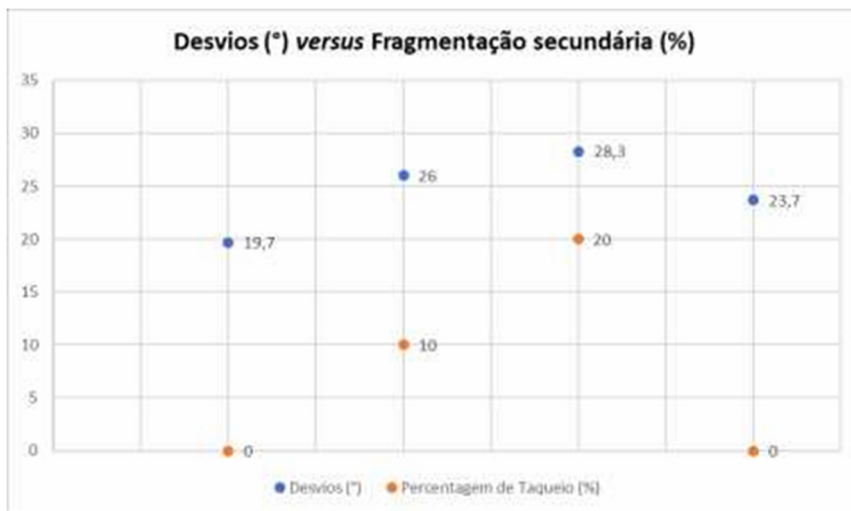


Gráfico 5 – Desvios de furação versus percentagem de taqueio.

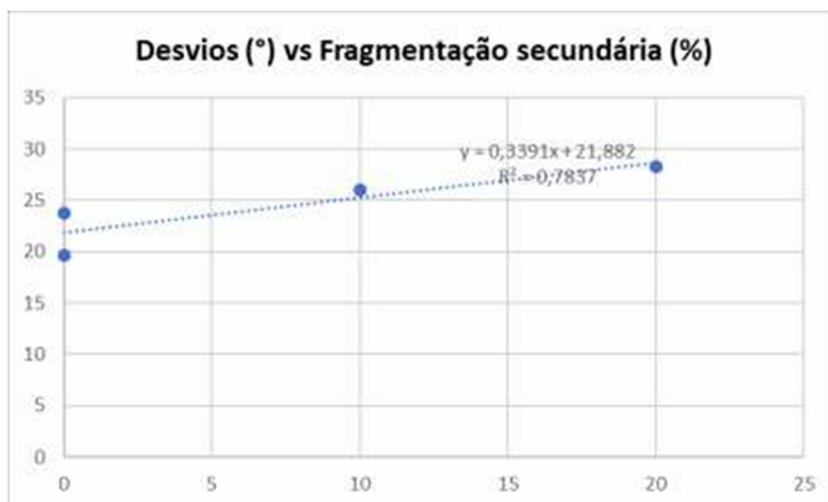


Gráfico 6 – Reta de tendência dos desvios de furação versus percentagem de taqueio.

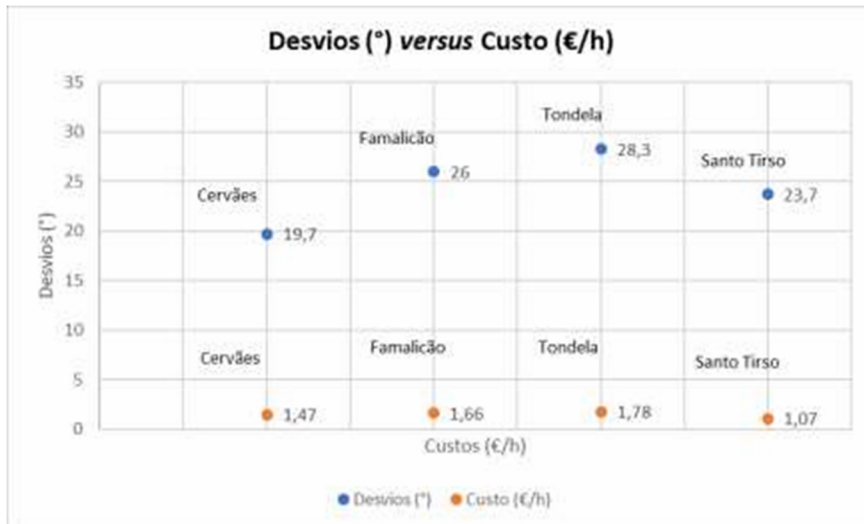


Gráfico 9 – Desvios de furação *versus* Custo de energia para produção por hora.

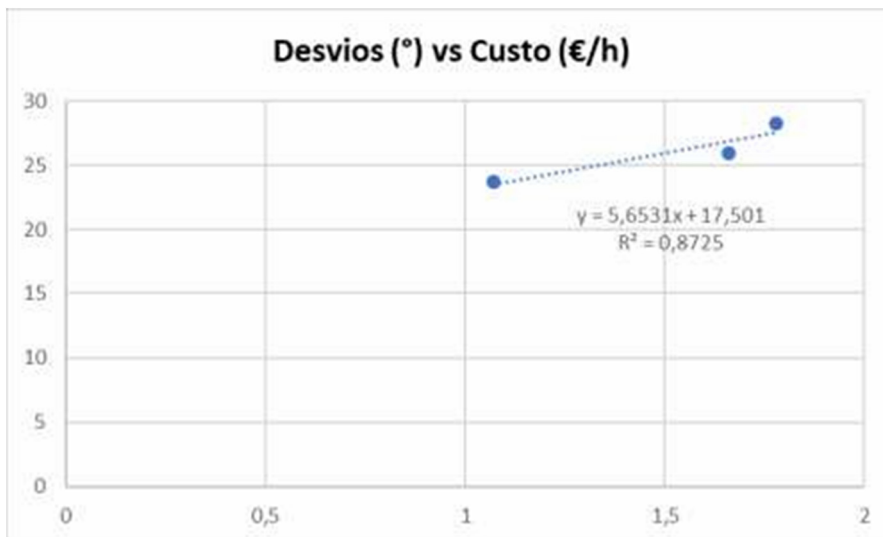


Gráfico 10 – Retas de tendência dos desvios de furação *versus* custo de energia para produção por hora.

De uma forma geral, tal como se pode observar nos gráficos 5, 6 e 7, quantos maiores forem os desvios de furação, maiores serão as dimensões das partículas que conseqüentemente trará maior percentagem de taqueio e que levará, por sua vez, a maiores custos associados ao consumo energético por hora.

Os desvios de furação têm uma influência na ordem dos 78% na percentagem de fragmentação secundária, 45% na dimensão do maior bloco e 27% nos custos energéticos.

A única pedreira que não segue o padrão é a pedreira de Santo Tirso, que apesar de ser o terceiro caso de estudo com mais desvios de furação, é a que apresenta menores custos, menores dimensões

de calibres de pedra fragmentada e não será necessário recorrer-se à fragmentação secundária através do martelo hidráulico. Isto estará relacionado com facto de a concentração de carga explosiva ter sido demasiado elevada tendo em consideração a competência da zona do maciço que se pretendia desmontar (gráfico 11).

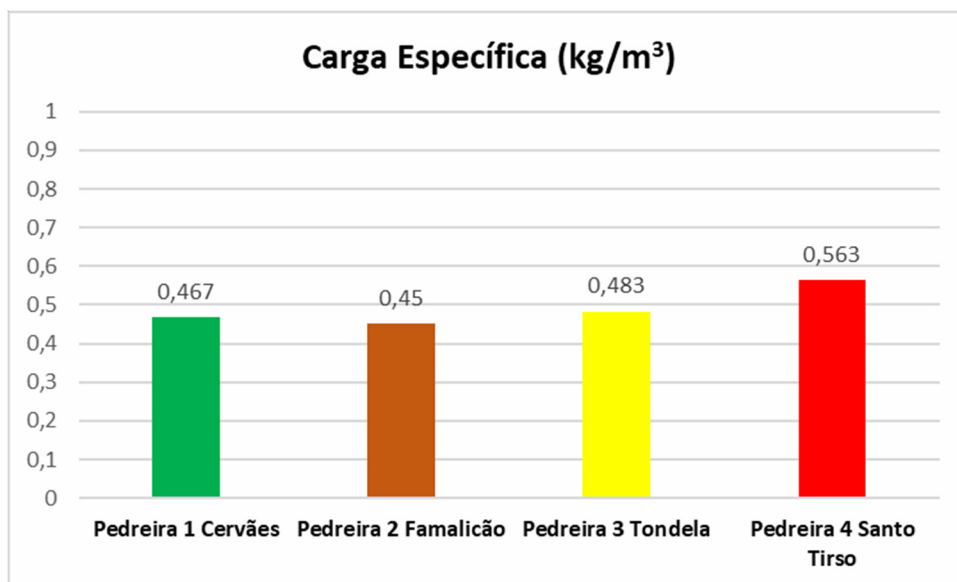


Gráfico 11 – Carga específica de cada um dos casos de estudo.

Para que seja possível obter uma visão mais objetiva dos custos energéticos, estão apresentados os mesmos na tabela 5, ao final de um ano de produção em cada um dos casos estudados.

Tabela 14 – Valores anuais dos custos energéticos.

Pedreiras	Produção Anual (m³/ano)	Custos Energéticos (€/ano)
Cervães	113207	2830,175
Famalicão	124528	3611,312
Santo Tirso	94339	1792,441
Tondela	94339	2924,509

Apesar de não ser possível fazer uma comparação direta entre os casos estudos porque as pedreiras têm diferentes níveis de produção, é possível comparar os casos de Santo Tirso e Tondela onde a produção é igual, no entanto, os custos anuais em Tondela são consideravelmente superiores. Tal como foi dito anteriormente, como a fragmentação neste caso de estudo revelou-se demasiado grosseira, traduz-se em custos acrescidos a nível energético.

As pedreiras de Cervães e Famalicão têm níveis de produção muito semelhantes, e nota-se que o caso de Famalicão teve repercussões nos custos energéticos devido ao mesmo fator que afetou pedreira de Tondela, fragmentação demasiado grosseira.

CAPÍTULO 6

Conclusões

(Página propositadamente em branco)

6. Conclusões

A fragmentação desejada numa pedreira é definida pelo fim que se pretende dar a esse produto. Hoje em dia, recorrendo a *softwares* como o Wipfrag, ou a equipamentos como o Laser Profile e o Boretrak, é cada vez mais fácil obter resultados reais relativamente à fragmentação obtida após o desmonte.

Tal como foi sendo referido ao longo deste trabalho, existem vários fatores que têm influência direta na qualidade de fragmentação. Alguns destes fatores não são controláveis, tal como a qualidade do maciço rochoso que se pretende desmontar, e outros fatores que são controláveis. Dentro dos fatores controláveis temos os que estão relacionados com a geometria da pega de fogo (numero de furos, distância à frente, espaçamento entre furos, comprimento, diâmetro e inclinação dos furos, entre outros) e os que estão diretamente relacionados com as características dos explosivos.

Nos casos estudados, os maciços rochosos das 4 pedreiras têm características geomecânicas diferentes relativamente ao número de famílias de descontinuidades e à atitude geológica das mesmas. No entanto, todos os maciços são da mesma fácies litológica: Granito e em termos de grau de alteração e fracturação são bastante semelhantes entre si (W1-2 e F1-2). Isto também ocorre devido ao facto de todos maciços terem que ter qualidade suficiente para a produção de agregados visto que estes serão utilizados nas mais variadas obras de construção civil.

Relativamente aos fatores controláveis, tal como foi possível verificar, a geometria das pegas de fogo não difere muito de pedreira para pedreira precisamente pelo facto de os próprios maciços rochosos terem características geomecânicas semelhantes entre si.

Assim, pode-se concluir que, de todos os fatores que têm influencia direta na qualidade da fragmentação após o desmonte, um dos que terá mais peso será a qualidade da furação, ou seja, se esta apresenta ou não grandes desvios.

Tal como foi anteriormente referido no ponto 5, apresentação e discussão de resultados, do presente trabalho, os desvios de furação têm impacto direto no calibre geral da fragmentação, na percentagem de material que terá que ser sujeito a fragmentação secundária e que se traduz em custos adicionais e no custo do consumo energético por parte da instalação de britagem.

De uma forma geral, a pedreira de Cervães foi o caso de estudo que obteve resultados mais positivos. Apesar de não ser o caso de estudo com menos desvios de furação, a

curva granulométrica elaborada no Wipfrag revela-se extensa e não existem blocos que tenham que ser submetidos a fragmentação secundária. No que diz respeito aos custos associados ao consumo energético também é dos mais baixos de todos os casos estudados, 1,47 €/h.

Segundo Singh *et al.* (2015), quanto maior for a carga específica, mais fina será a fragmentação da rocha. Isto veio a verificar-se na pedreira de Santo Tirso, onde foi possível observar através da curva granulométrica que a fragmentação se encontra consideravelmente mais fina do que nos restantes

casos estudados. Claro que, aliado ao facto de a carga específica ter sido demasiado elevada, 0,563 kg/m³, os desvios de furação também tiveram influência na qualidade da fragmentação (23,7°). Os resultados da fragmentação estão também interligados ao facto de a zona do maciço que foi desmontada com esta pega de fogo ser uma zona mais alterada que se destinava à produção de areia.

As pedreiras de Tondela e Vila Nova de Famalicão foram os casos de estudo em que se verificaram piores resultados em termos de fragmentação. A fragmentação em ambas as pedreiras revela-se grosseira (com percentagens de taqueio de 20 % e 10% respetivamente), sendo necessário recorrer-se à fragmentação secundária para evitar encravamento no fragmentador primário. Relativamente aos desvios de furação, foram os casos de estudo que obtiveram maiores desvios, 28,3° e 26,1°. As zonas dos maciços que foram desmontadas eram zonas competentes e as cargas específicas e a geometria da pega foram devidamente ajustadas. Nestes dois casos de estudos pode ver-se que o factor que contribui para uma fragmentação tão grosseira foram mesmo os desvios de furação que foram exagerados e, em vários casos, os furos que obtiveram maiores desvios encontram-se demasiado próximos, o que denota a importância da adequação das malhas de perfuração.

No final, também foi possível concluir que os desvios de furação contribuem para os custos de consumo energético por parte da instalação de britagem, tal como foi referido no capítulo 5. do presente trabalho, ou seja, quanto maiores forem os desvios de furação mais custos haverá associados ao consumo energético.

De uma forma geral, após a conclusão deste trabalho, é possível afirmar que, de facto, os desvios de furação são um índice muito importante na indústria extrativa e que podem ter um impacto muito grande quando se pretende otimizar todos os processos que estejam relacionados com o desmonte de rocha. Além disto, hoje em dia já existem

equipamentos que são relativamente intuitivos e de fácil uso, que permitem obter informações aproximadas relativamente a este índice e que permitem que sejam feitos ajustes relativamente à carga específica ou à geometria da pega de fogo de uma forma mais exata.

Perspetivas futuras

Relativamente às perspetivas futuras, seria importante aprofundar o estudo que foi feito neste trabalho relativamente ao custo do consumo energético. Não restringir este estudo, única e exclusivamente, ao fragmentador primário, mas a todos os equipamentos constituintes das instalações de britagem.

Outro aspeto importante a considerar a estudar seria a realização de um maior número de rebentamentos numa só pedreira para perceber exatamente o impacto dos desvios de perfuração tem na qualidade de fragmentação, e em que influenciam nos custos de transporte para o fragmentador primário.

Por fim, seria importante realizar estudos geomecânicos dos maciços que fossem mais atualizados. Tal como foi referido neste trabalho, os levantamentos cartográficos aqui apresentados foram gentilmente cedidos pela empresa Mota-Engil, SA. No entanto, alguns deles carecem de atualização, o que também permitiria avaliar o impacto da compartimentação do maciço na fragmentação ou nos desvios de furação.

CAPÍTULO 7
Bibliografía

(Página propositadamente em branco)

7. Bibliografia

Bernardo P., (2014). Sistemas de iniciação. Detonadores electrónicos. Análise comparativa. Apoio às sessões de formação no Centro de Treino em Explosivos e Contra-medidas, Polo Permanente do PM001 V.N.Barquinha. Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia de Minas e Georrecursos. Lisboa.

DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia. (2014). Informação Estatística da Indústria Extrativa. Nº 16. Lisboa. pp 2.

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.

Gomes L., Galiza A. & Vieira A., 2008. Desmorte de rocha com explosivos. FIPP, Porto, pp. 63. (Texto não publicado)

Gomes L., Galiza A. & Vieira A., 2006. Desmorte de Maciços Rochosos I -Versão 2006/2007. ISEP, Porto, pp. 159. (Texto não publicado)

Gomes L., Galiza A. & Vieira A., 2006. Desmorte de Maciços Rochosos II - Versão 2006/2007. ISEP, Porto, pp. 114. (Texto não publicado)

Hartman, H. L., 1987. Introductory Mining engineering. John Wiley & Sons, New York, pp. 117-128.

Maerz, N. H., Palangio, T. C., and Franklin, J. A., 1996. WipFrag image based granulometry system. Proceedings of the FRAGBLAST. 5º Workshop on Measurement of Blast Fragmentation, Montreal, Quebec, Canada, 23-24 Aug., pp. 91-99.

Matos, M. L. F., Baptista, J., Diogo, M. T., Magalhaes, B. (2011). A Evolução da Indústria Extractiva Portuguesa - Perspectivas de Segurança, Saúde e Sustentabilidade. International Symposium on Occupational safety and Hygiene. Guimarães, SPOSHO. pp. 388-392

Mohanty, B. 1996. Rock Fragmentation by Blasting. s.l. : Balkema, pp. 13 – 35.

Mota – Engil, SA., 2004. Estudo de Impacte Do Projecto de Ampliação da Pedreira “Bouça do Menino”. (Resumo-Não-Técnico)

Mota – Engil, SA., 2004. Estudo de Impacte Do Projecto de Ampliação da Pedreira “Moinho de Vento”. (Resumo-Não-Técnico)

Mota – Engil, SA., 2004. Estudo de Impacte Do Projecto de Ampliação da Pedreira “Caramelo”. (Resumo-Não-Técnico)

Mota – Engil, SA., 2004. Estudo de Impacte Do Projecto de Ampliação da Pedreira “Coutada”. (Resumo-Não-Técnico)

Mota, P. J. F. (2011). Abordagem prática para execução de taludes em obras rodoviárias com recurso a pré-corte. Instituto Superior de Engenharia do Porto. (Dissertação de Mestrado).

Pereira, I. C. C. (2009). Análise de Acidentes de Trabalho em Pedreiras. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre e Saúde no Trabalho. Escola Superior de Ciências Empresariais, Instituto Politécnico de Setúbal, Setúbal. Pp. 16-18.

Persson, Per Anders, Holmberg, R., Lee, J., 1994. Rock Blasting and Explosives Engineering. CRC Press LLC, pp. 5 – 24.

López Jimeno, C., López Jimeno, E., Manglano Alonso, S., Toledo Santos, J.M., 1991. Manual de Arranque, Carga y Transporte en Minería a Cielo Abierto. Instituto Tecnológico Geominero de España Madrid, pp. 139 – 162.

Vaz S., 2008. Desmonte com Explosivos. Fundação Politécnico do Porto - FIPP, pp. 99. (Texto não publicado)

Venkatesh M., 2010. Limestone Rock Fragmentation Analysis using Wipfrag. pp. 1-26.

Vieira A., 2008. Acessórios de perfuração, utilização e manutenção. Fundação Politécnico do Porto - FIPP, pp. 99. (Texto não publicado)

Vieira A., 2008. Fragmentação Secundária, Controlo da Fragmentação, Controlo das Projecções, Controlo da Onda de Choque Aérea, Controlo das Vibrações. Fundação Politécnico do Porto – FIPP, pp. 52. (Texto não publicado)

Sites da internet consultados:

www.anmp.pt - Associação Nacional de Municípios Portugueses (Consultado em Maio de 2017).

<http://www.cm-vilaverde.pt/> - Camara Municipal de Vila Verde (Consultado em Abril de 2017).

<http://www.cm-vnfamaliao.pt/> - Camara Municipal de Famalicão (Consultado em Abril de 2017).

<http://www.cm-tondela.pt/> - Camara Municipal de Tondela (Consultado em Abril de 2017).

<https://www.cm-stirso.pt/> - Camara Municipal de Santo Tirso (Consultado em Abril de 2017).

www.sniamb.apambiente.pt/webatlas - Sistema Nacional de Informação do Ambiente (Consultado em Junho de 2017).

<https://landshaft-dezign.ru/prefix/731454.jpg> (Consultado em Agosto de 2017).

<https://http2.mlstatic.com/martelo-hidraulico-novo-rompedor-para-retroescavadeira> (Consultado em Agosto de 2017).

Anexos

(Página propositadamente em branco)

Anexos 1 – Resultados do Laser e Boretrak da Pedreira de Cervães

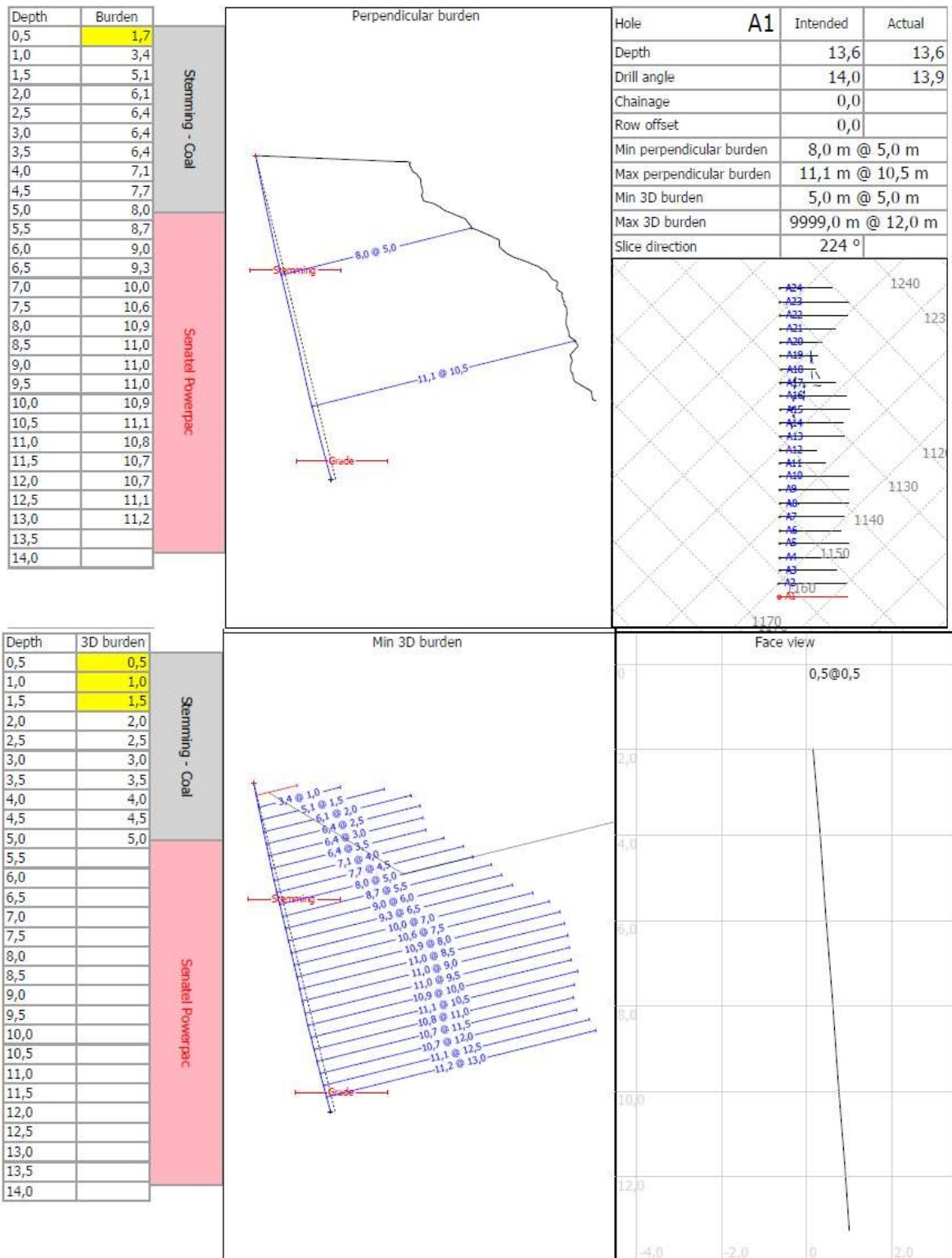
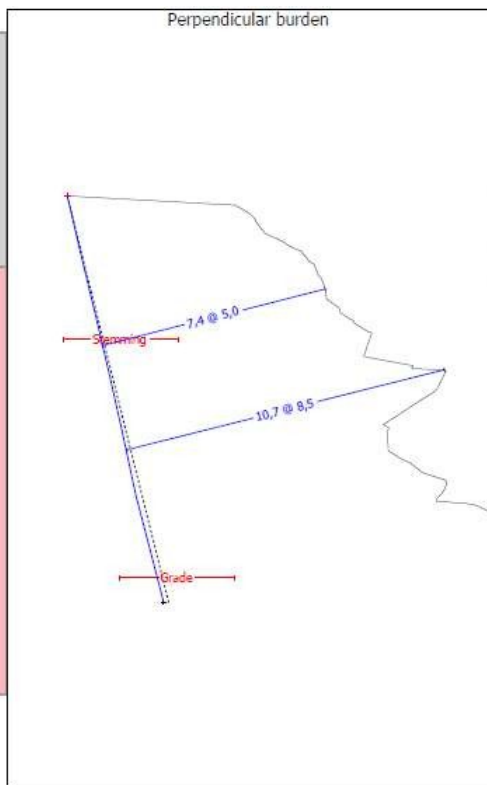


Figura 1 – Perfis do furo A1 da pedra de Cervães.

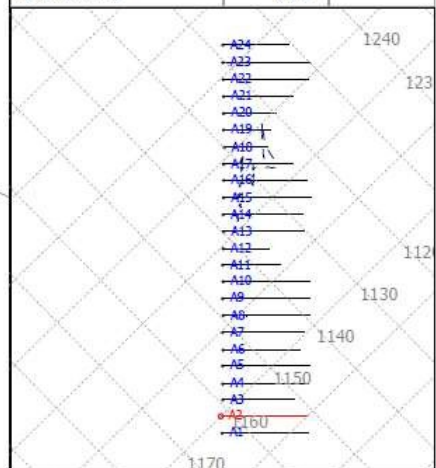
Depth	Burden
0,5	1,6
1,0	3,3
1,5	4,9
2,0	5,6
2,5	5,9
3,0	6,3
3,5	6,9
4,0	7,2
4,5	7,4
5,0	7,4
5,5	7,6
6,0	7,9
6,5	8,3
7,0	8,4
7,5	8,4
8,0	9,5
8,5	10,7
9,0	10,3
9,5	9,0
10,0	8,4
10,5	8,3
11,0	8,7
11,5	9,1
12,0	9,9
12,5	9,4
13,0	10,6
13,5	11,2
14,0	

Stemming - Coal

Senatel Powerpac



Hole	A2	Intended	Actual
Depth		13,6	13,6
Drill angle		14,0	14,2
Chainage		0,0	
Row offset		0,0	
Min perpendicular burden		7,4 m @ 5,0 m	
Max perpendicular burden		10,7 m @ 8,5 m	
Min 3D burden		3,3 m @ 6,0 m	
Max 3D burden		3,9 m @ 12,0 m	
Slice direction		224 °	



Depth	3D burden
0,5	4,3
1,0	4,1
1,5	3,9
2,0	3,8
2,5	3,7
3,0	3,6
3,5	3,6
4,0	3,6
4,5	3,5
5,0	3,4
5,5	3,4
6,0	3,3
6,5	3,4
7,0	3,5
7,5	3,6
8,0	3,6
8,5	3,7
9,0	3,7
9,5	3,6
10,0	3,6
10,5	3,6
11,0	3,7
11,5	3,8
12,0	3,9
12,5	4,0
13,0	4,2
13,5	4,5
14,0	4,5

Stemming - Coal

Senatel Powerpac

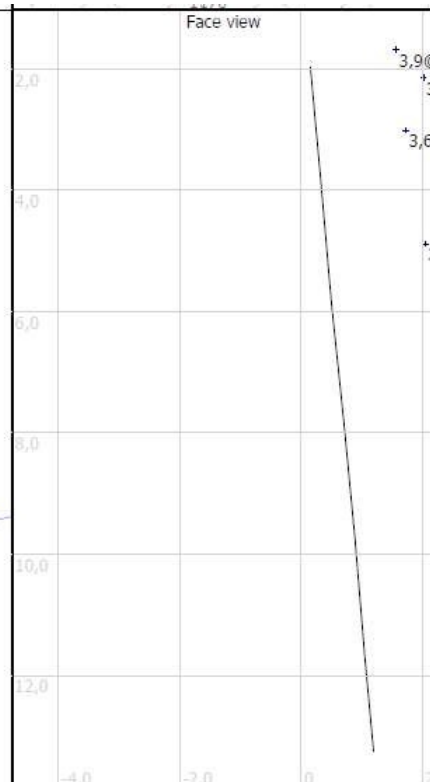
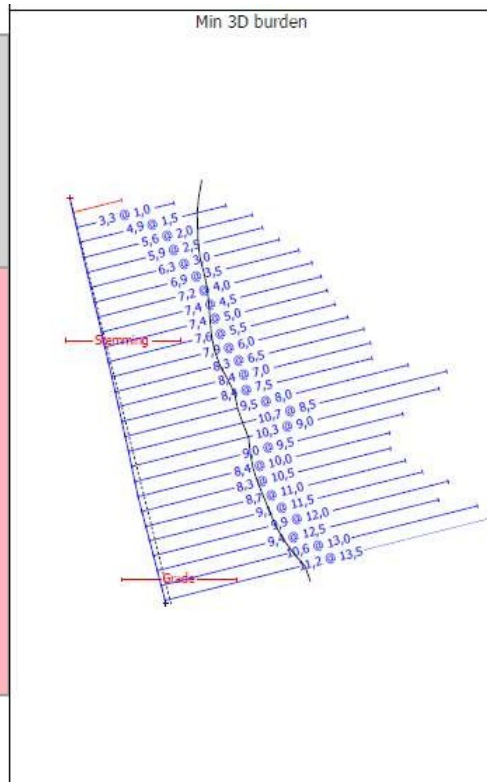


Figura 2 – Perfis do furo A2 da pedra de Cervães.

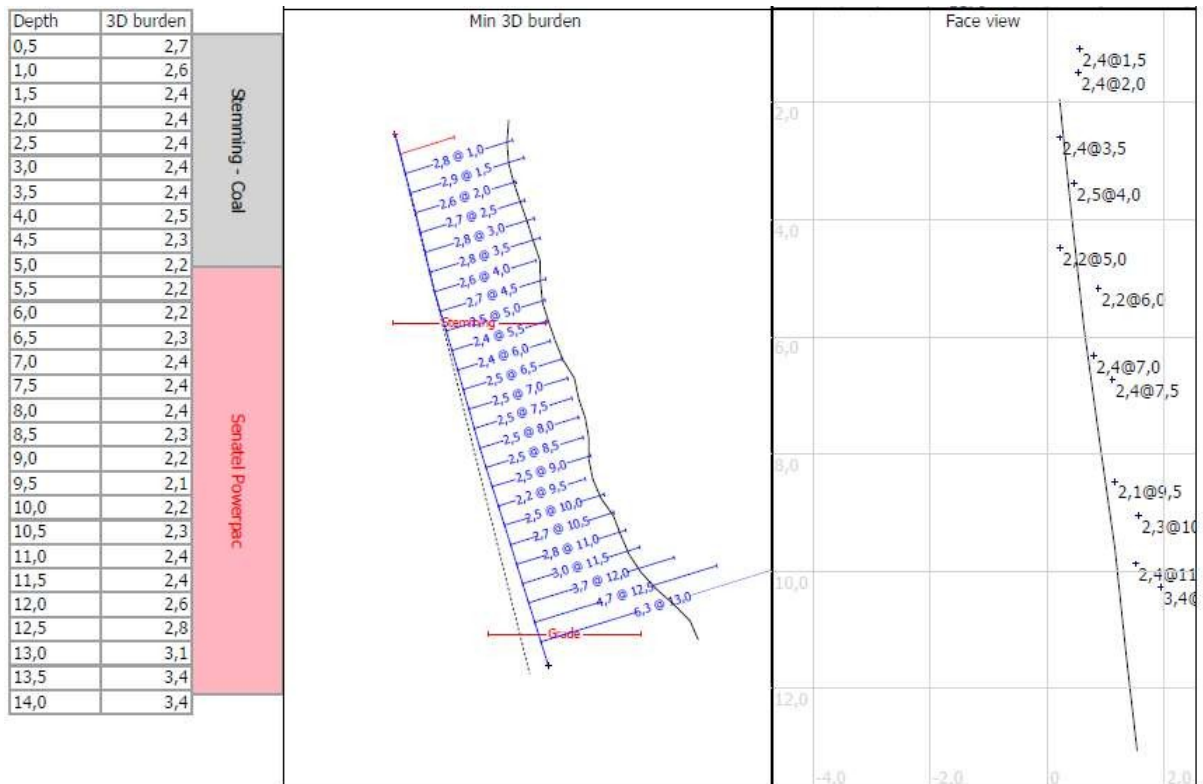
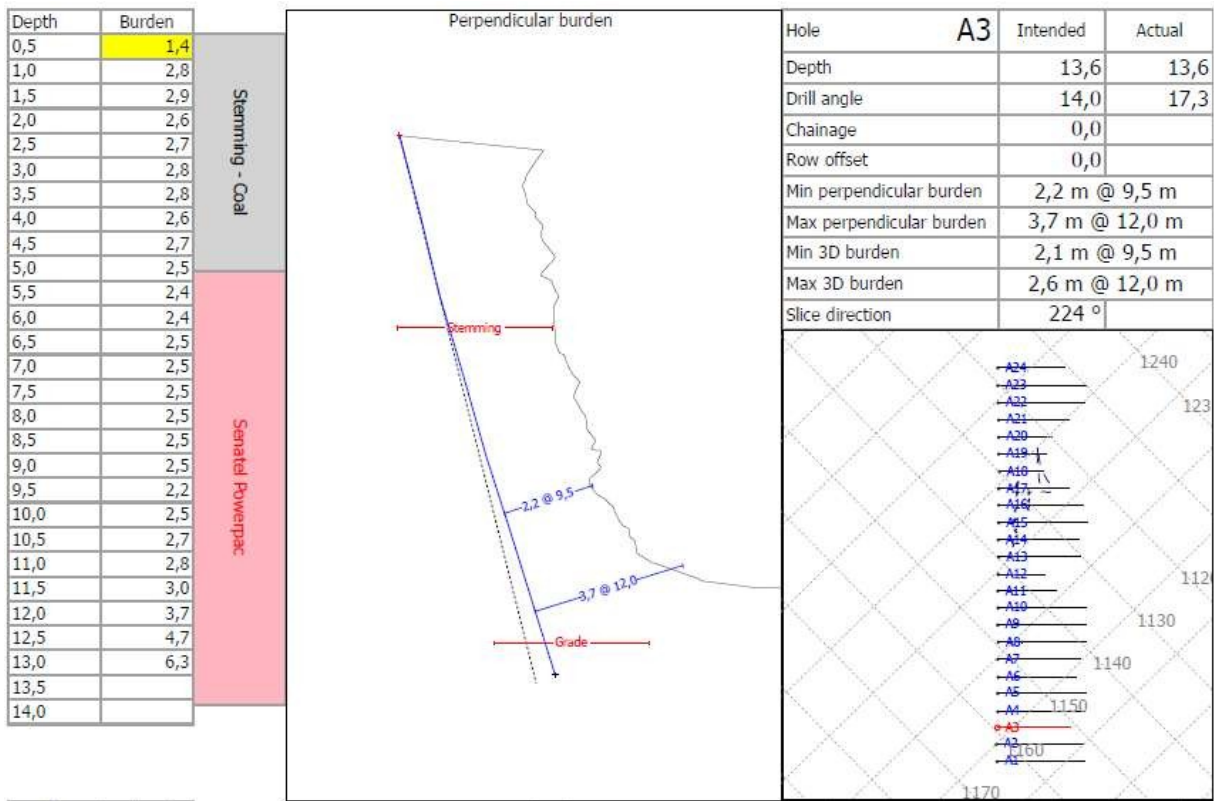


Figura 3 – Perfis do furo A3 da pedra de Cervães.

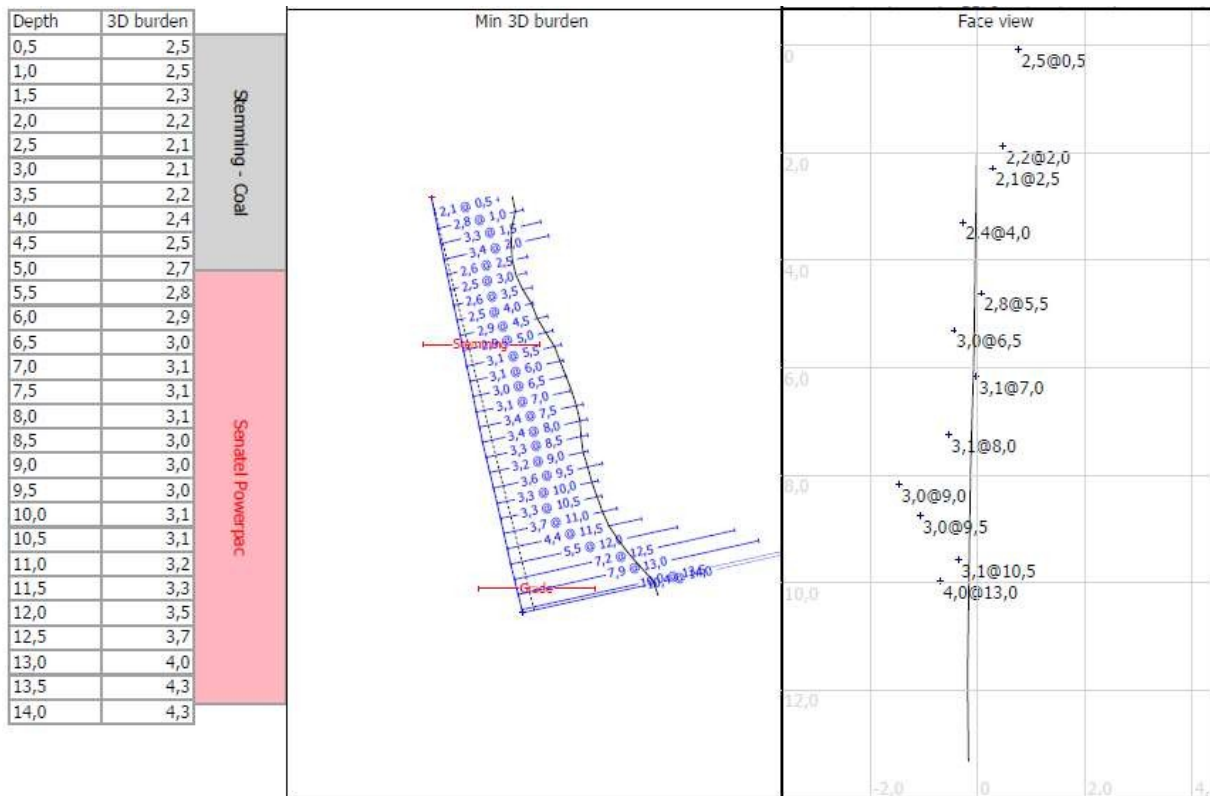
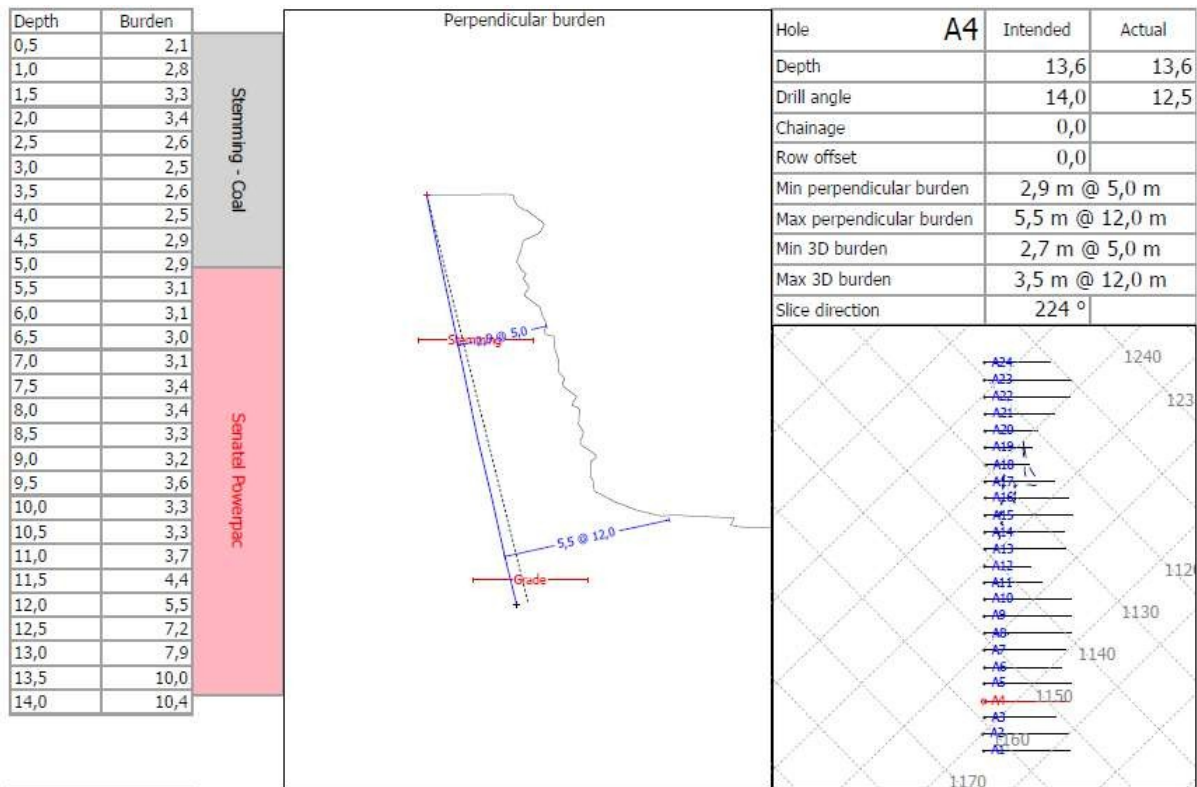


Figura 4 – Perfis do furo A4 da pedra de Cervães.

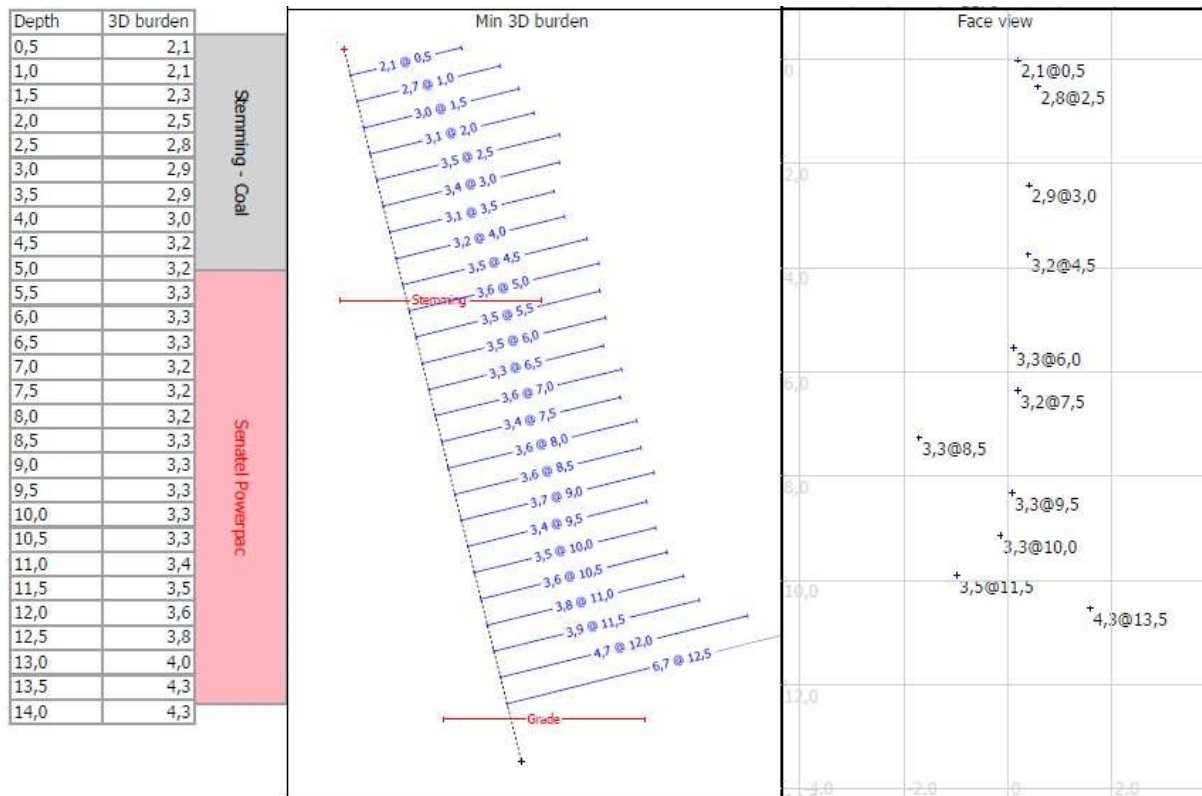
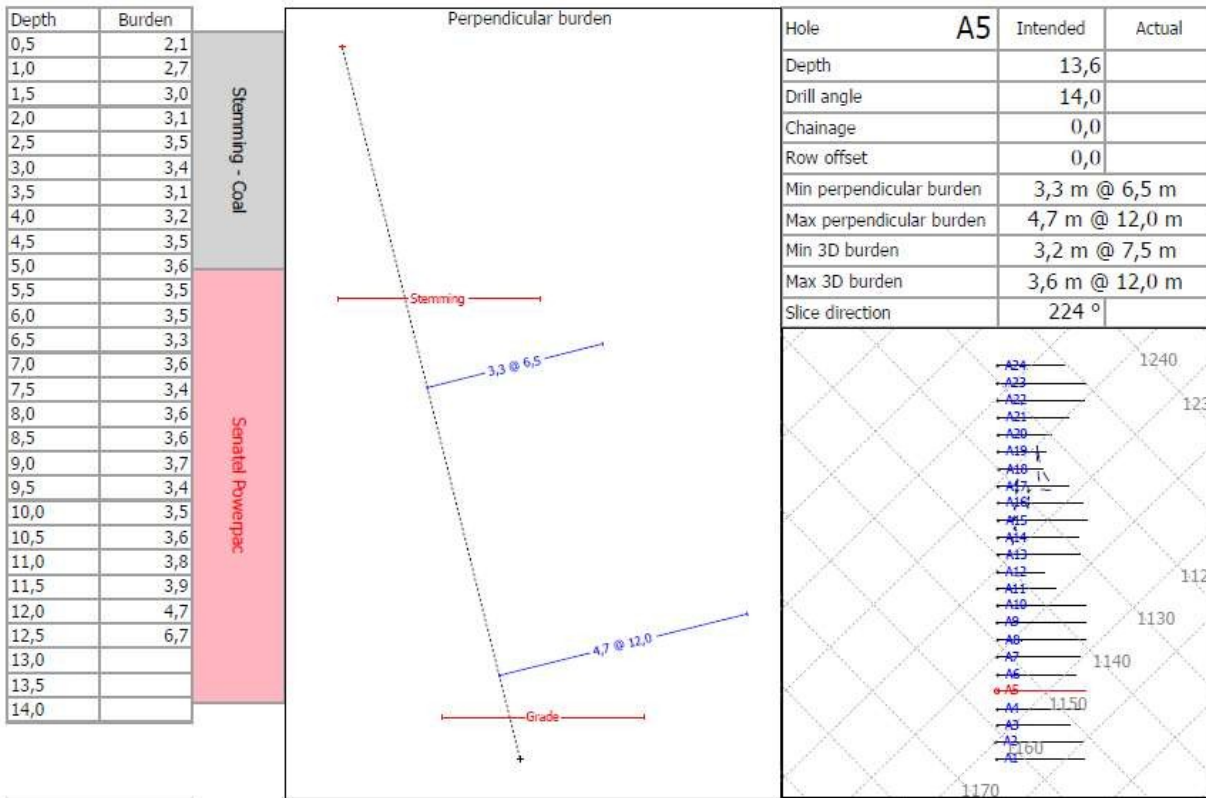


Figura 5 – Perfis do furo A5 da pedra de Cervães.

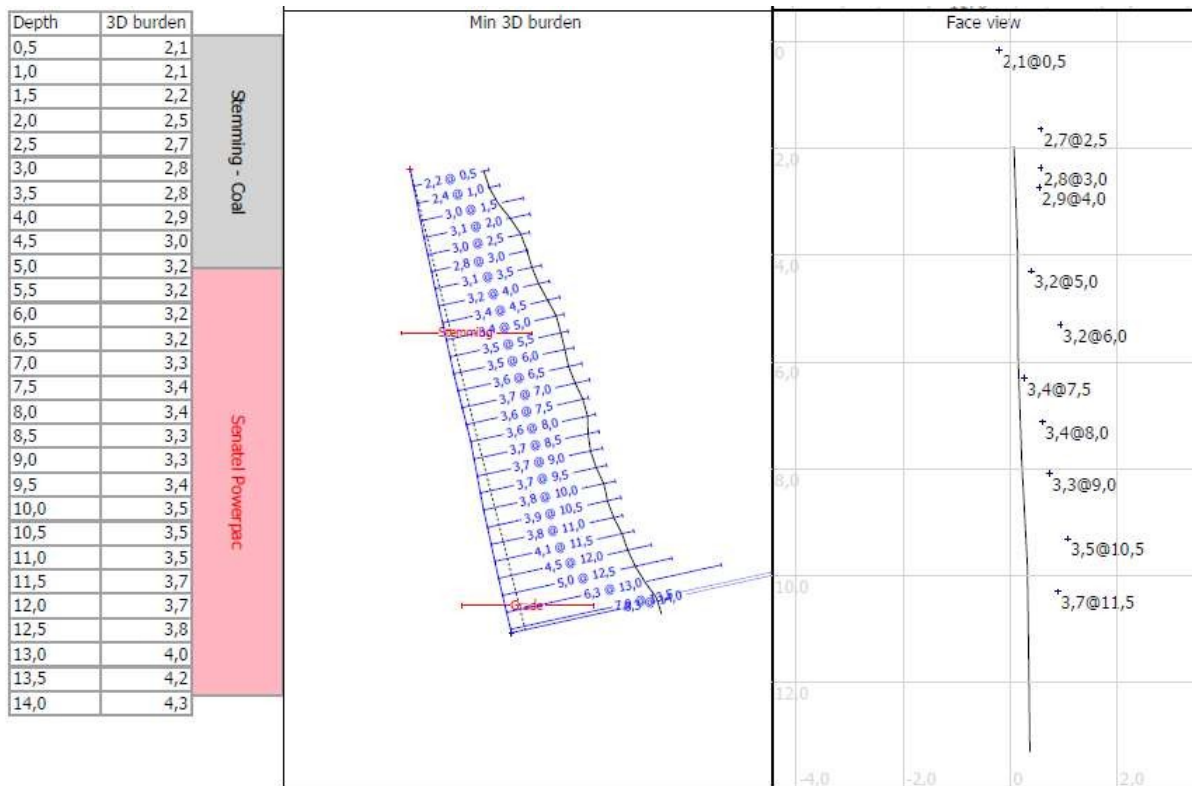
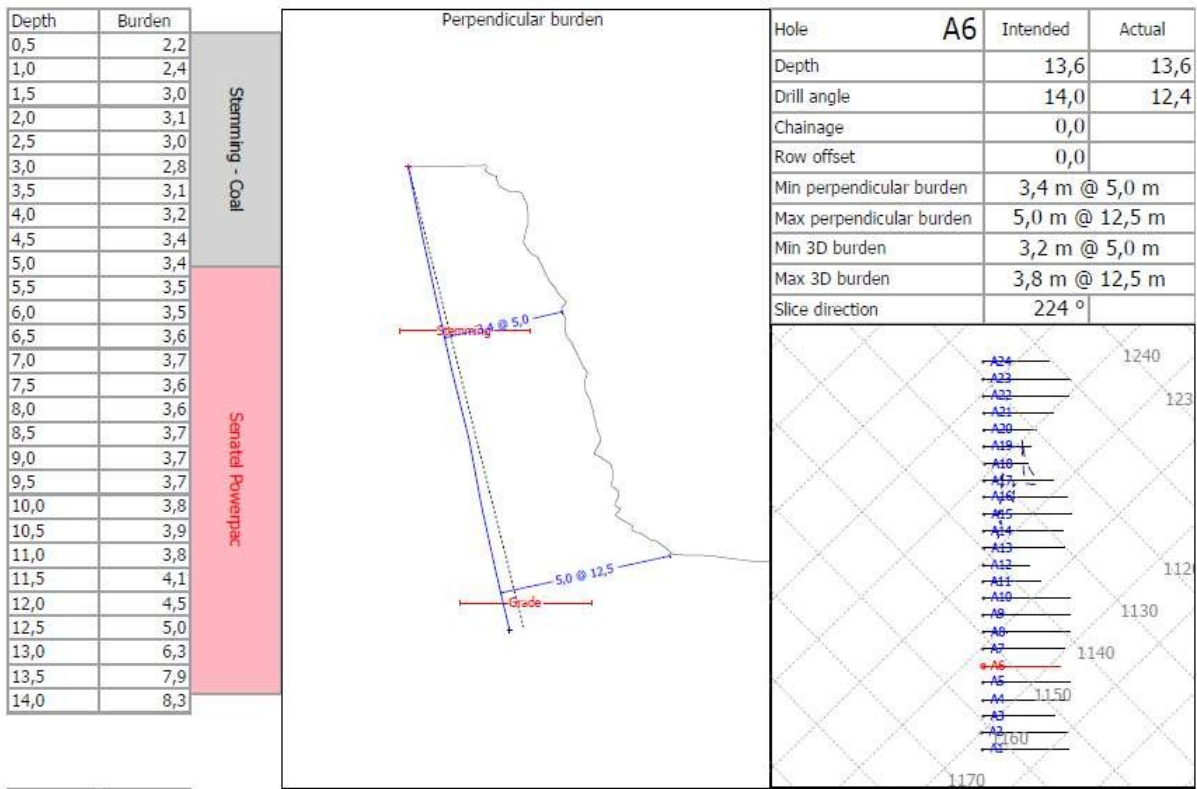


Figura 6 – Perfis do furo A6 da pedra de Cervães.

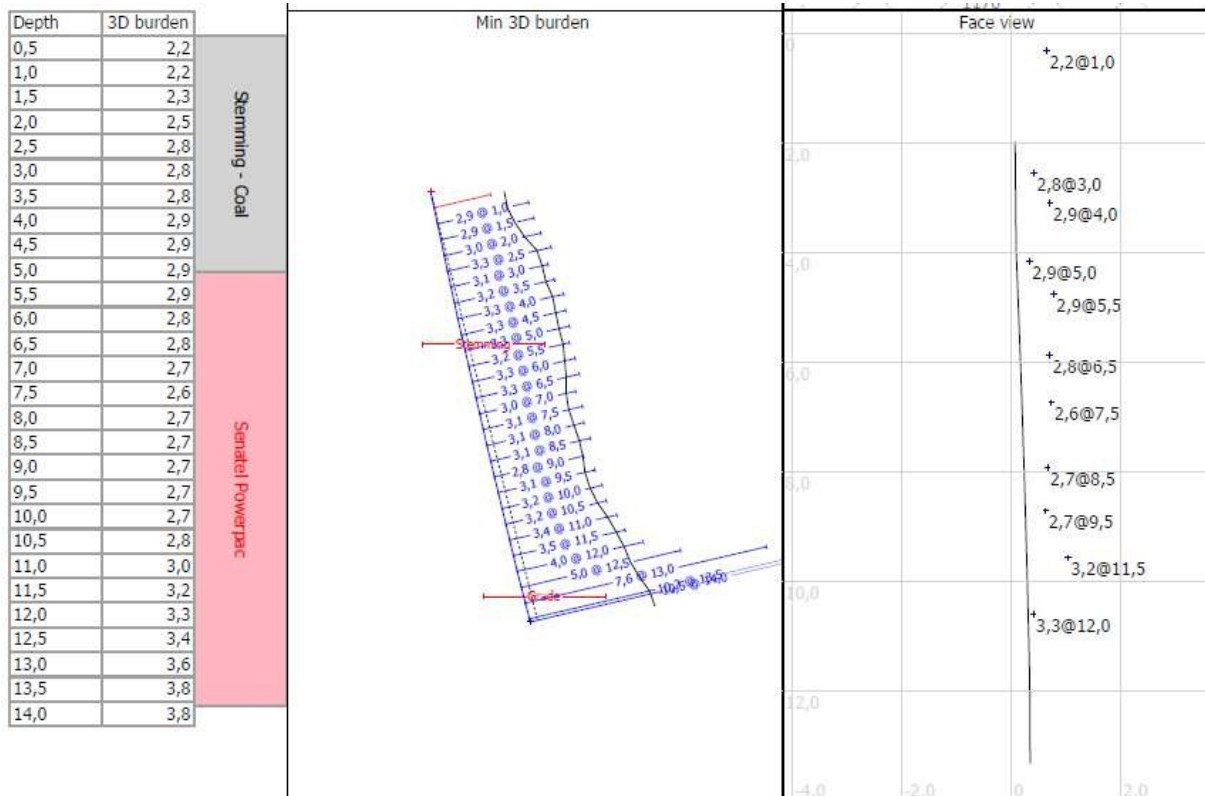
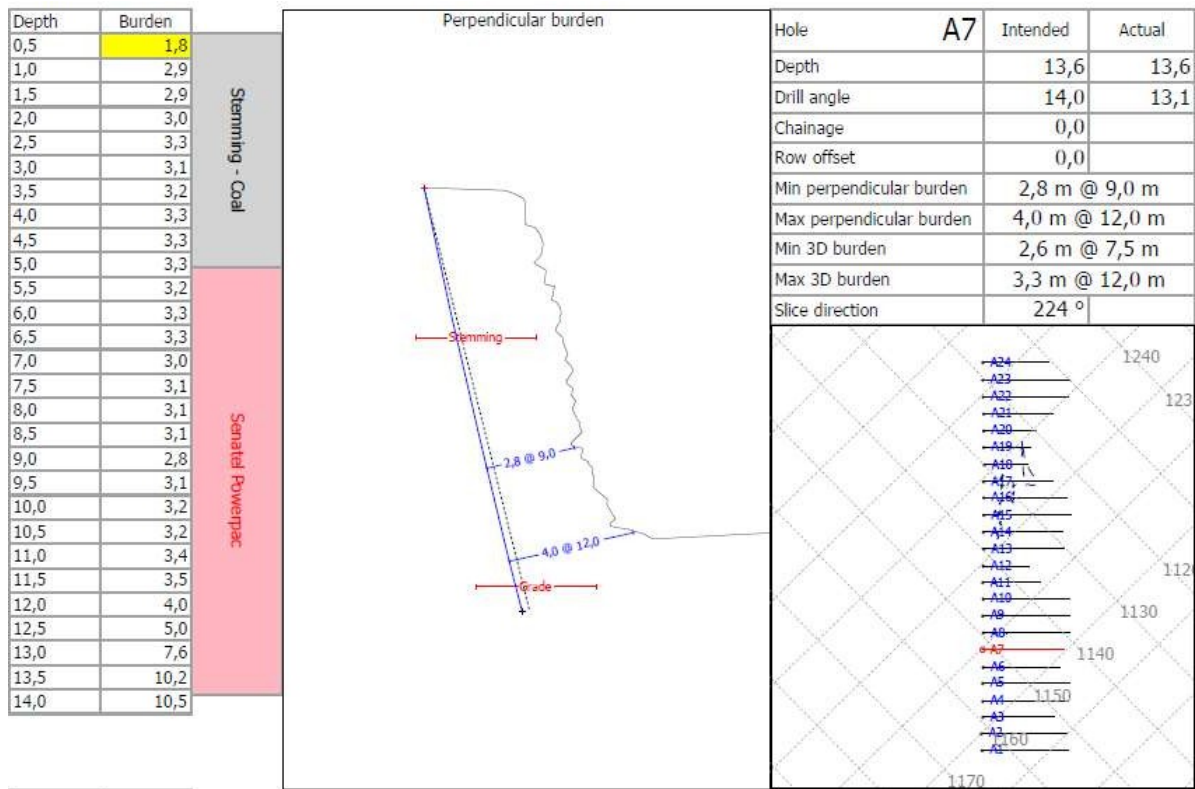


Figura 7 – Perfis do furo A7 da pedra de Cervães.

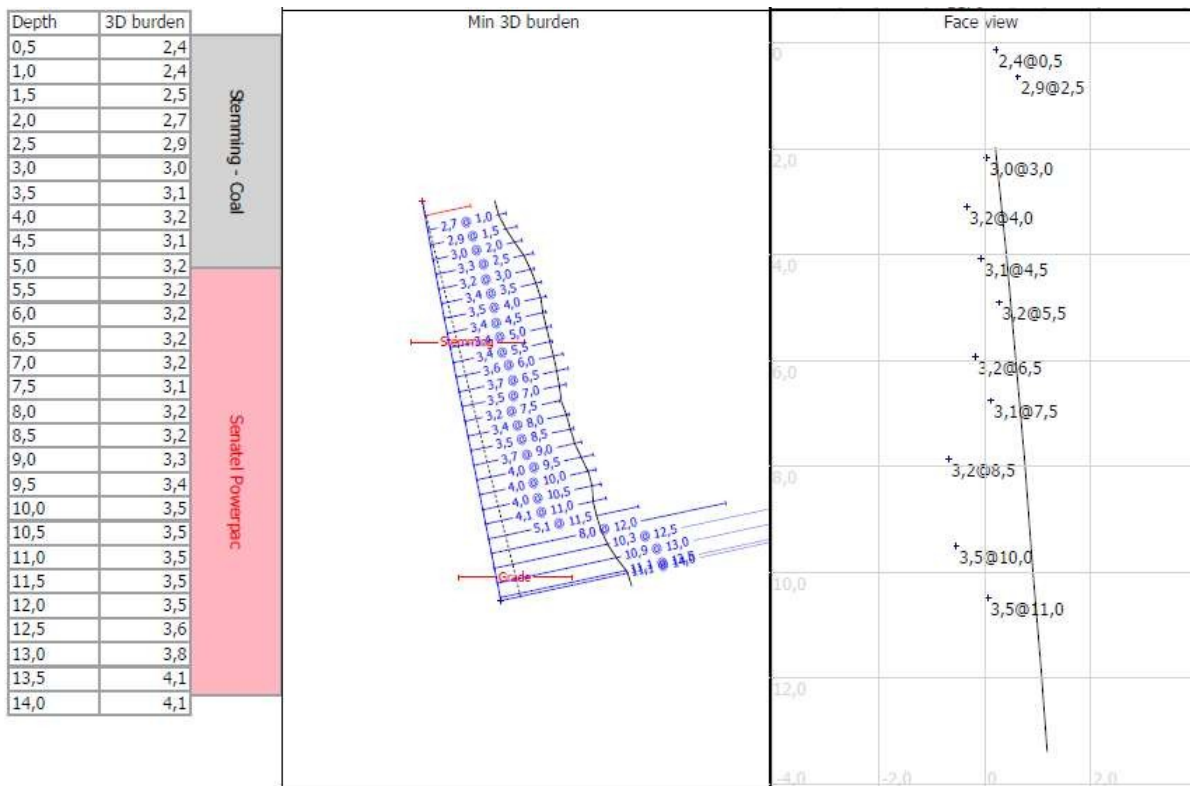
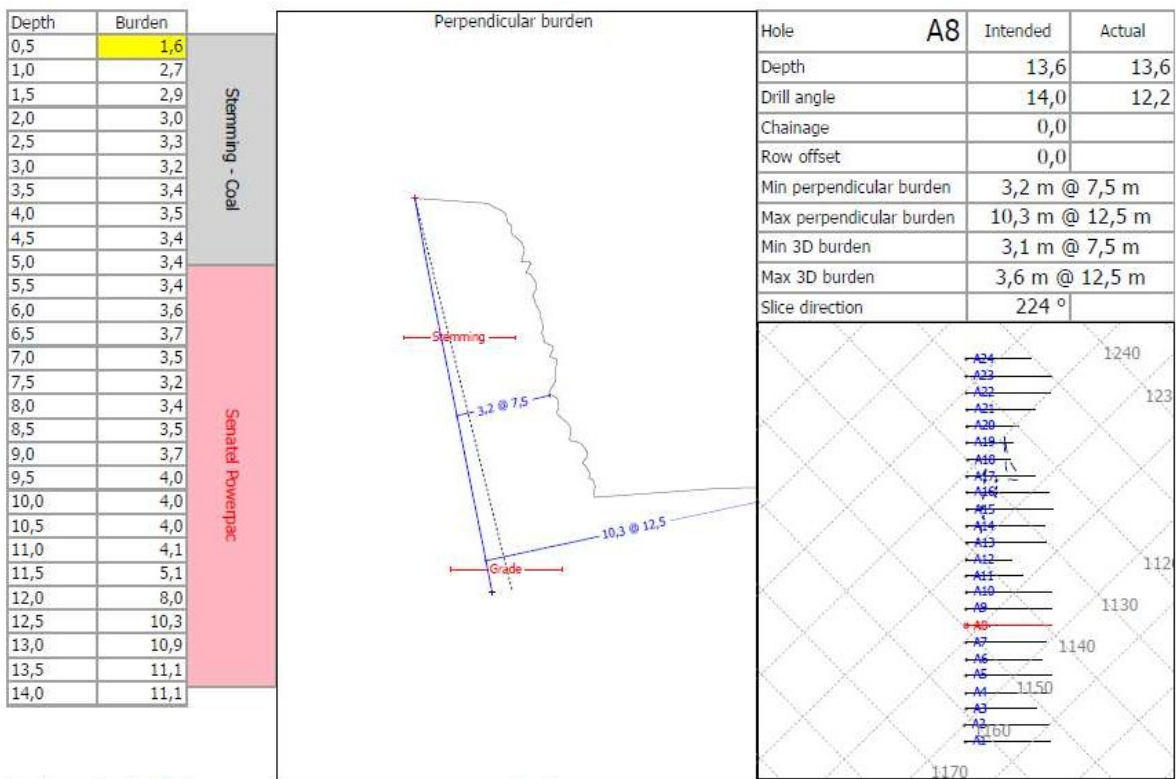


Figura 8 – Perfis do furo A8 da pedra de Cervães.

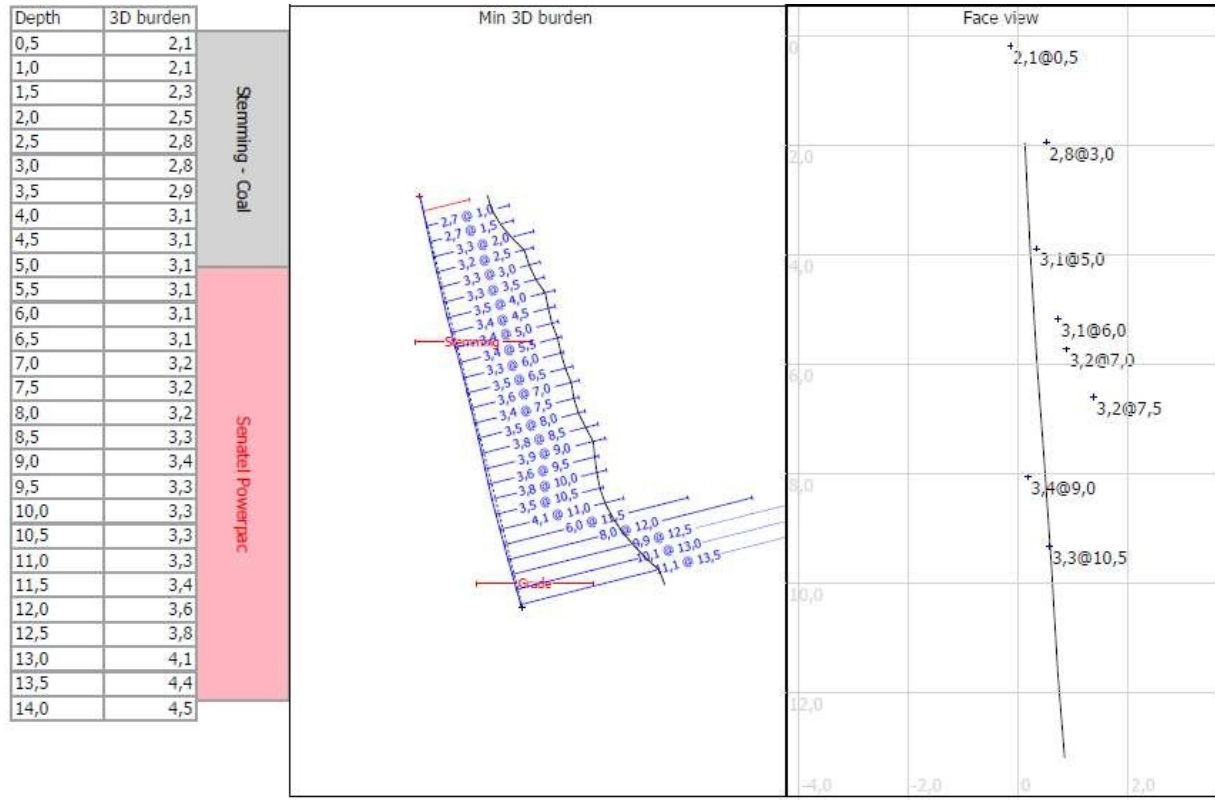
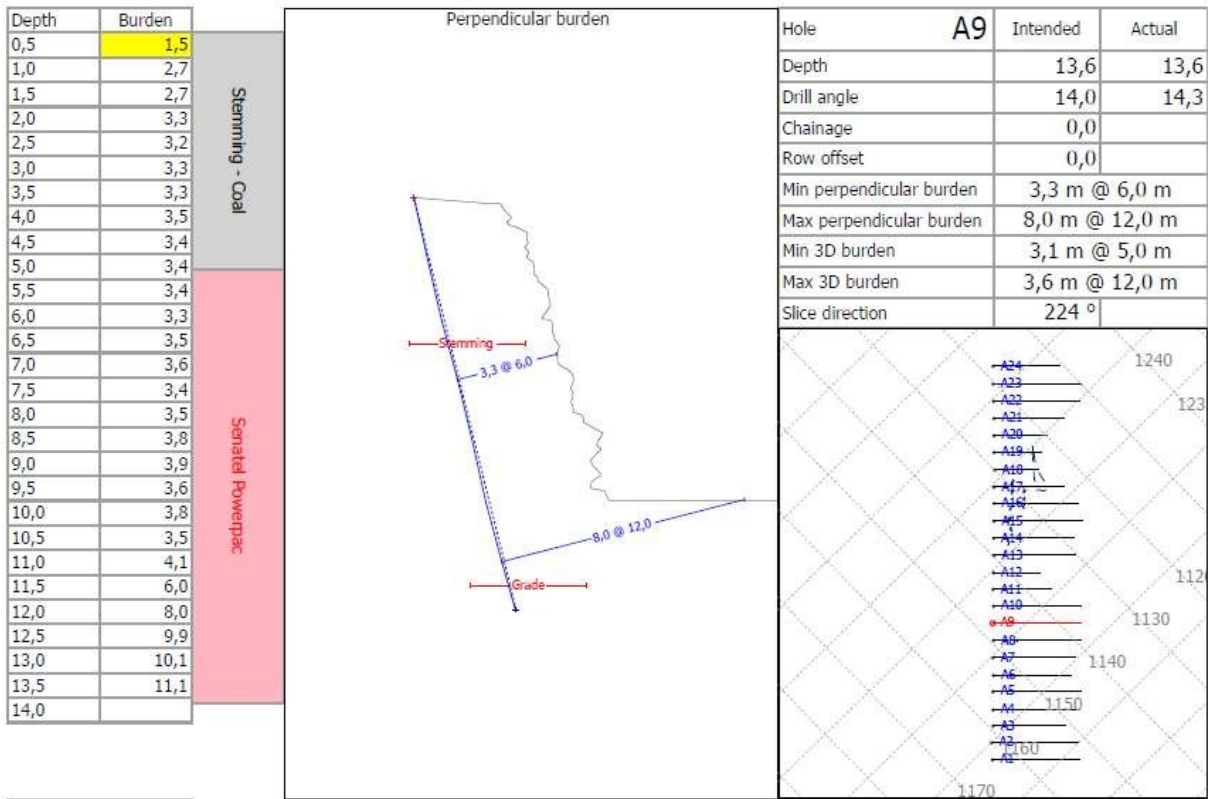


Figura 9 – Perfis do furo A9 da pedra de Cervães.

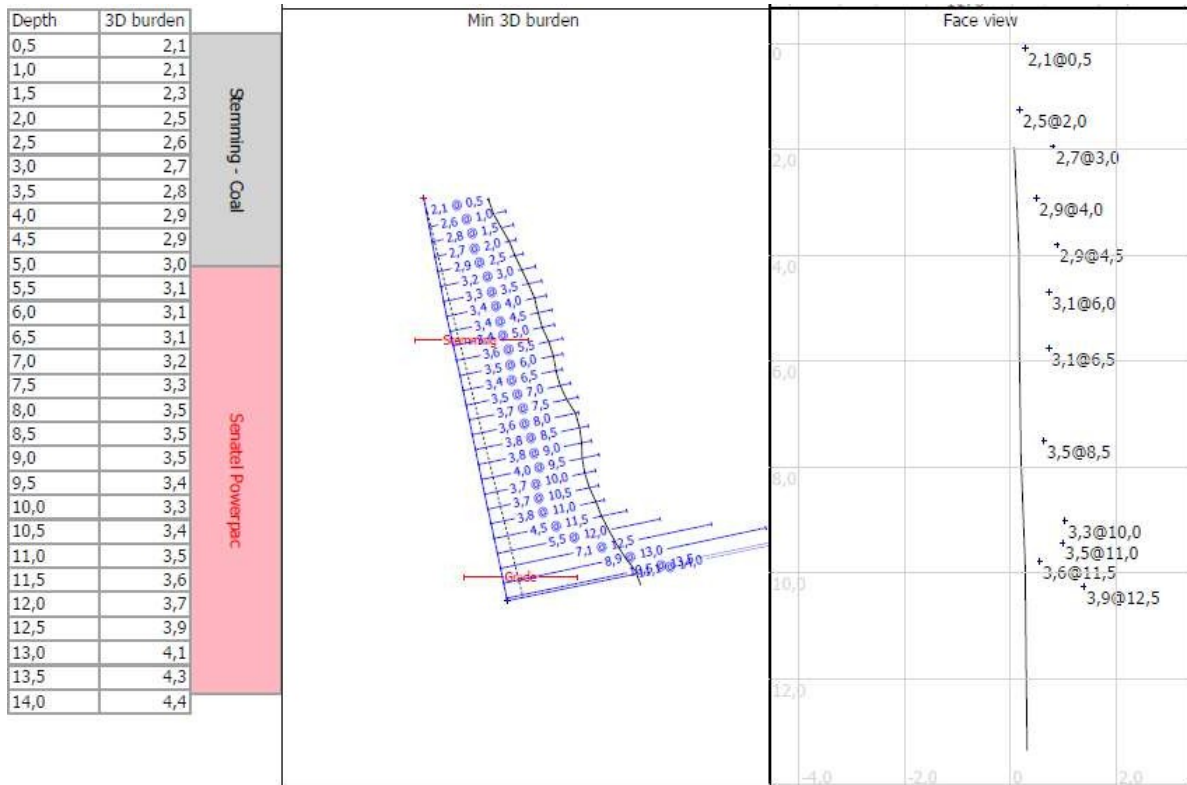
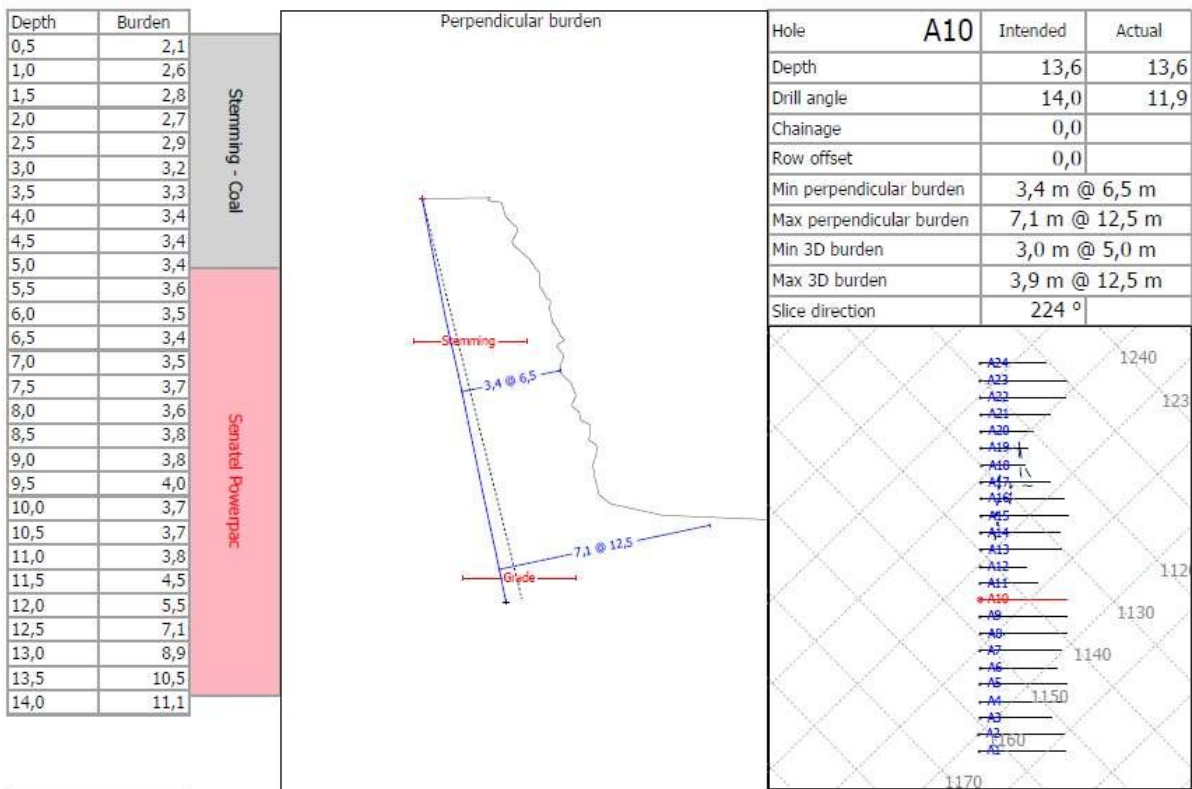


Figura 10 – Perfis do furo A10 da pedra de Cervães.

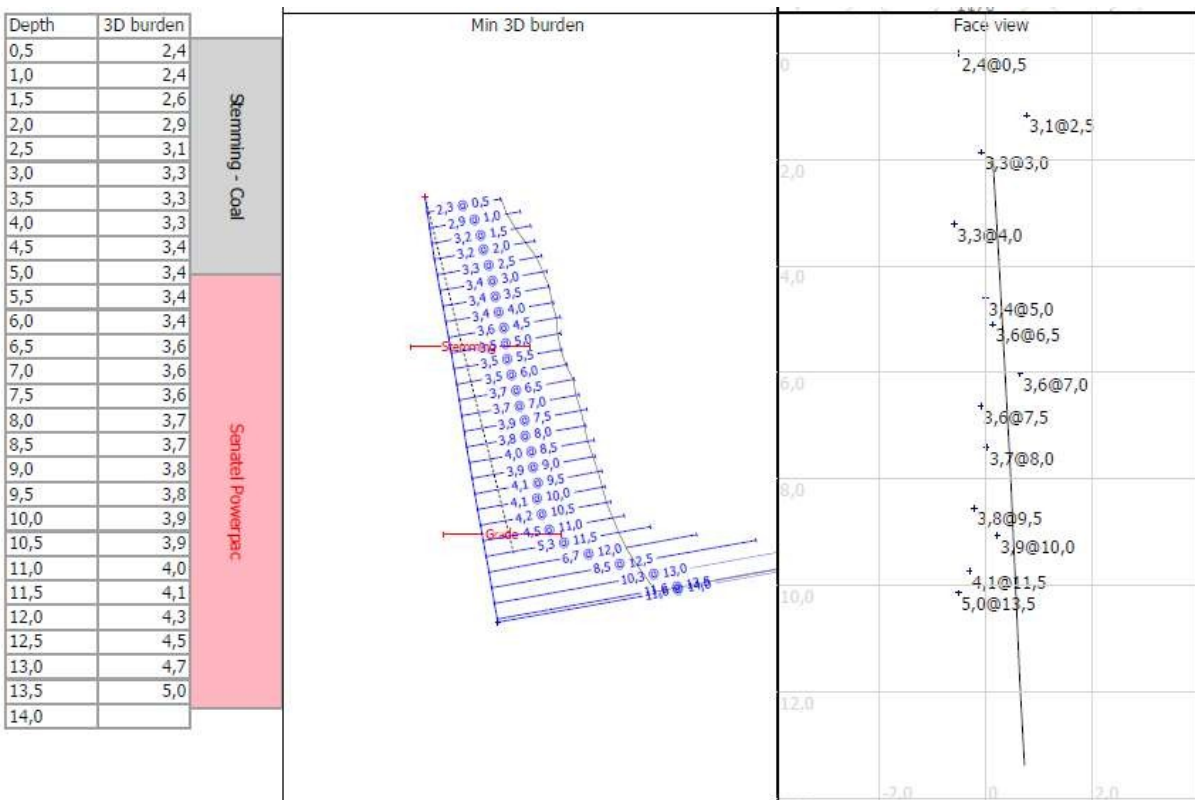
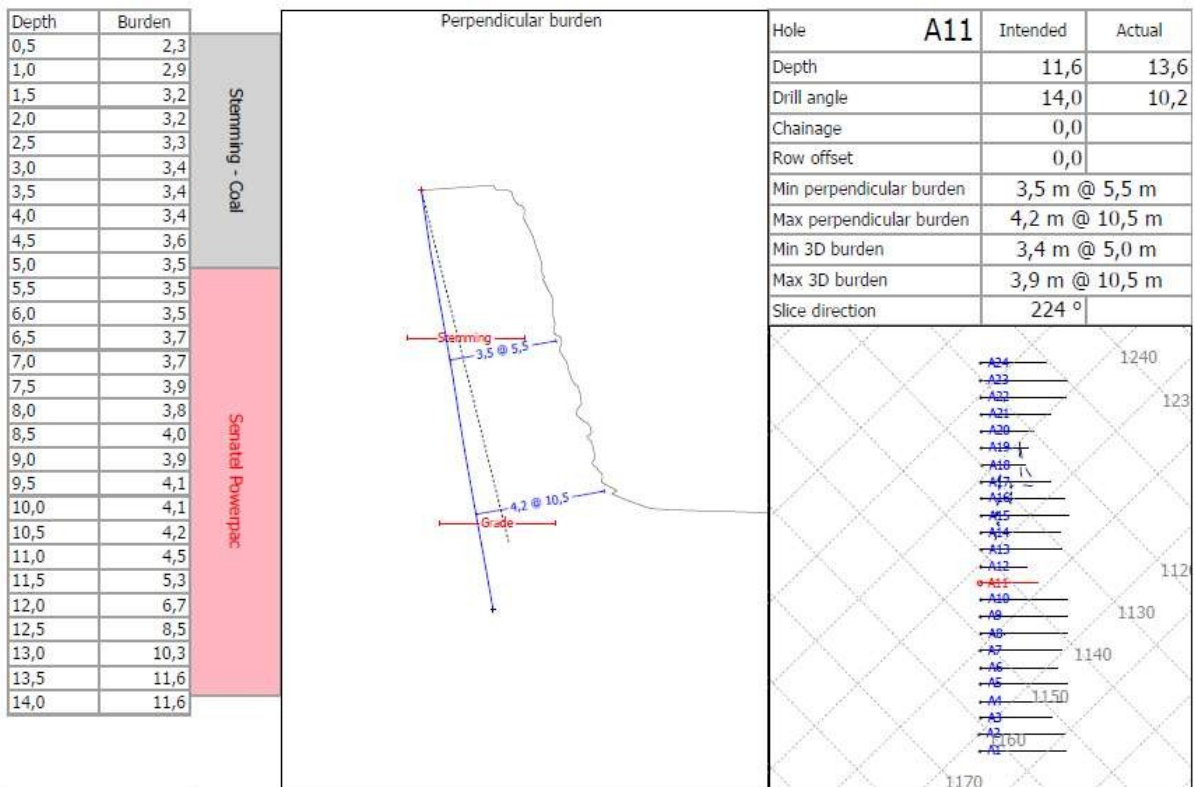


Figura 11 – Perfis do furo A11 da pedra de Cervães.

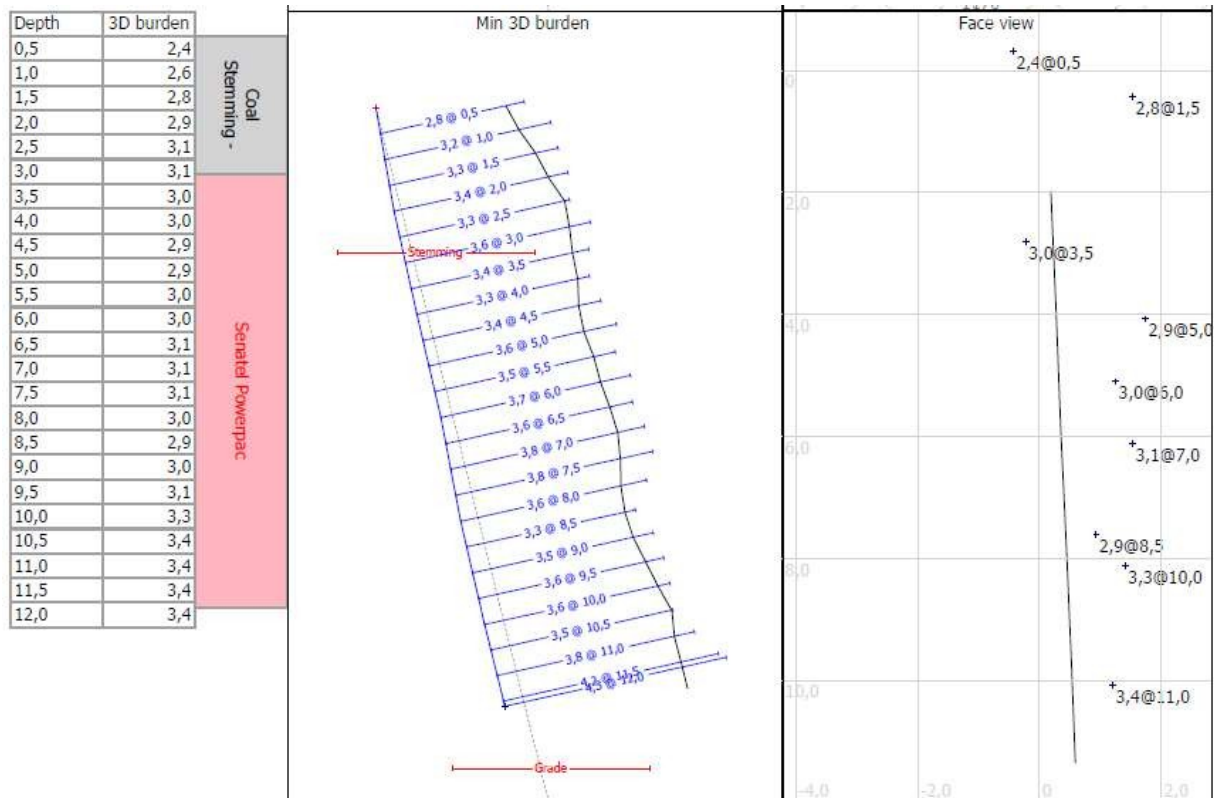
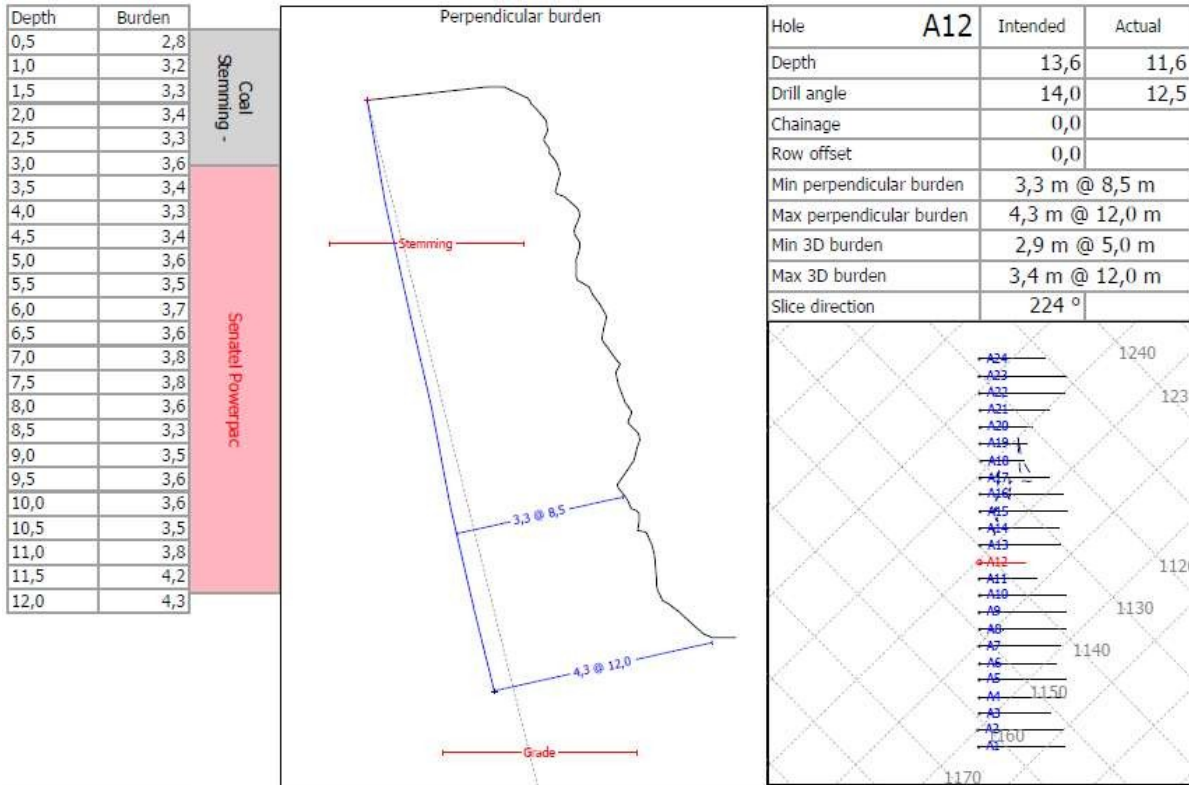


Figura 12 – Perfis do furo A12 da pedra de Cervães.

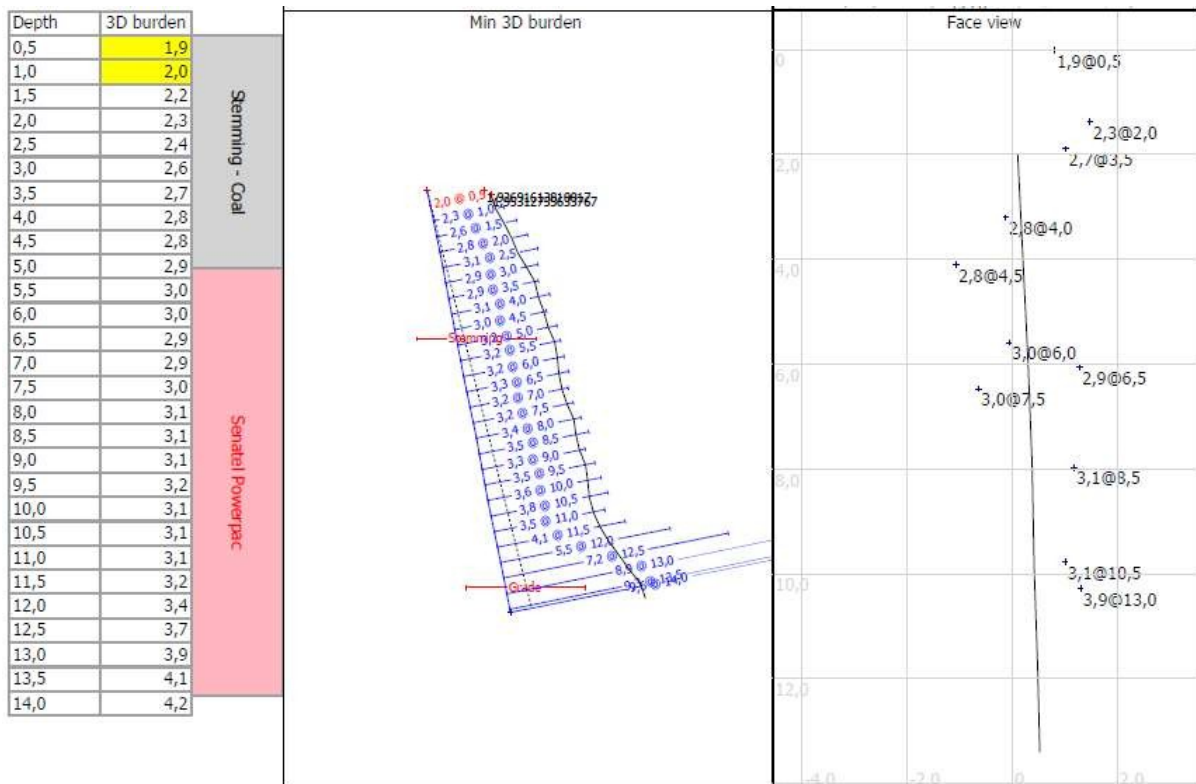
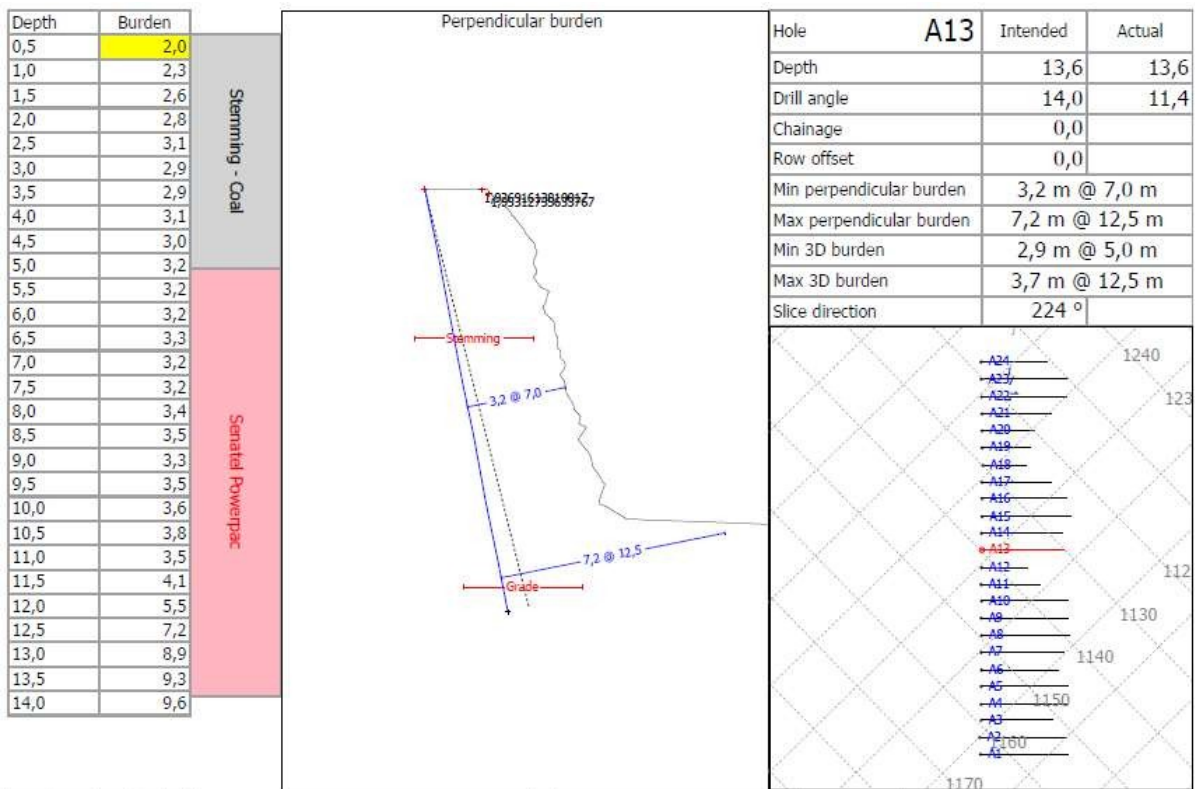
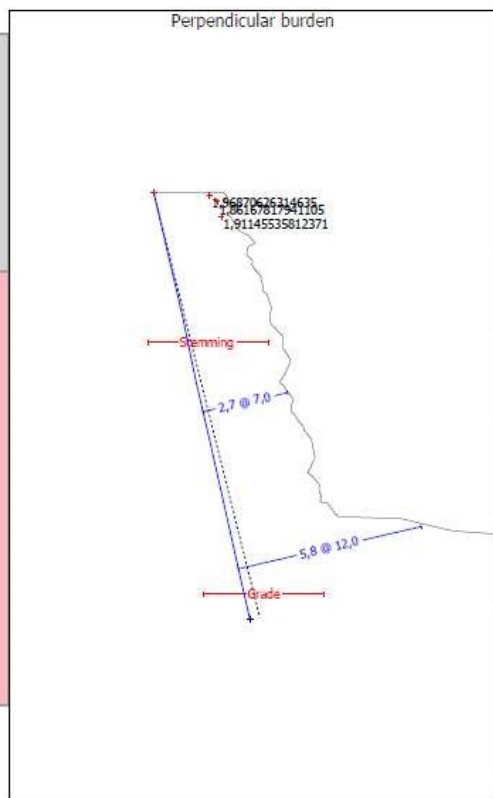


Figura 13 – Perfis do furo A13 da pedra de Cervães.

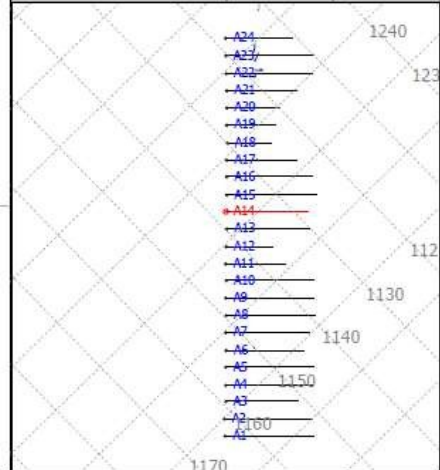
Depth	Burden
0,5	2,0
1,0	2,2
1,5	2,2
2,0	2,5
2,5	2,4
3,0	2,5
3,5	2,6
4,0	2,7
4,5	2,7
5,0	2,7
5,5	2,9
6,0	3,0
6,5	2,7
7,0	2,7
7,5	2,7
8,0	2,8
8,5	3,0
9,0	3,1
9,5	2,9
10,0	3,0
10,5	3,0
11,0	3,3
11,5	4,5
12,0	5,8
12,5	6,8
13,0	8,4
13,5	9,9
14,0	10,2

Stemming - Coal

Senatel Powerpac



Hole	A14	Intended	Actual
Depth		13,6	13,6
Drill angle		14,0	12,9
Chainage		0,0	
Row offset		0,0	
Min perpendicular burden		2,7 m @ 7,0 m	
Max perpendicular burden		5,8 m @ 12,0 m	
Min 3D burden		2,4 m @ 6,5 m	
Max 3D burden		3,1 m @ 12,0 m	
Slice direction		224 °	



Depth	3D burden
0,5	1,9
1,0	1,9
1,5	1,9
2,0	2,1
2,5	2,3
3,0	2,4
3,5	2,4
4,0	2,5
4,5	2,5
5,0	2,5
5,5	2,6
6,0	2,5
6,5	2,4
7,0	2,5
7,5	2,6
8,0	2,6
8,5	2,7
9,0	2,7
9,5	2,7
10,0	2,8
10,5	2,8
11,0	2,8
11,5	3,0
12,0	3,1
12,5	3,4
13,0	3,6
13,5	4,0
14,0	4,0

Stemming - Coal

Senatel Powerpac

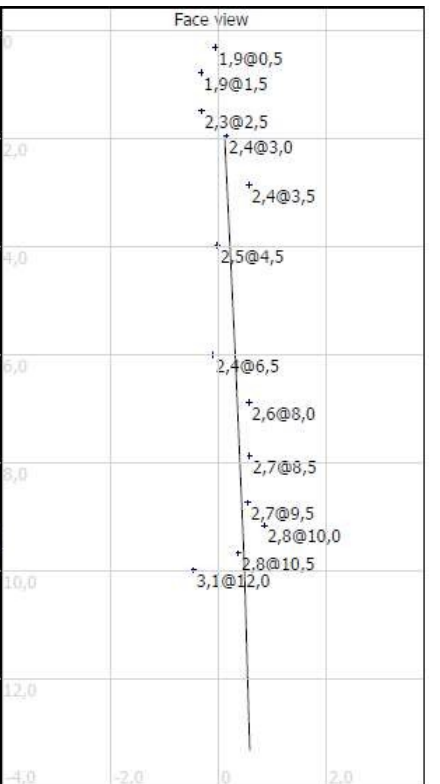
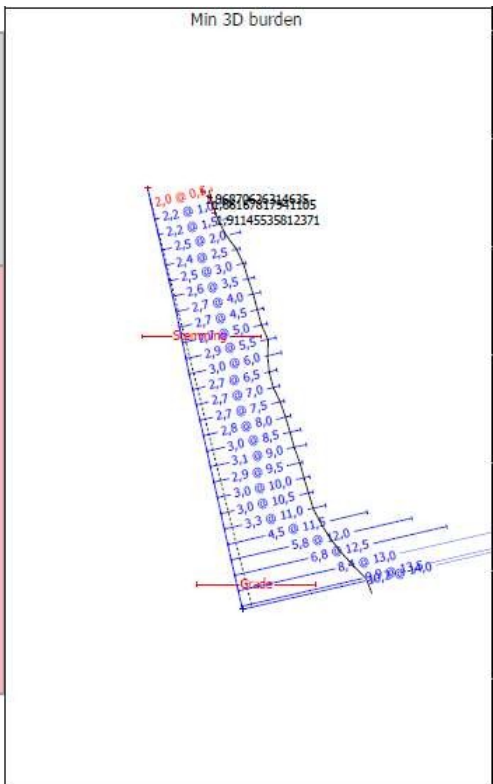
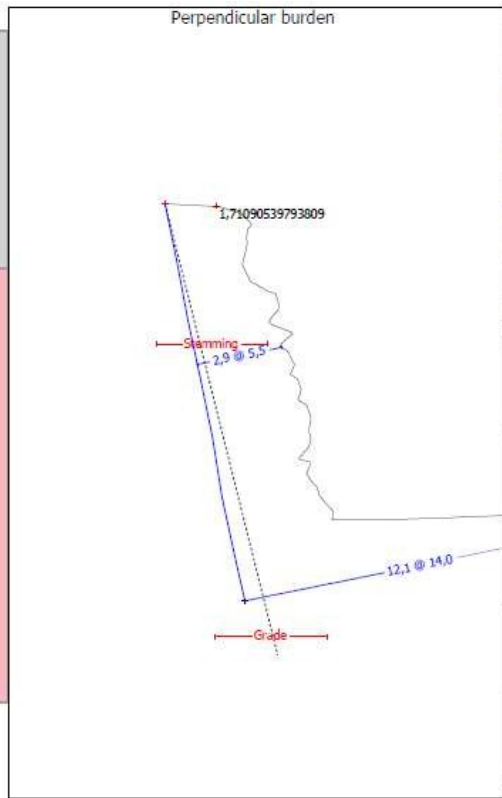


Figura 14 – Perfis do furo A14 da pedra de Cervães.

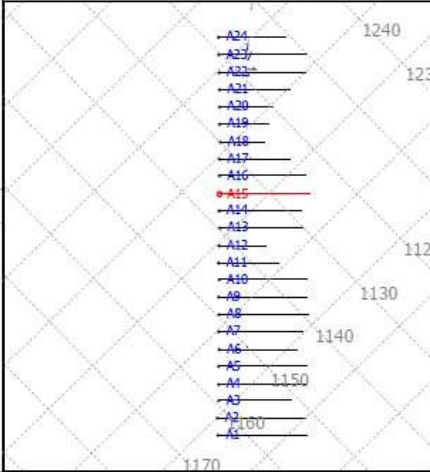
Depth	Burden
0,5	1,7
1,0	2,5
1,5	2,5
2,0	2,4
2,5	2,2
3,0	2,2
3,5	2,6
4,0	3,1
4,5	2,8
5,0	3,0
5,5	2,9
6,0	3,1
6,5	3,0
7,0	3,2
7,5	3,1
8,0	3,4
8,5	3,3
9,0	3,2
9,5	2,9
10,0	2,9
10,5	3,2
11,0	3,3
11,5	3,5
12,0	4,8
12,5	7,1
13,0	9,5
13,5	11,8
14,0	12,1

Stemming - Coal

Senatel Powerpac



Hole	A15	Intended	Actual
Depth		15,6	13,6
Drill angle		14,0	11,5
Chainage		0,0	
Row offset		0,0	
Min perpendicular burden		2,9 m @ 5,5 m	
Max perpendicular burden		12,1 m @ 14,0 m	
Min 3D burden		2,6 m @ 5,0 m	
Max 3D burden		4,0 m @ 14,0 m	
Slice direction		224 °	



Depth	3D burden
0,5	1,7
1,0	1,8
1,5	2,0
2,0	2,1
2,5	2,1
3,0	2,2
3,5	2,3
4,0	2,4
4,5	2,6
5,0	2,6
5,5	2,7
6,0	2,7
6,5	2,8
7,0	2,8
7,5	2,9
8,0	2,9
8,5	2,8
9,0	2,7
9,5	2,7
10,0	2,8
10,5	2,9
11,0	3,0
11,5	3,2
12,0	3,3
12,5	3,5
13,0	3,7
13,5	3,9
14,0	4,0

Stemming - Coal

Senatel Powerpac

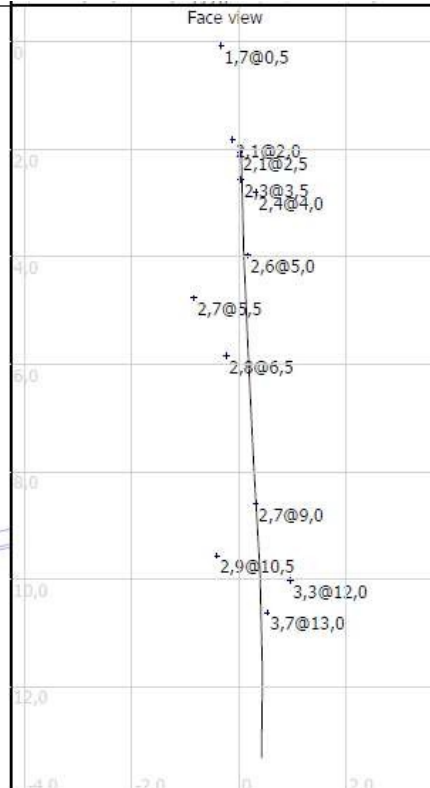
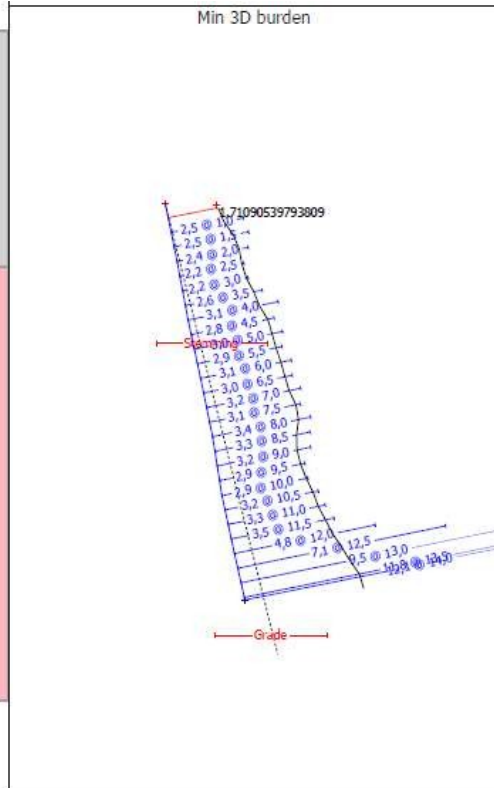


Figura 15 – Perfis do furo A15 da pedra de Cervães.

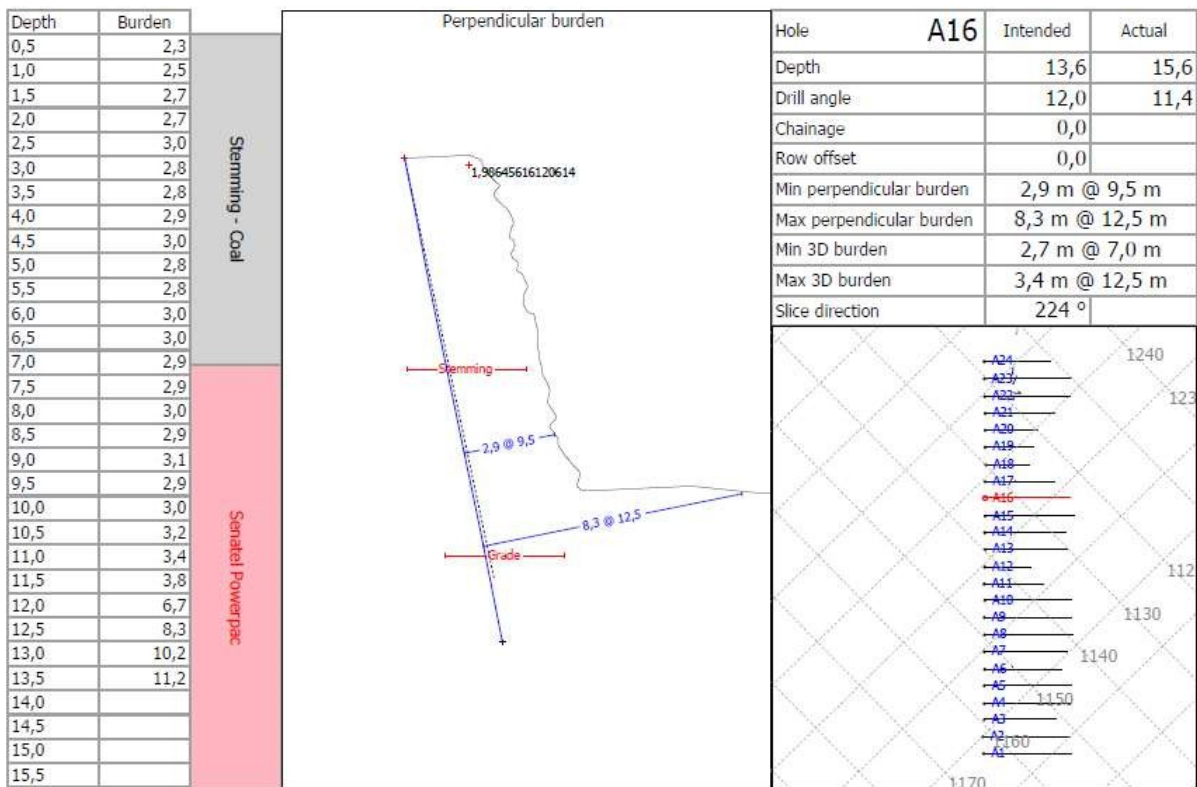


Figura 16 – Perfis do furo A16 da pedra de Cervães.

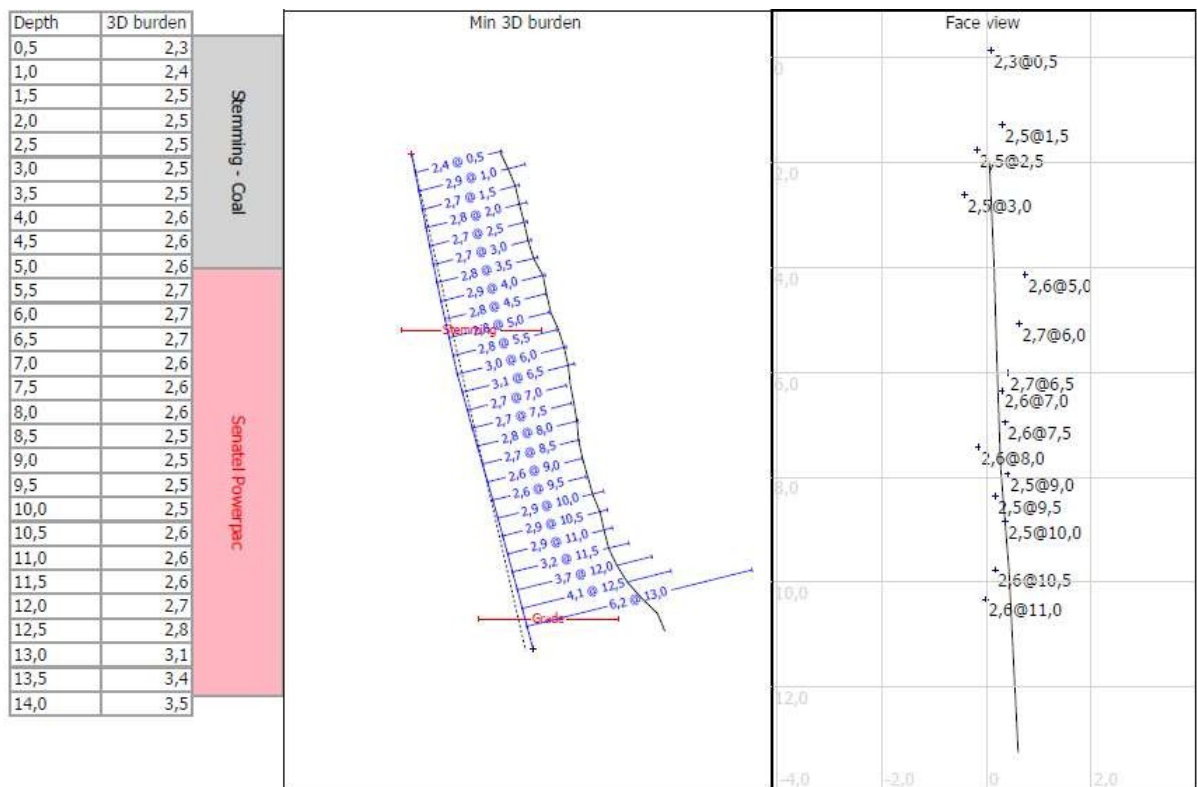
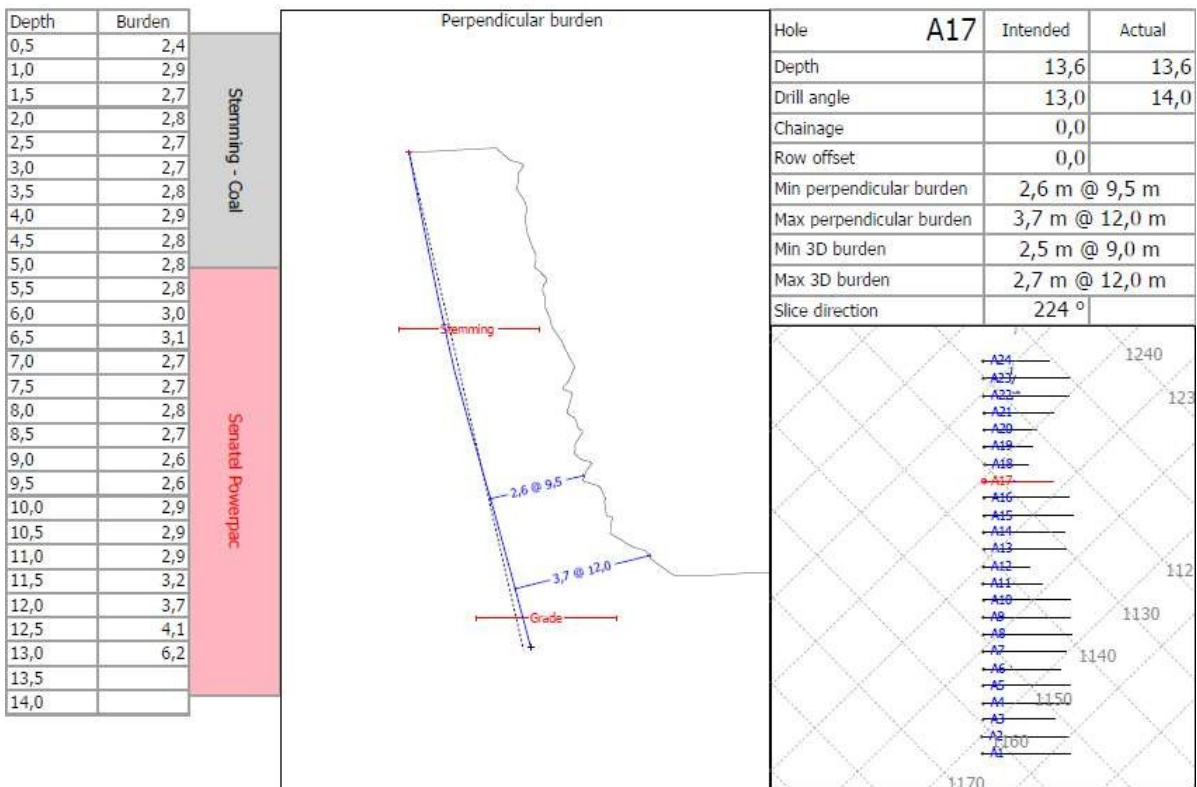


Figura 17 – Perfis do furo A17 da pedra de Cervães.

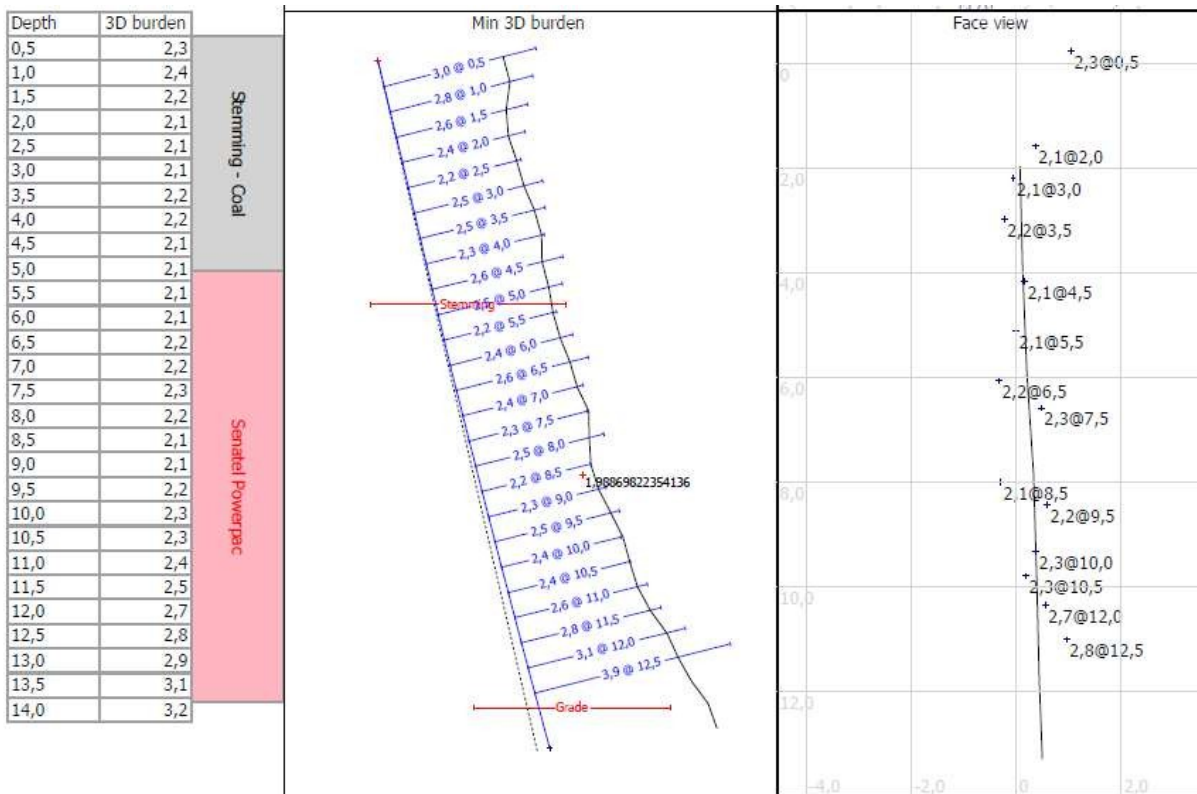
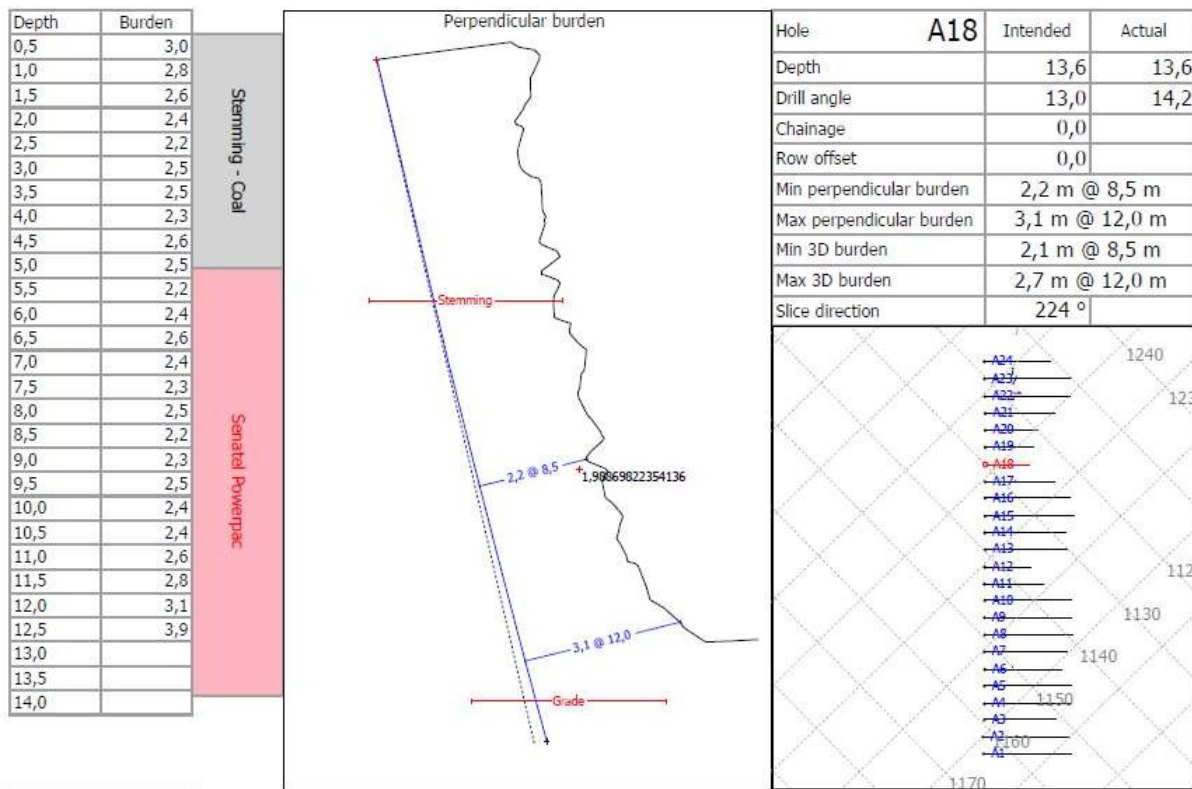


Figura 18 – Perfis do furo A18 da pedra de Cervães.

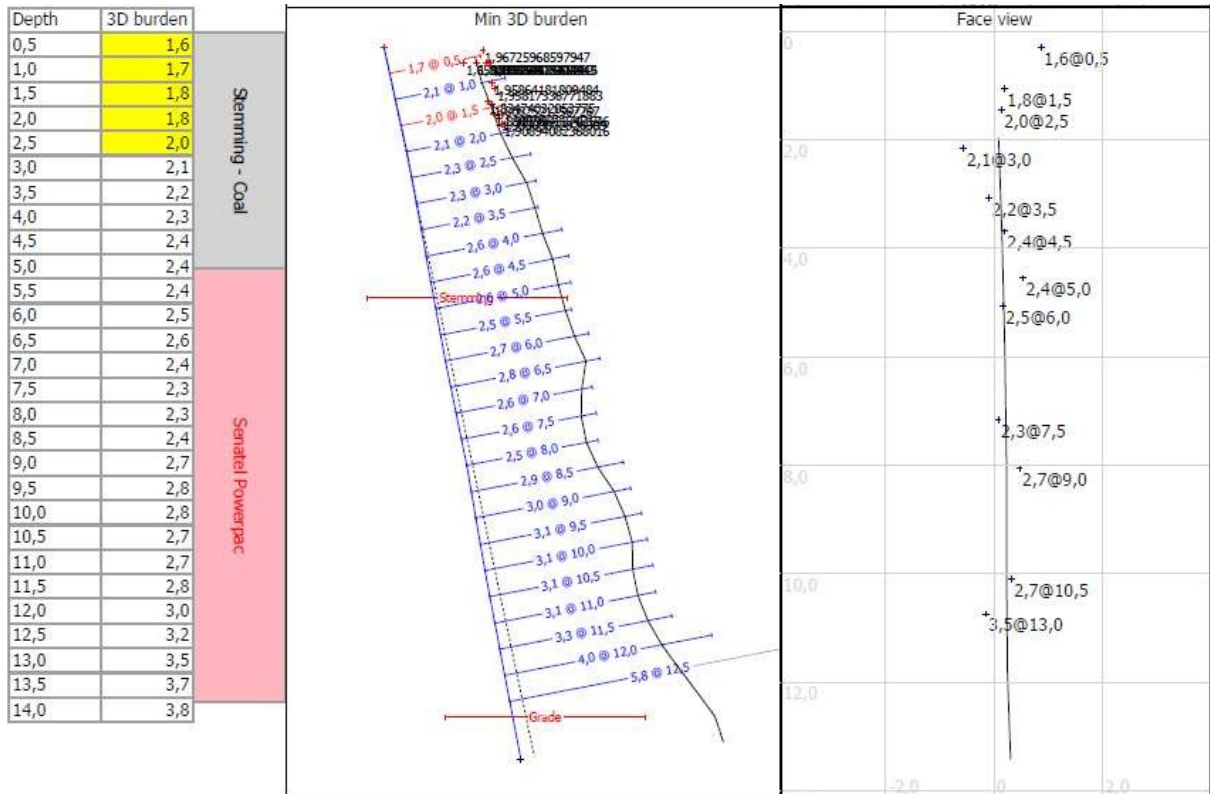
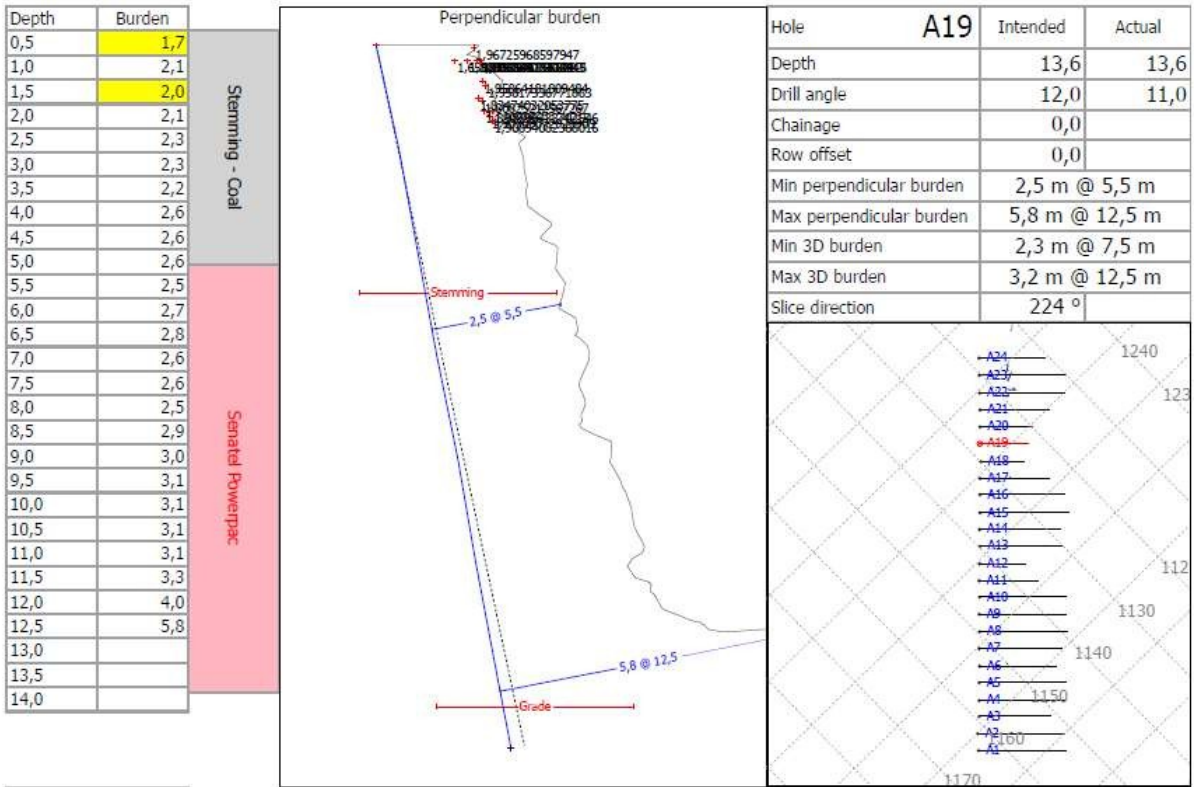


Figura 19 – Perfis do furo A19 da pedra de Cervães.

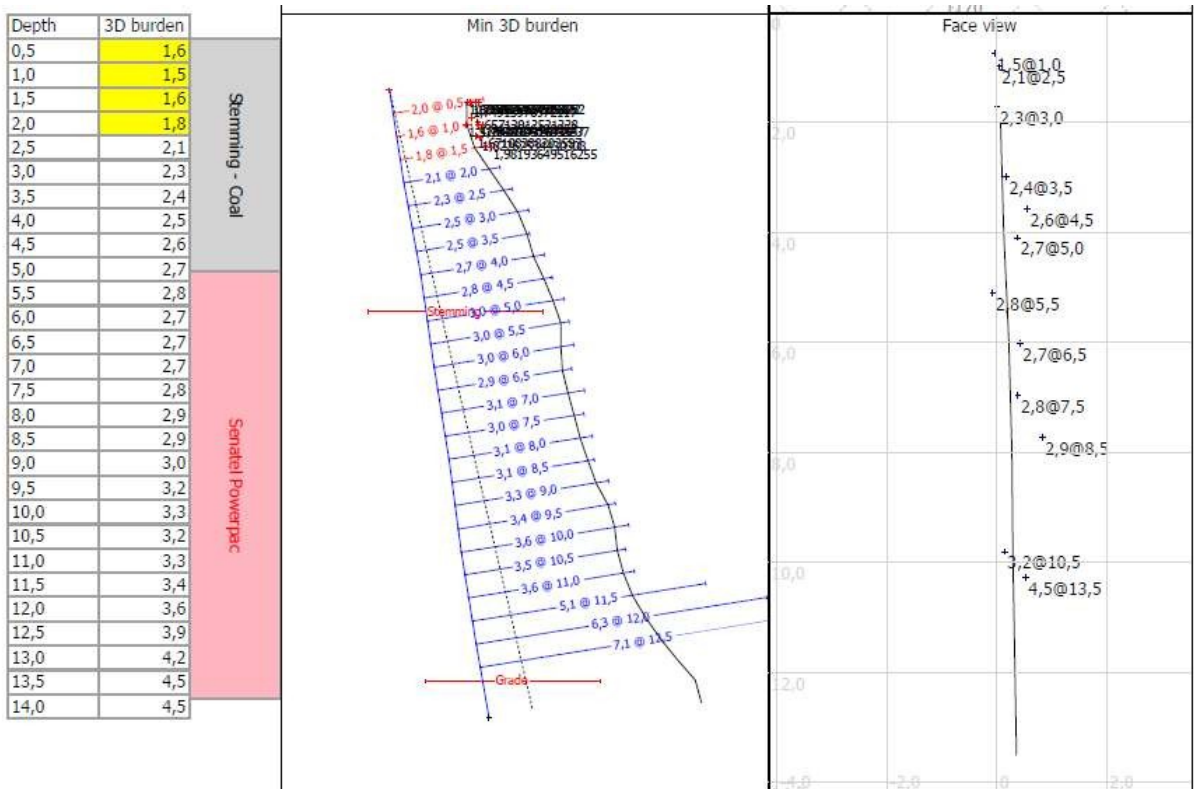
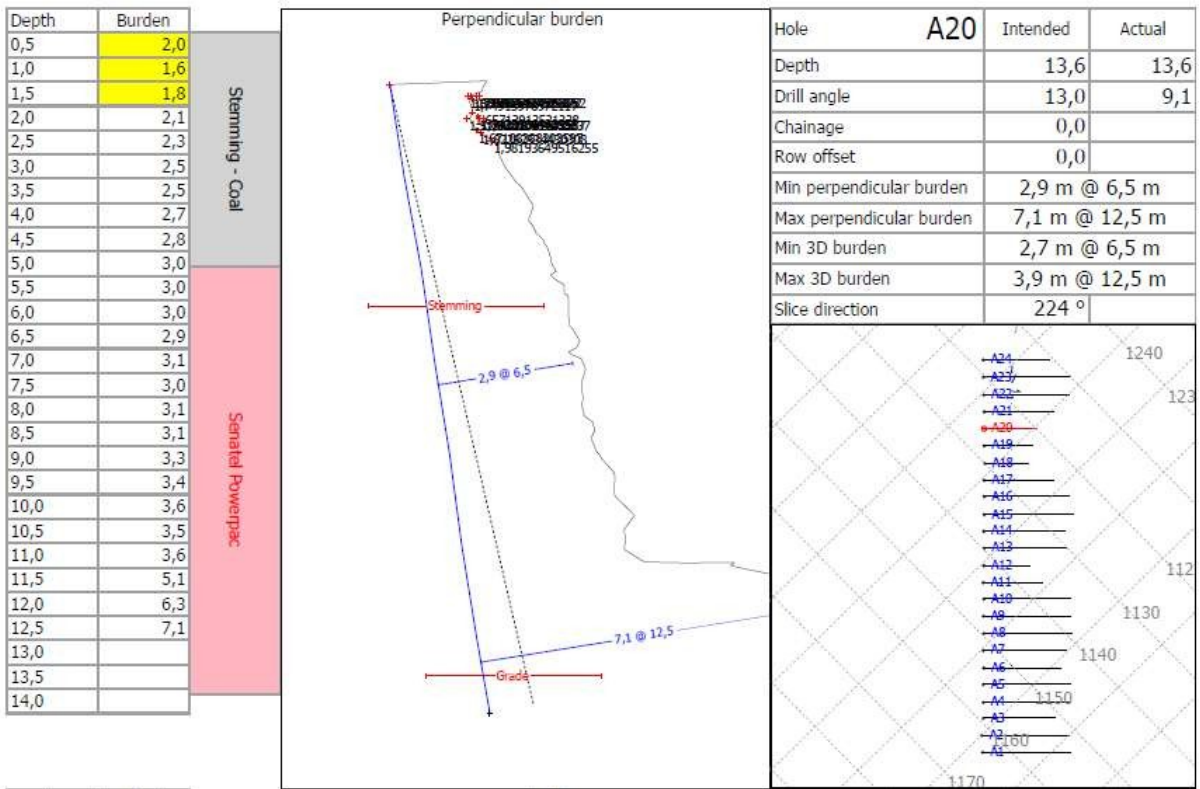


Figura 20 – Perfis do furo A20 da pedra de Cervães.

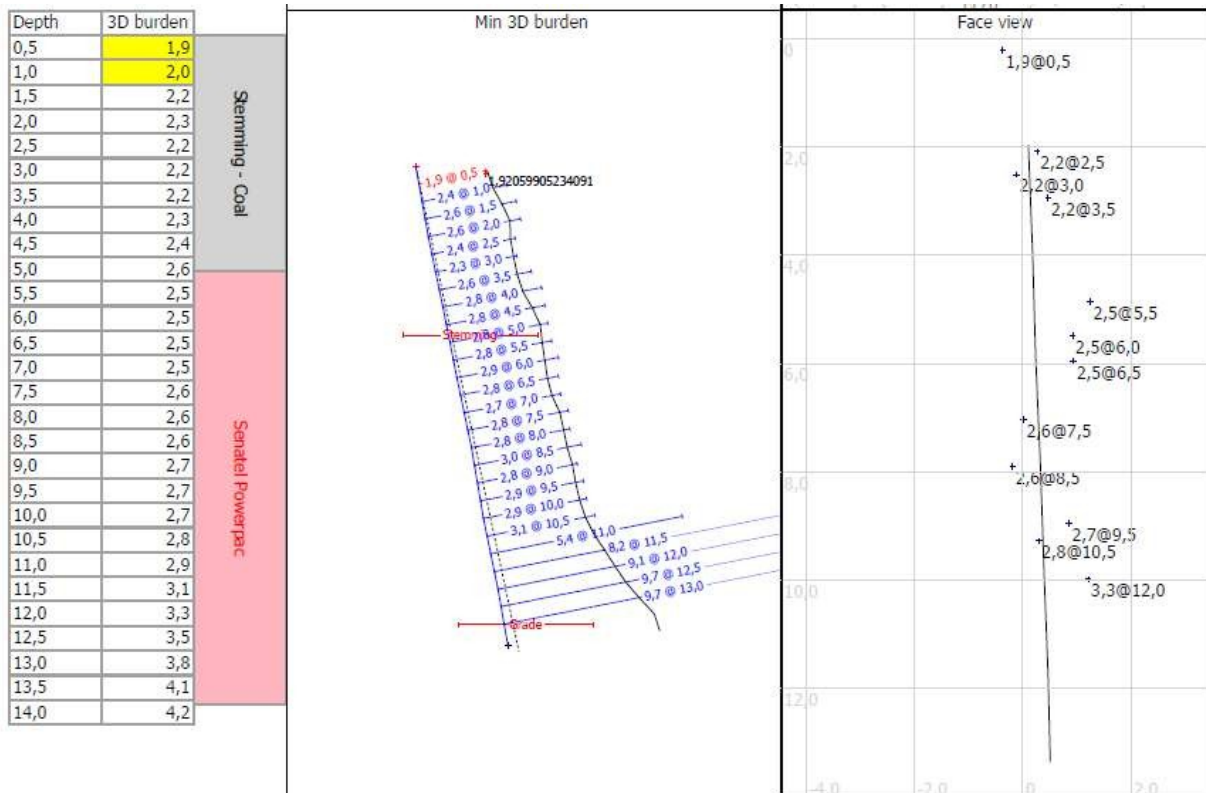
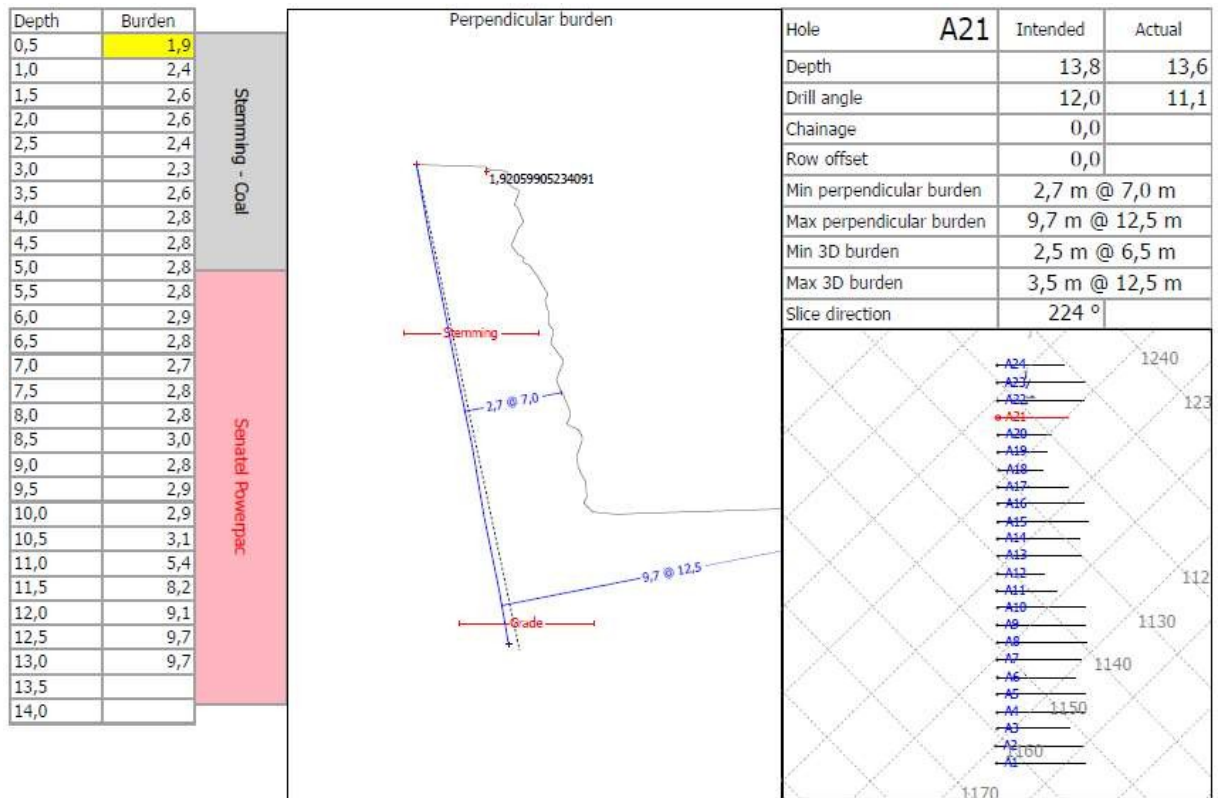


Figura 21 – Perfis do furo A21 da pedra de Cervães.

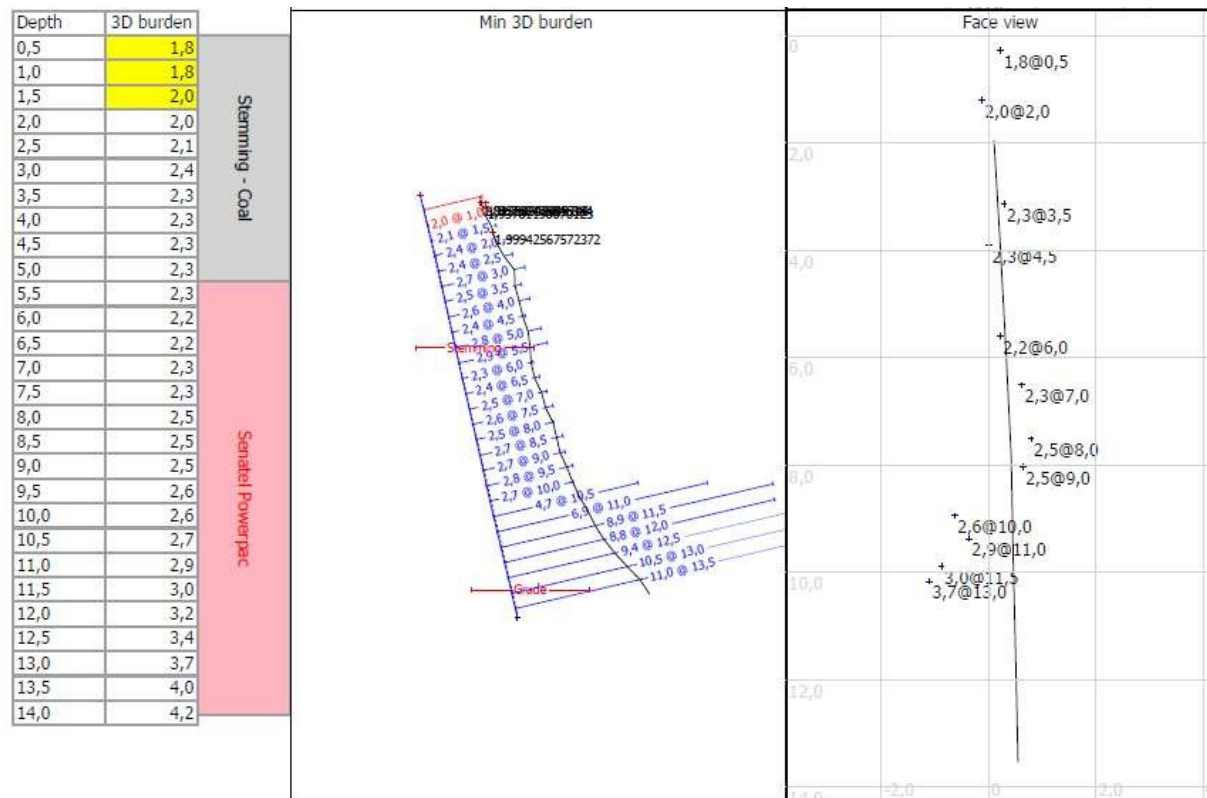
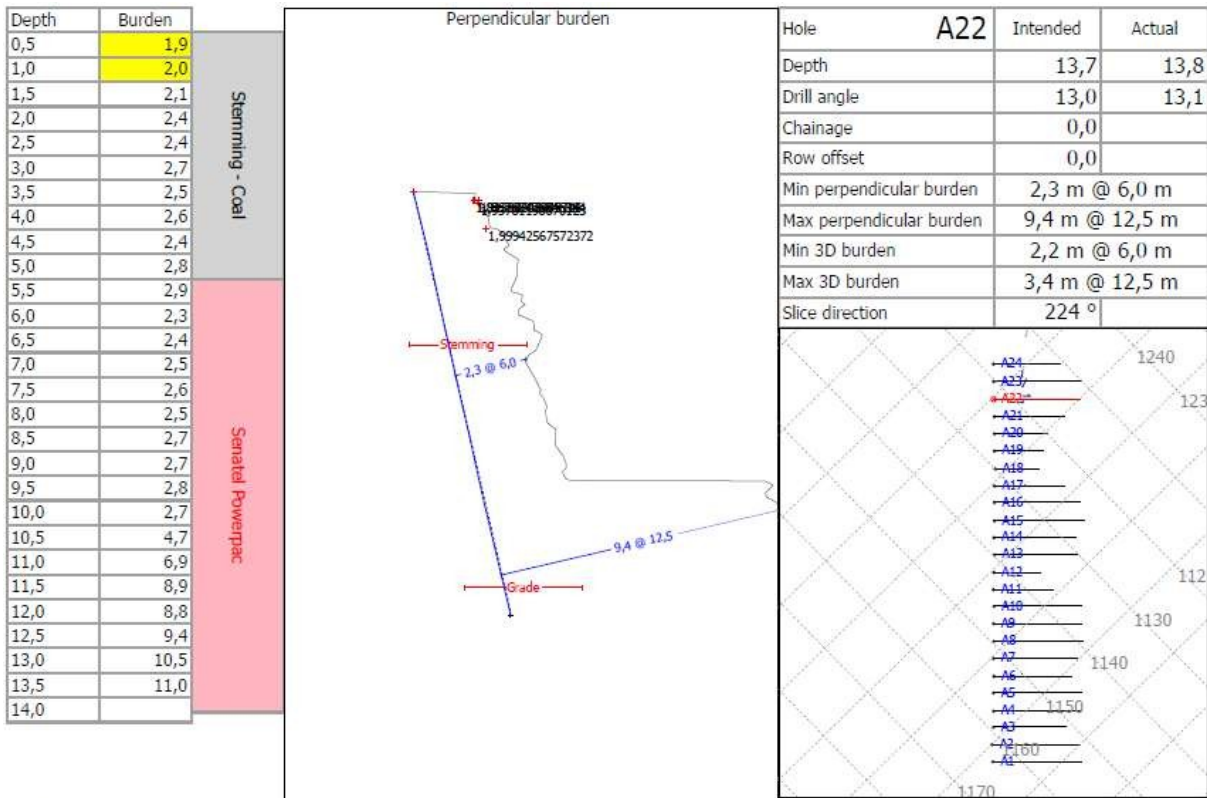


Figura 22 – Perfis do furo A22 da pedra de Cervães.

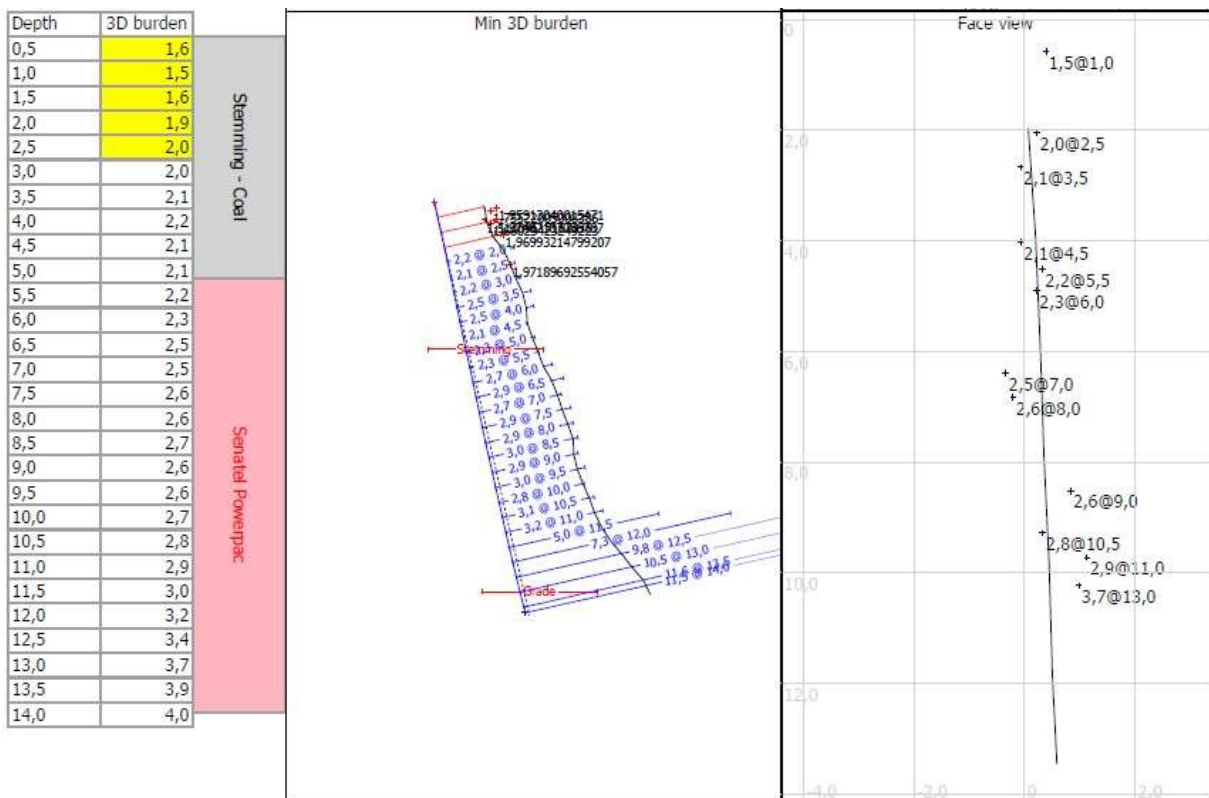
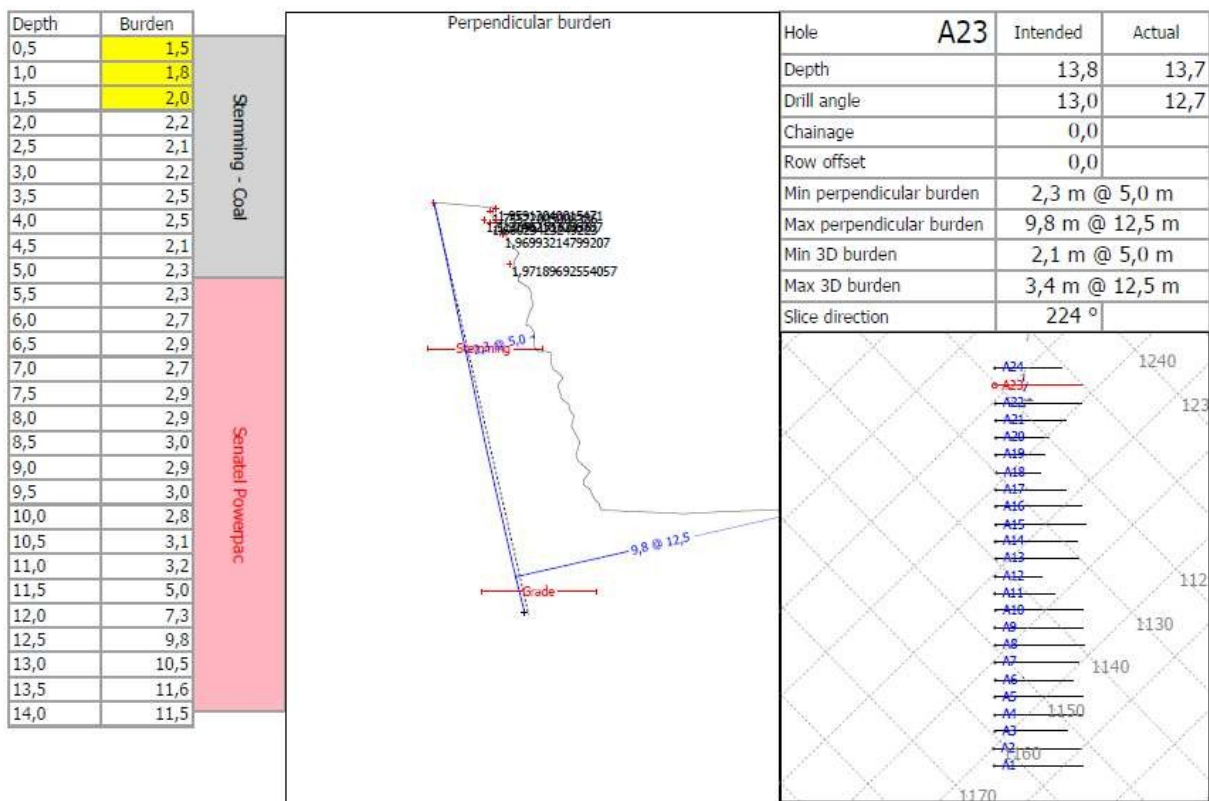


Figura 23 – Perfis do furo A23 da pedra de Cervães.

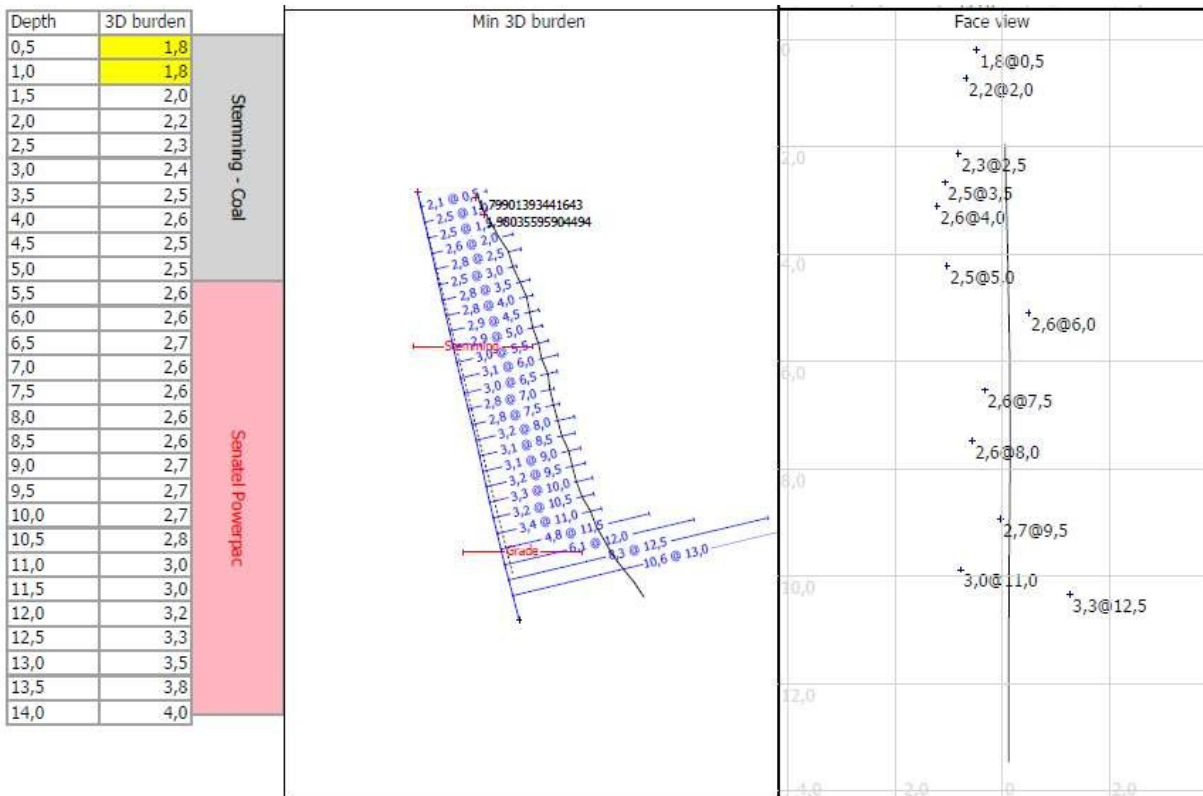
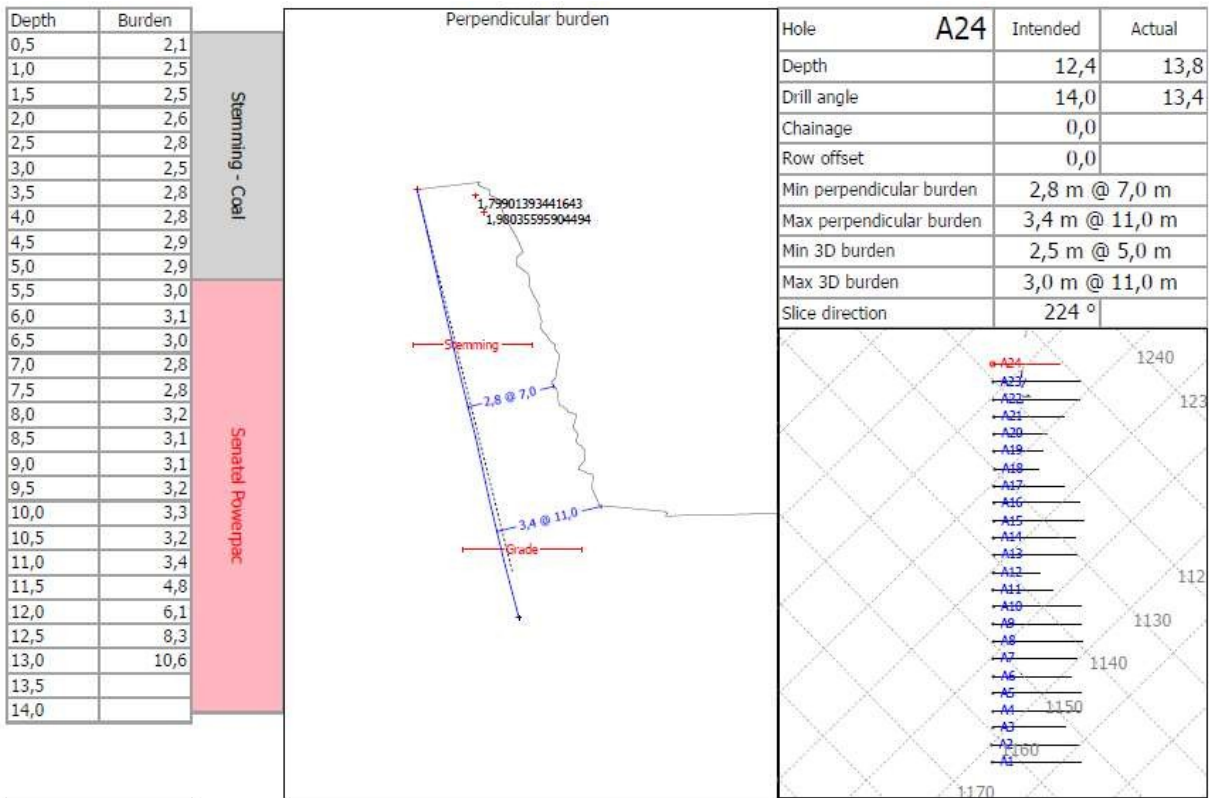


Figura 24 – Perfis do furo A24 da pedra de Cervães.

Anexos 2 – Resultados do Laser e Boretrak da Pedreira de Vila Nova de Famalicão

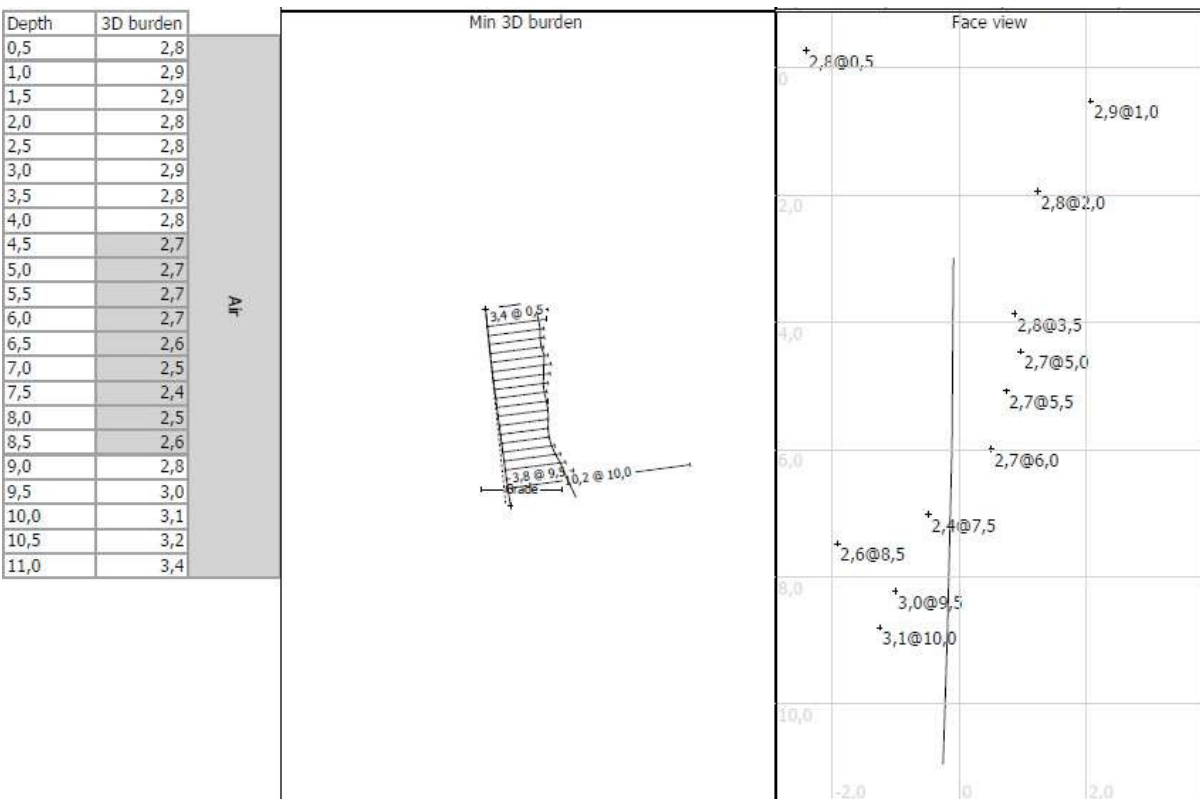
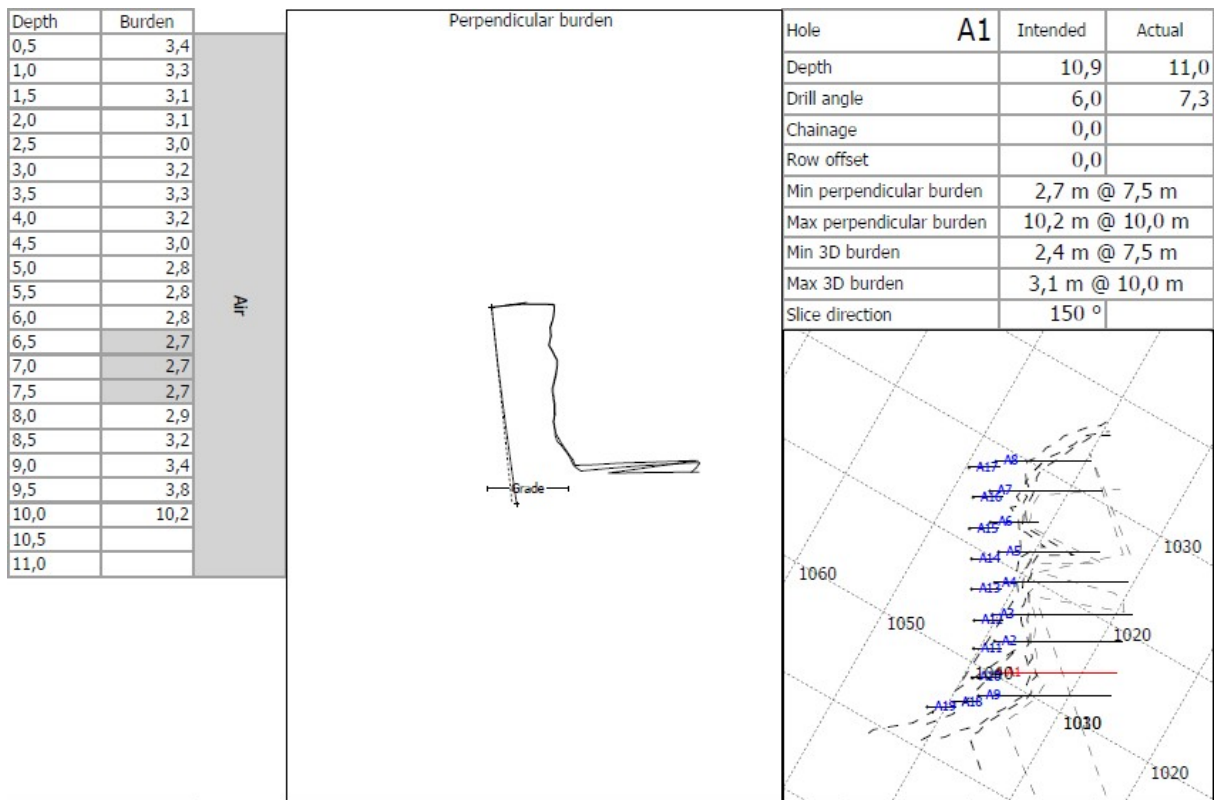


Figura 25 – Perfis do furo A1 da pedreira de Vila Nova de Famalicão.

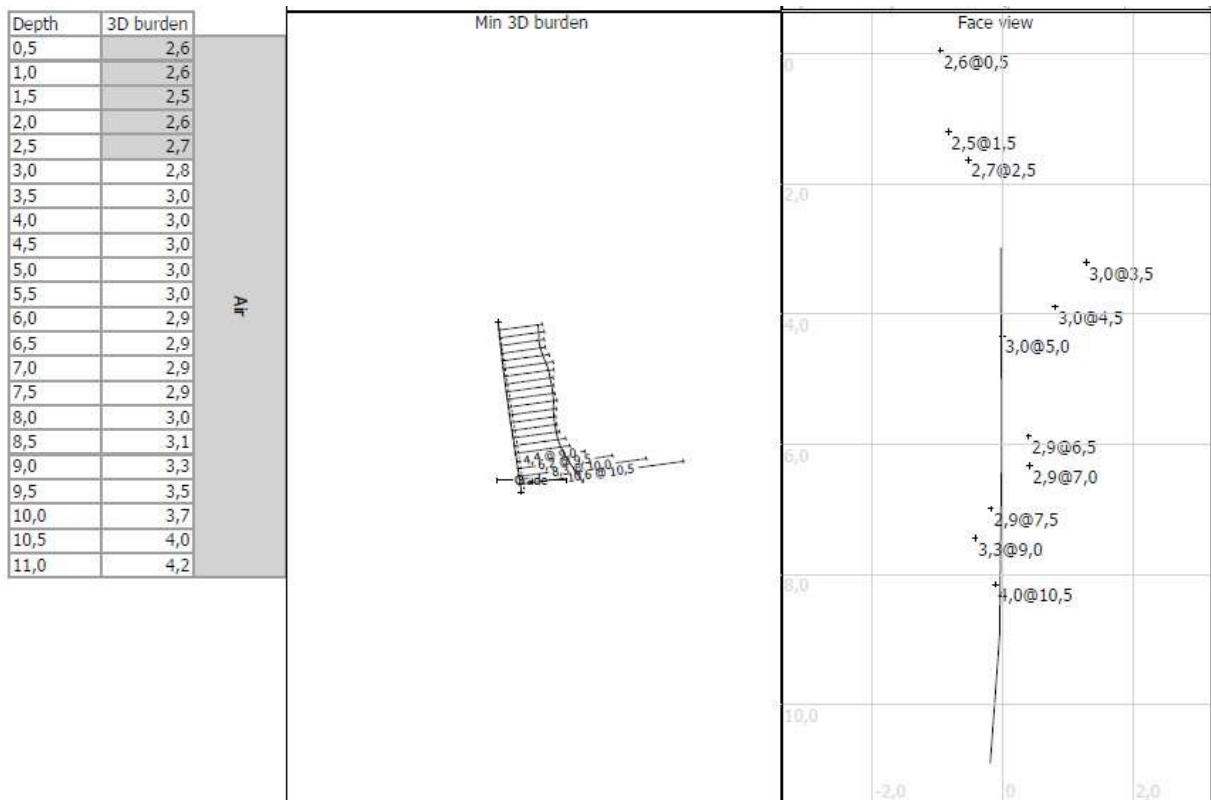
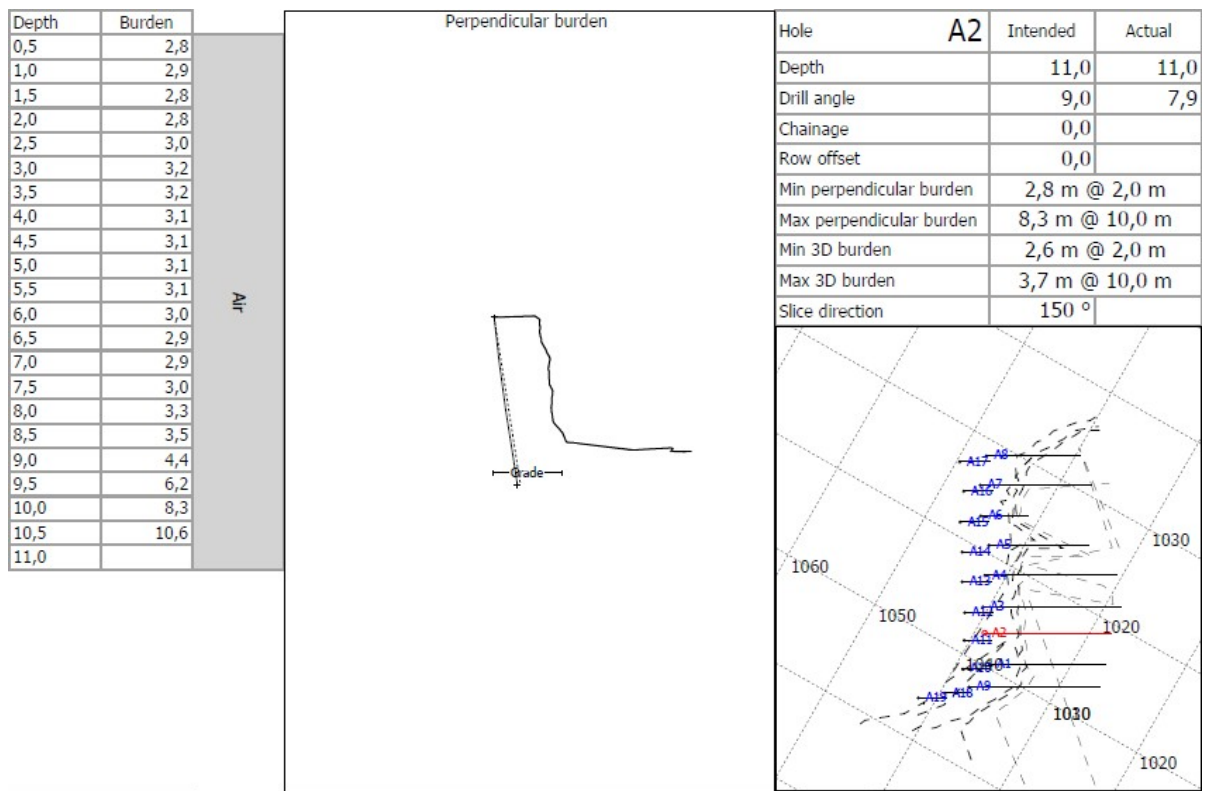


Figura 26 – Perfis do furo A2 da pedreira de Vila Nova de Famalicão.

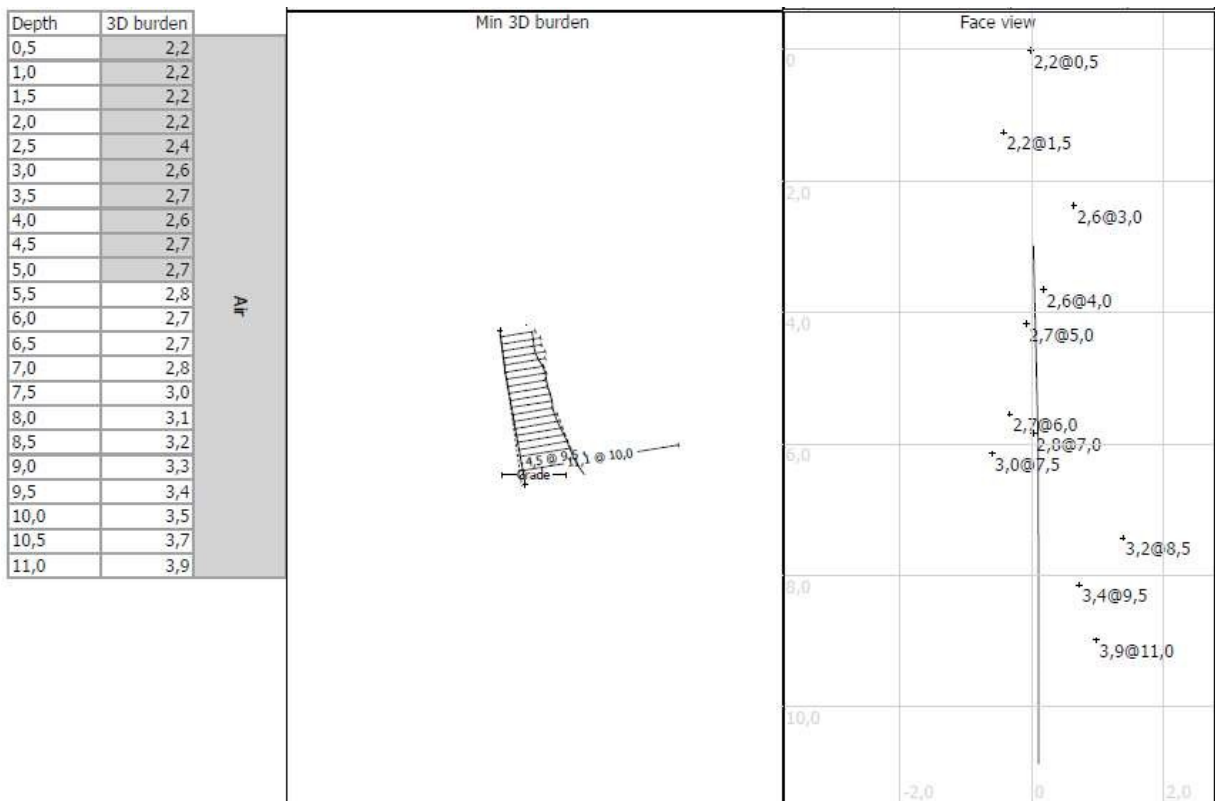
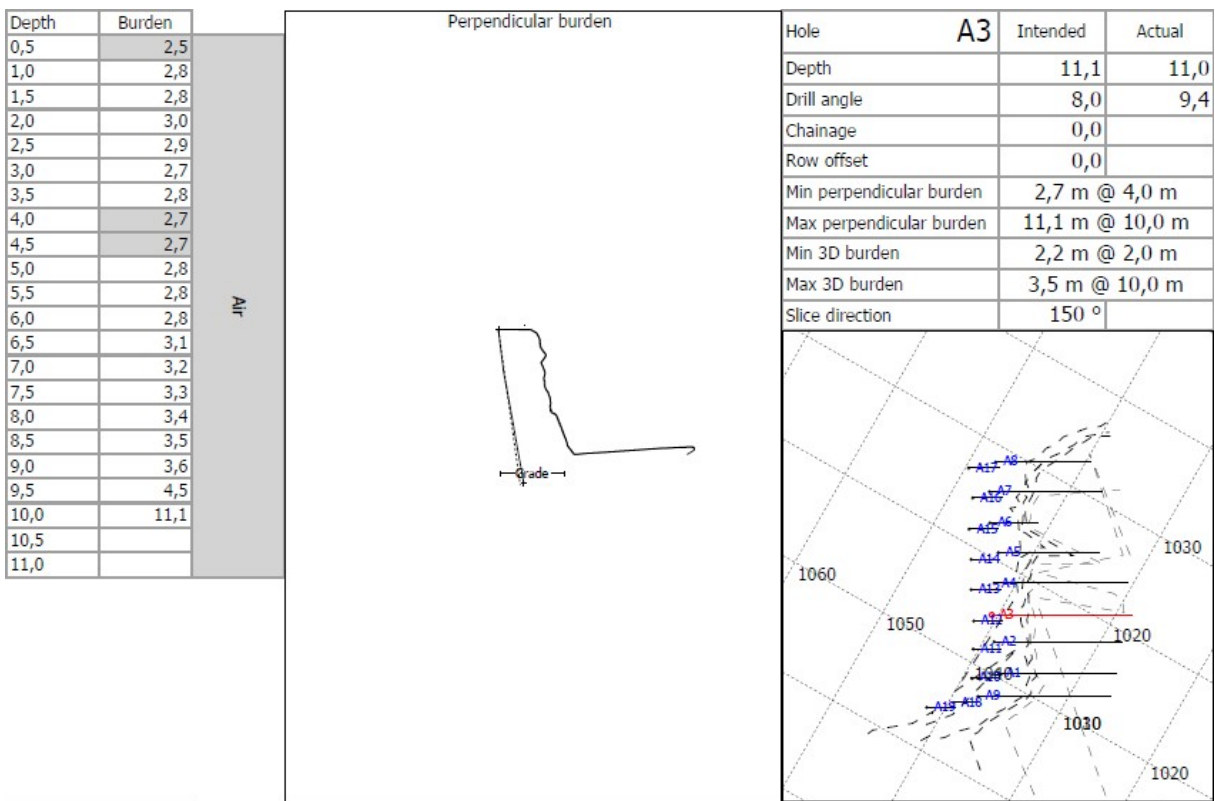


Figura 27– Perfis do furo A3 da pedra de Vila Nova de Famalicão.

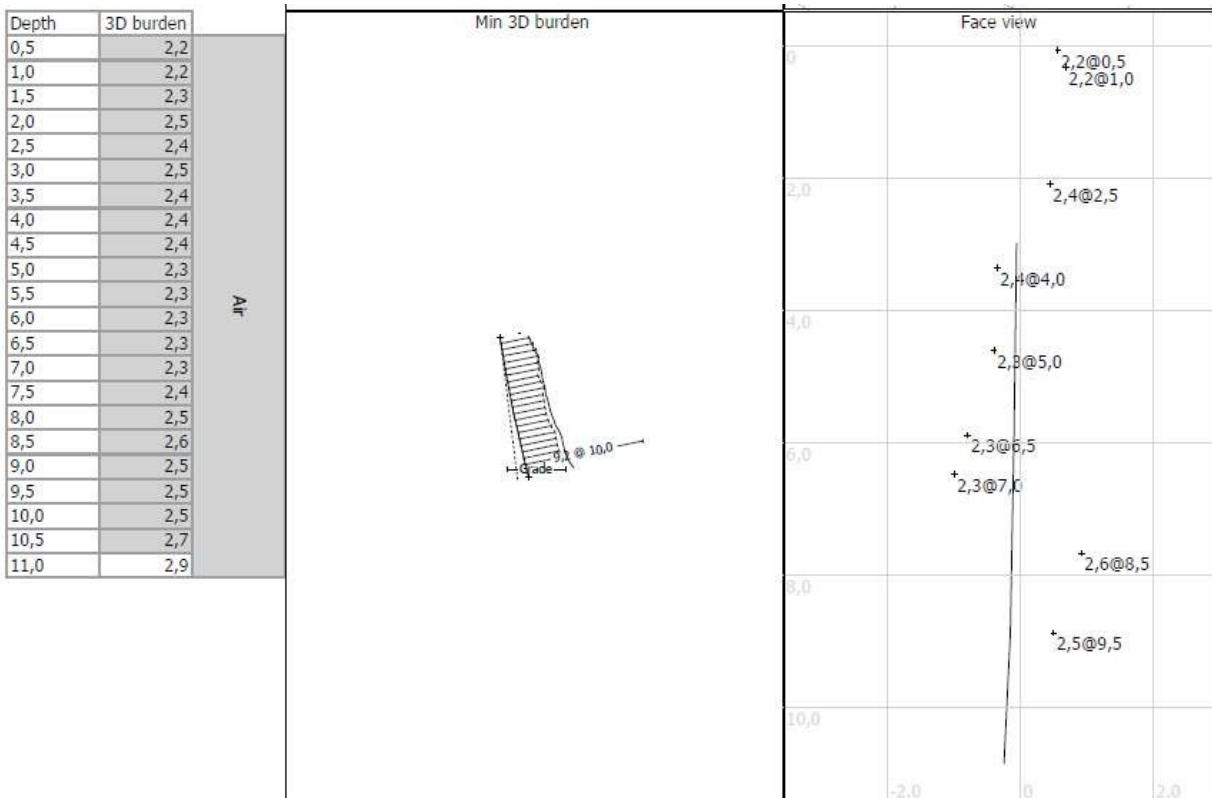
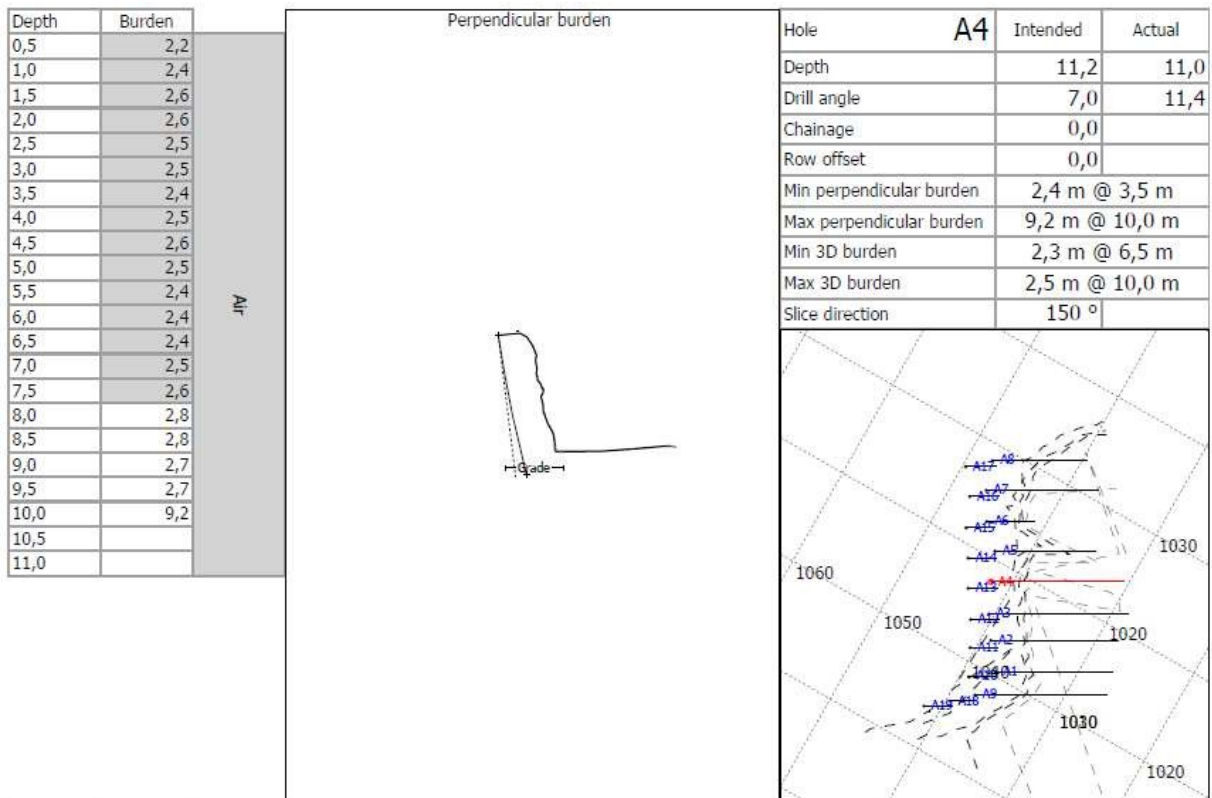


Figura 28– Perfis do furo A4 da pedra de Vila Nova de Famalicão.

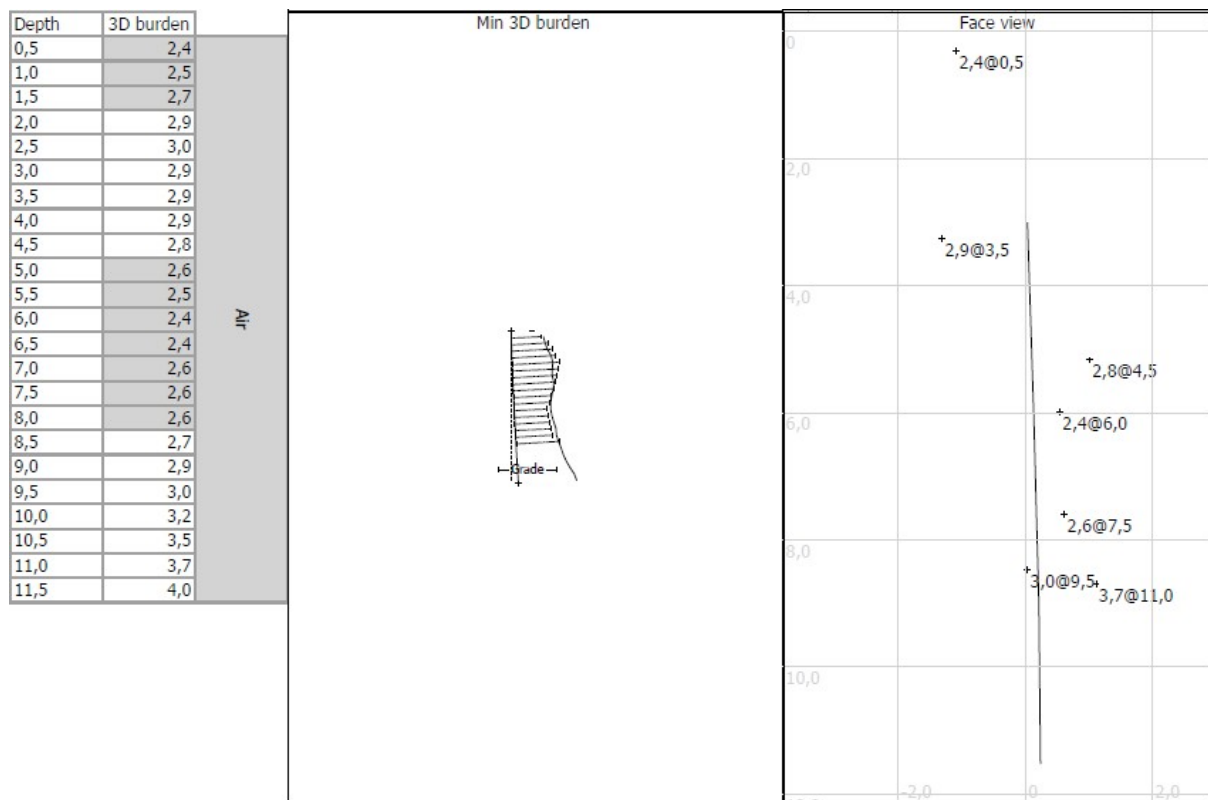
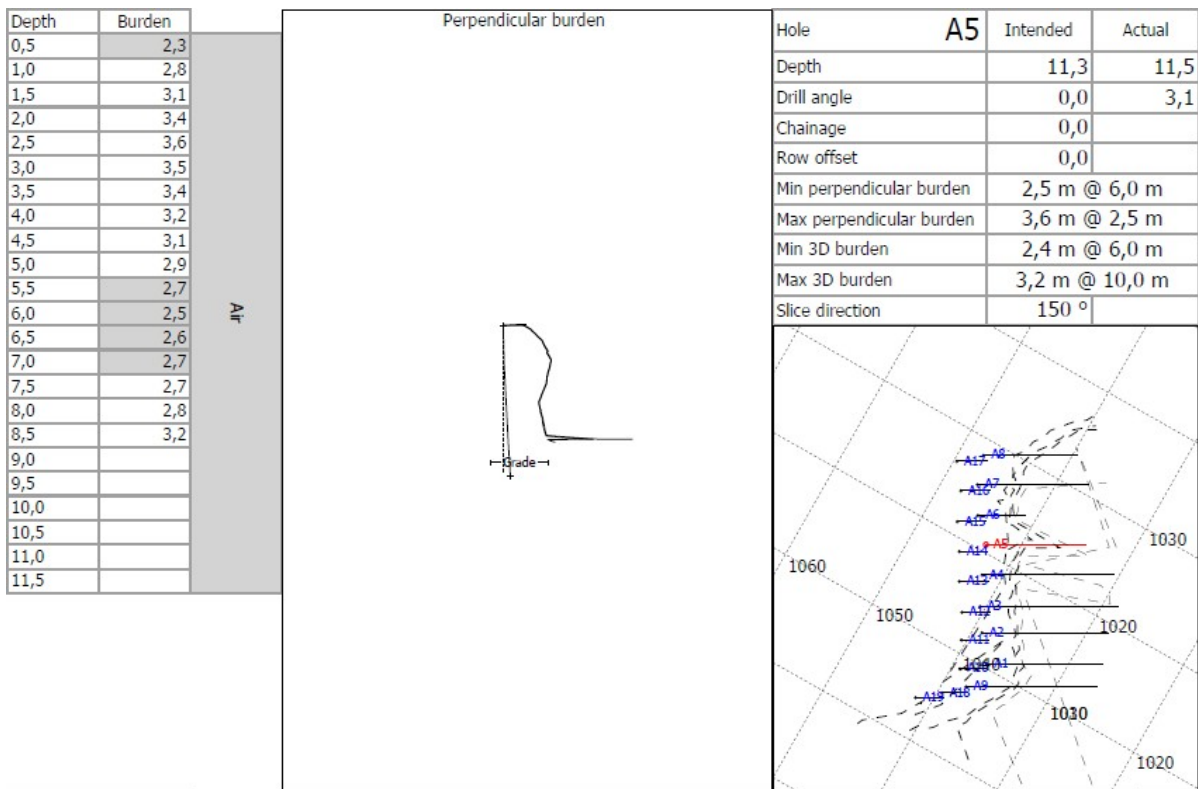
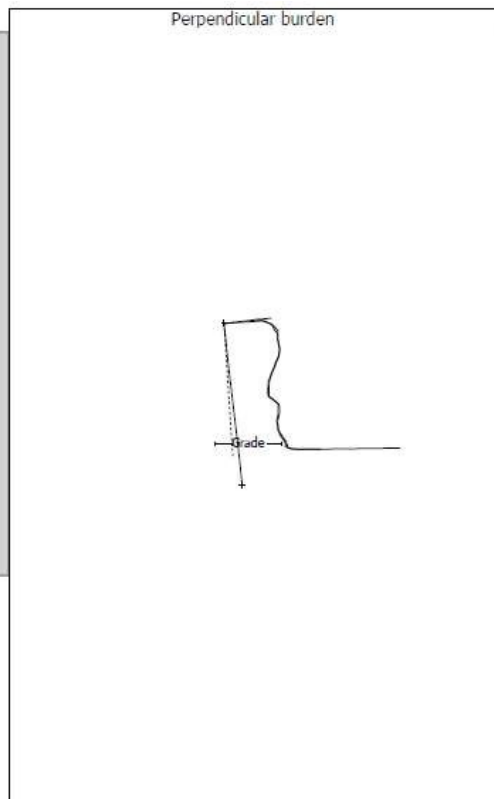


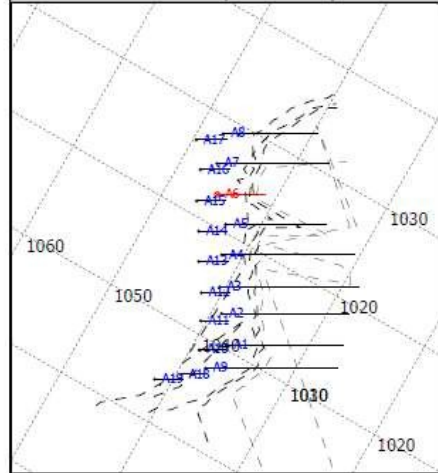
Figura 29– Perfis do furo A5 da pedreira de Vila Nova de Famalicão.

Depth	Burden
0,5	3,3
1,0	3,6
1,5	3,6
2,0	3,6
2,5	3,4
3,0	3,2
3,5	2,9
4,0	2,7
4,5	2,5
5,0	2,4
5,5	2,9
6,0	3,0
6,5	2,9
7,0	2,8
7,5	2,9
8,0	3,0
8,5	3,3
9,0	6,5
9,5	
10,0	
10,5	
11,0	

Alt



Hole	A6	Intended	Actual
Depth		9,0	11,0
Drill angle		4,0	6,8
Chainage		0,0	
Row offset		0,0	
Min perpendicular burden		2,4 m @ 5,0 m	
Max perpendicular burden		3,6 m @ 2,0 m	
Min 3D burden		2,4 m @ 5,0 m	
Max 3D burden		2,9 m @ 8,0 m	
Slice direction		150 °	



Depth	3D burden
0,5	2,1
1,0	2,5
1,5	2,9
2,0	3,2
2,5	3,0
3,0	2,8
3,5	2,6
4,0	2,5
4,5	2,4
5,0	2,4
5,5	2,4
6,0	2,5
6,5	2,7
7,0	2,8
7,5	2,8
8,0	2,9
8,5	3,0
9,0	3,1
9,5	3,3
10,0	3,5
10,5	3,7
11,0	4,0

Alt

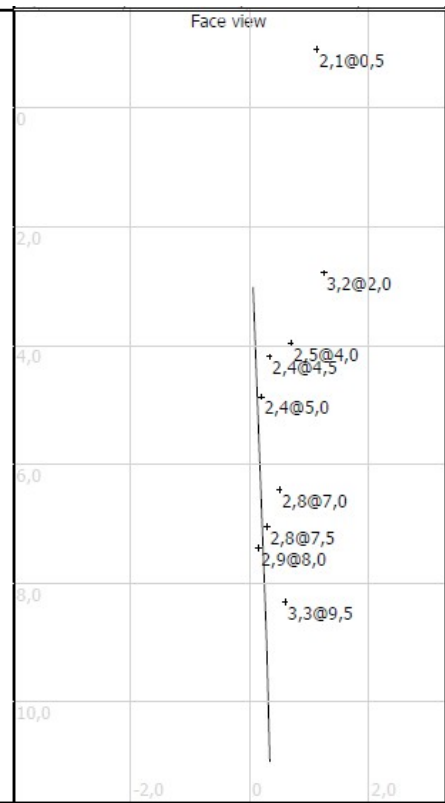
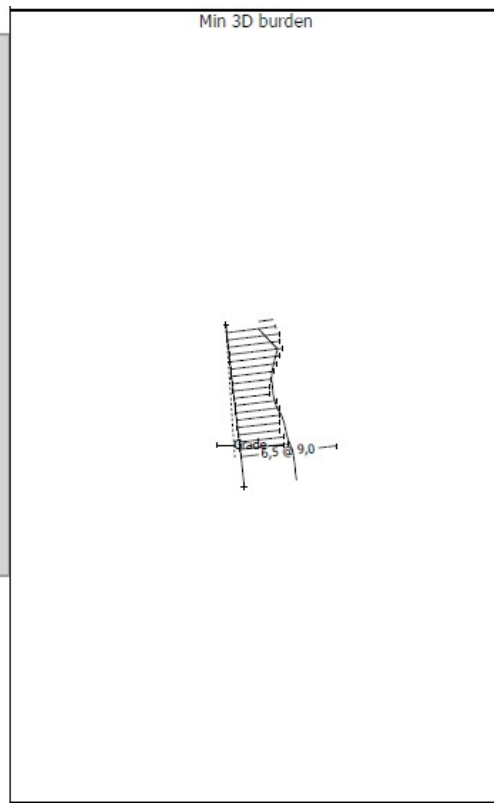


Figura 30– Perfis do furo A6 da pedra de Vila Nova de Famalicão.

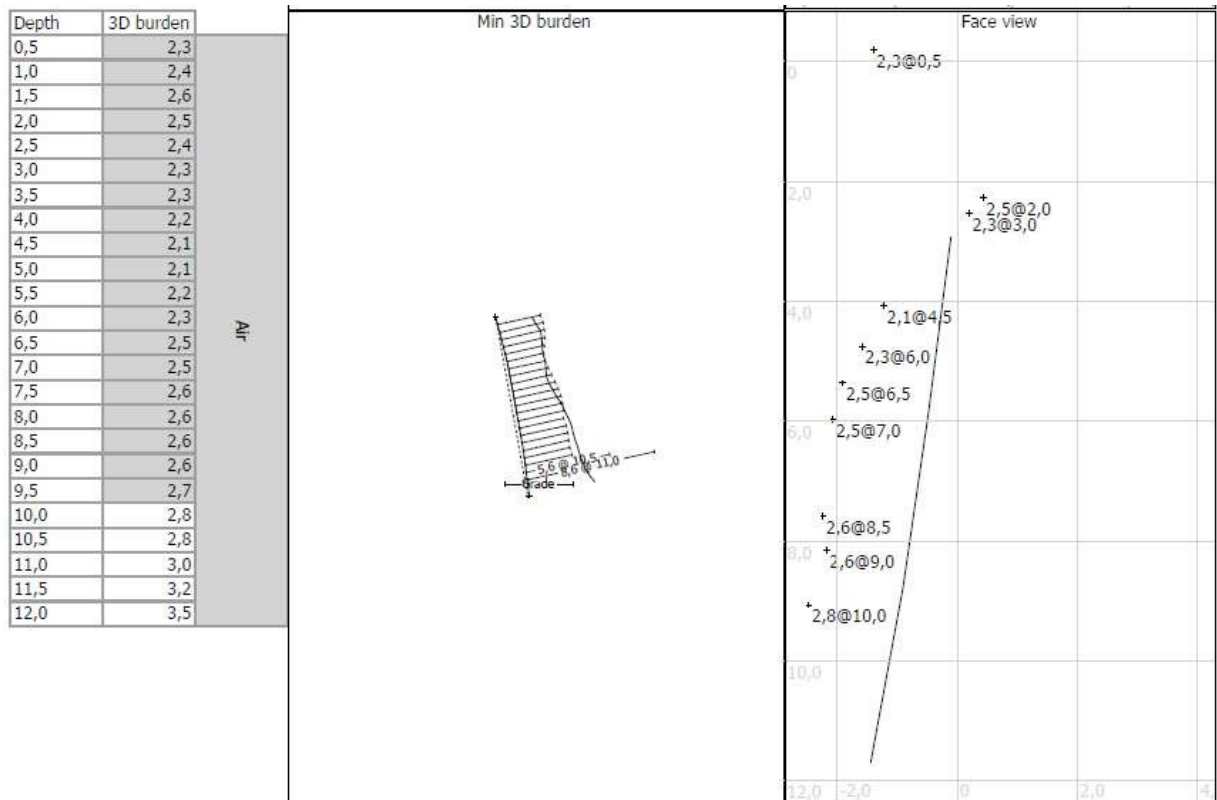
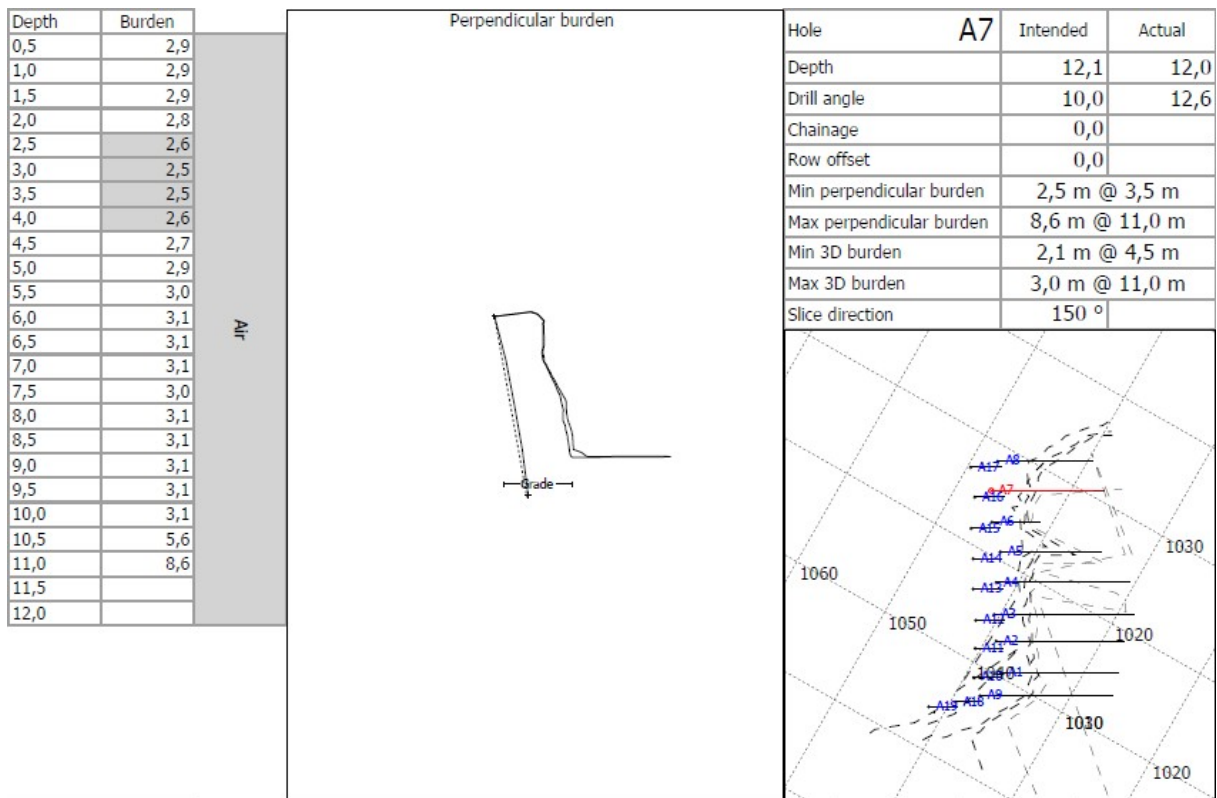


Figura 31– Perfis do furo A7 da pedreira de Vila Nova de Famalicão.

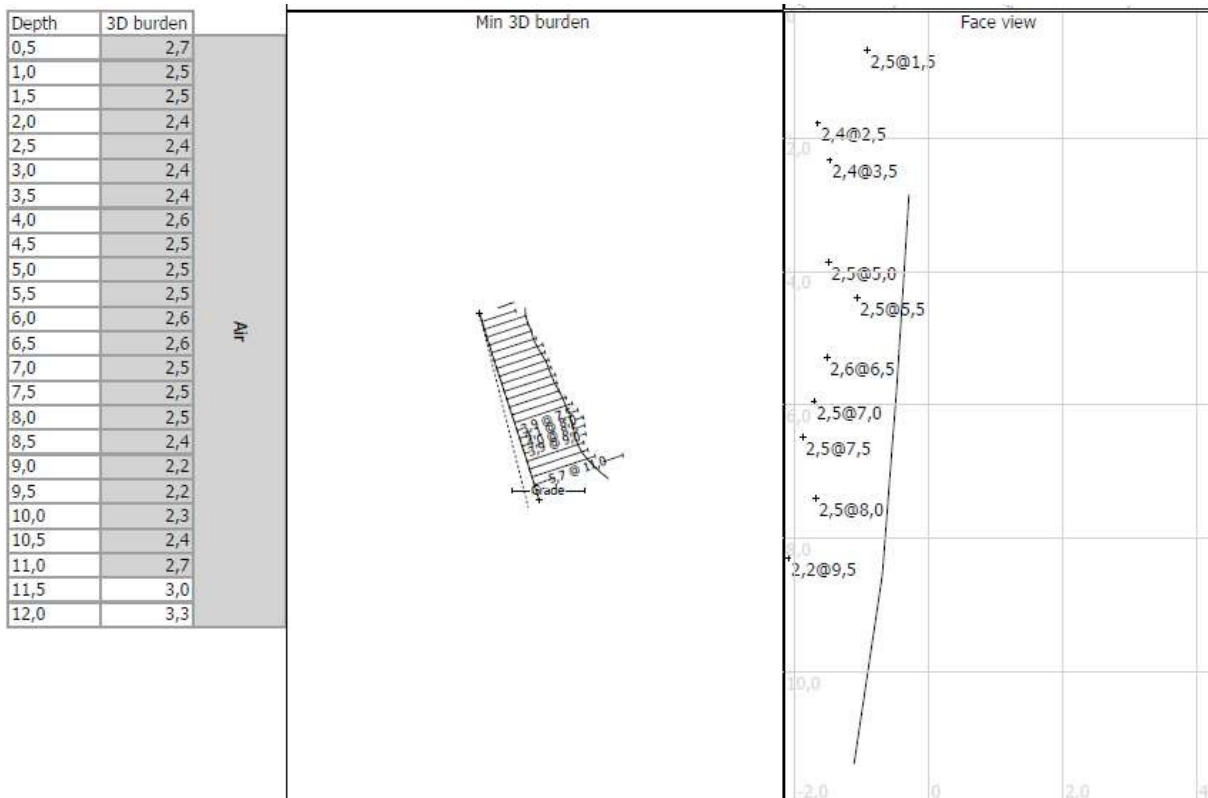
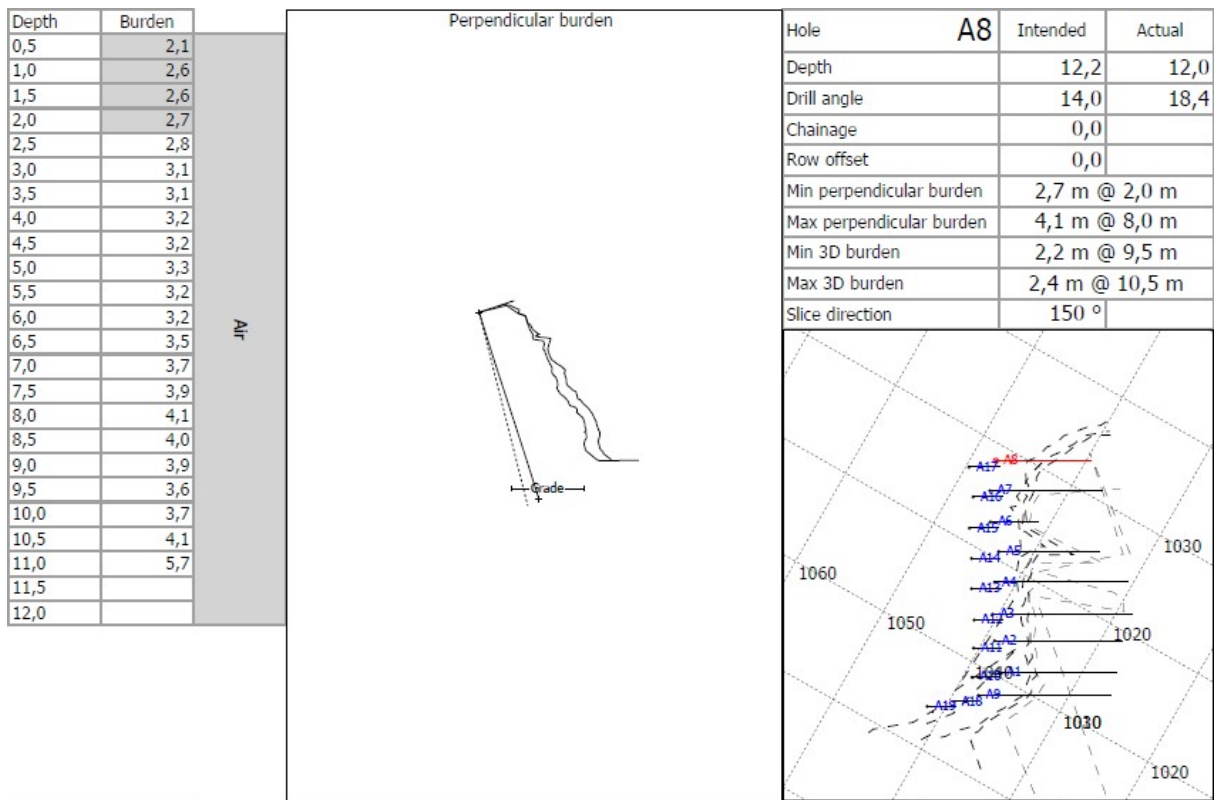


Figura 32– Perfis do furo A8 da pedreira de Vila Nova de Famalicão.

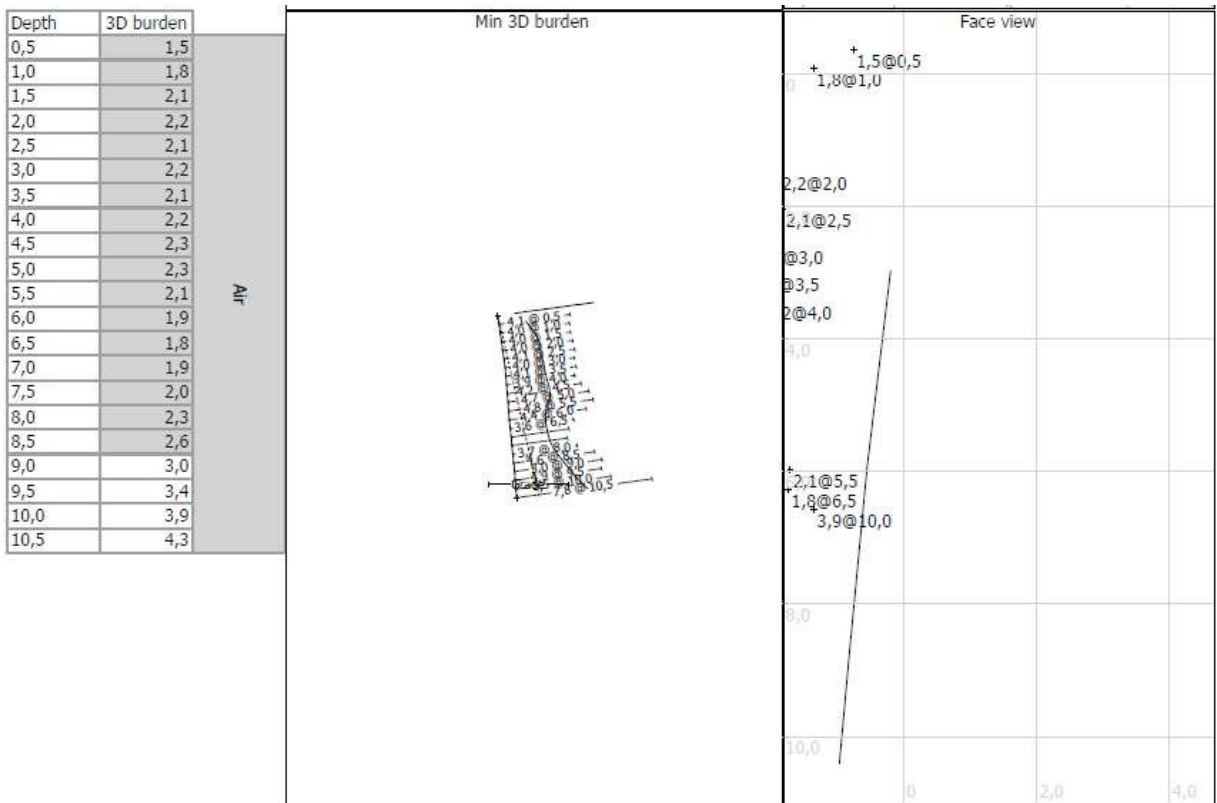
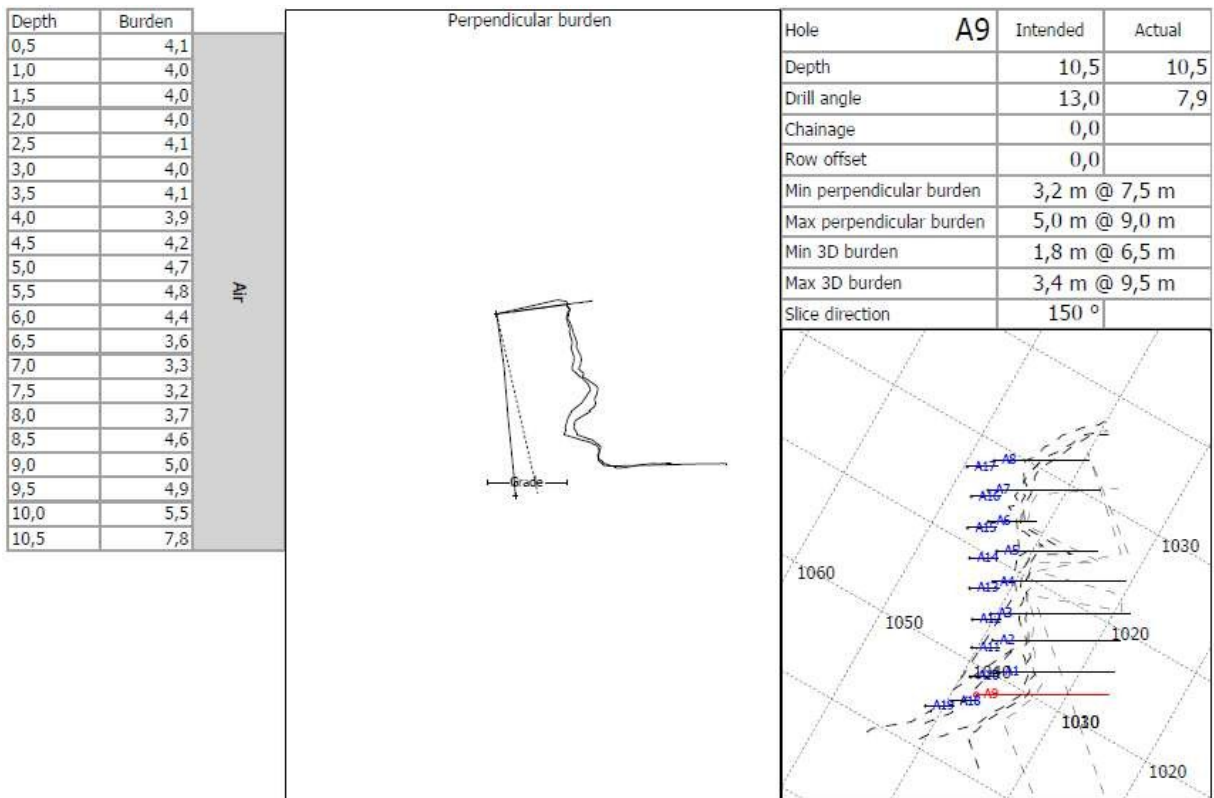


Figura 33– Perfis do furo A9 da pedreira de Vila Nova de Famalicão.

Anexo 3 - Resultados do Laser e Boretrak da Pedreira de Tondela.

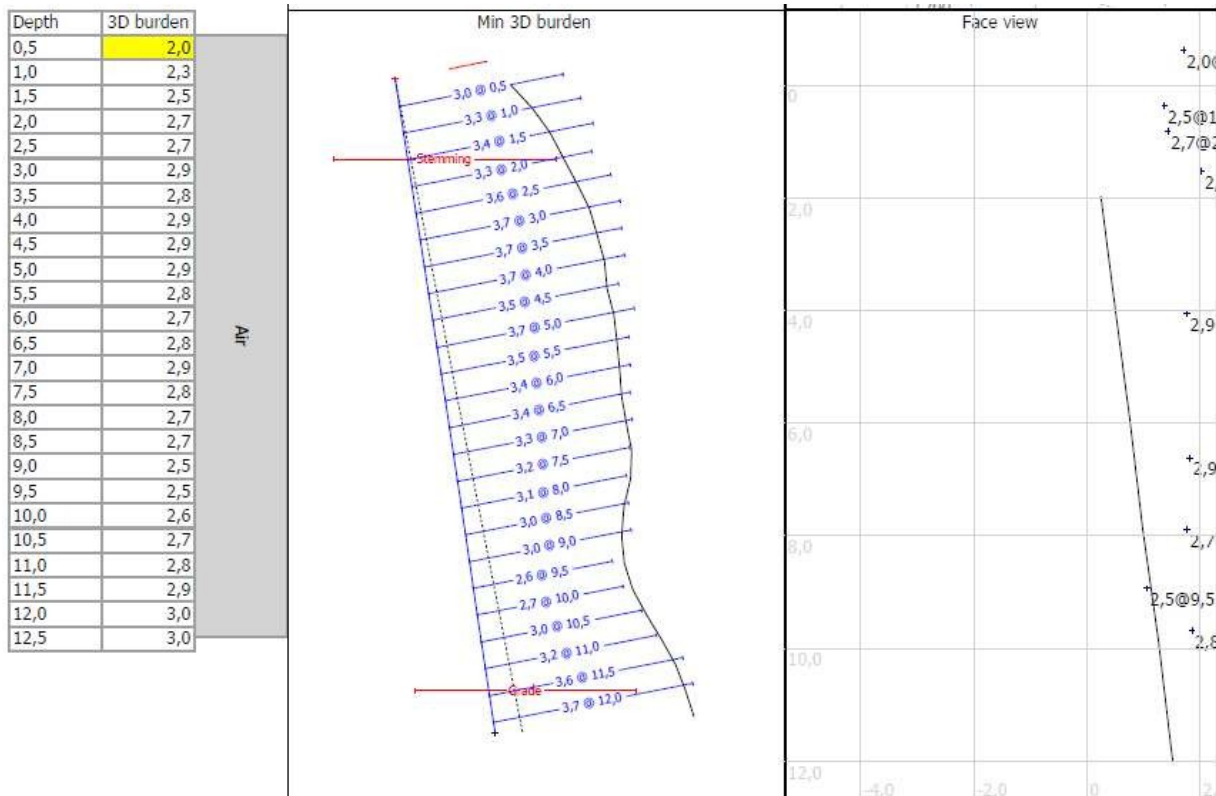
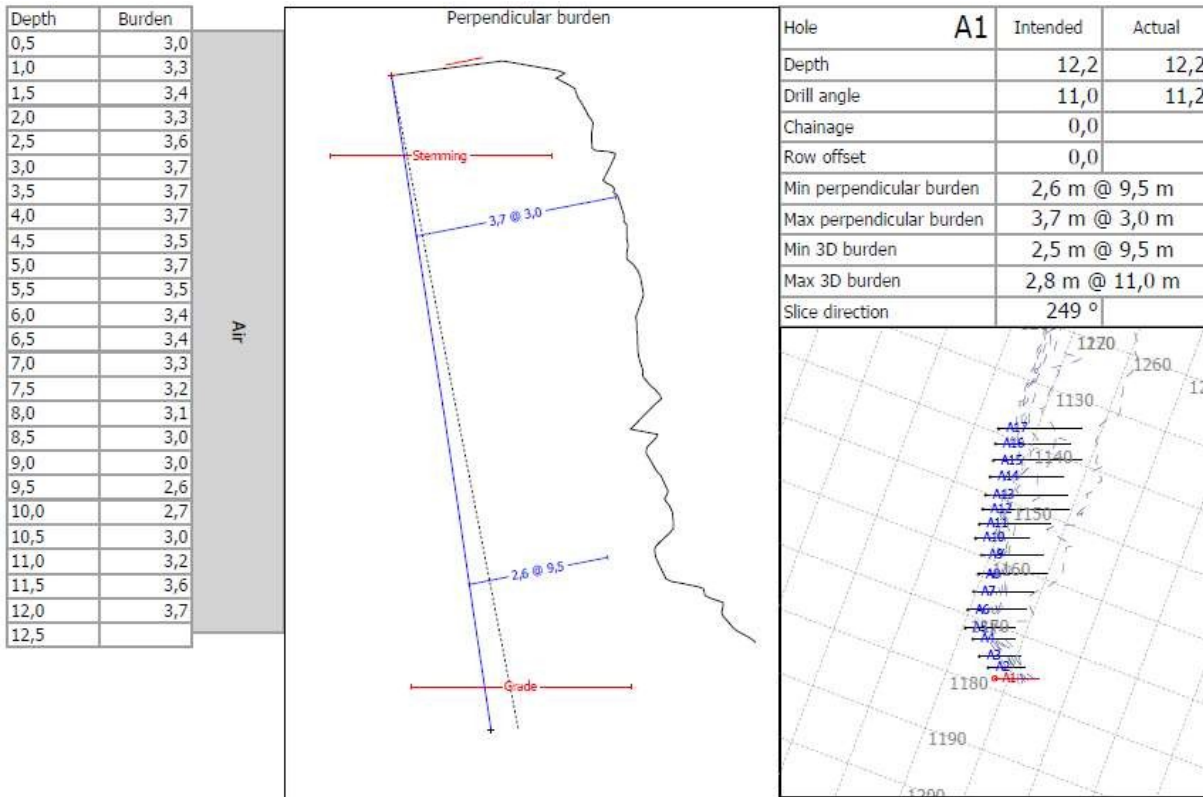


Figura 34– Perfis do furo A1 da pedreira de Tondela.

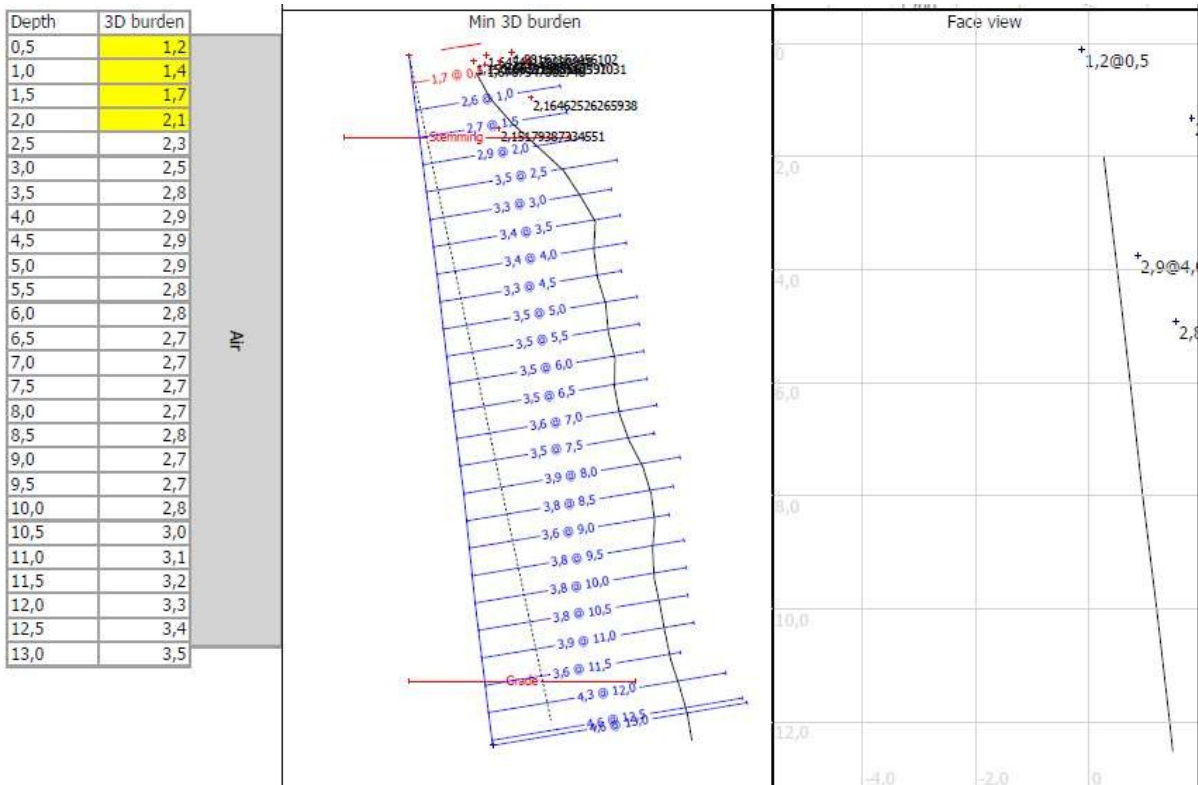
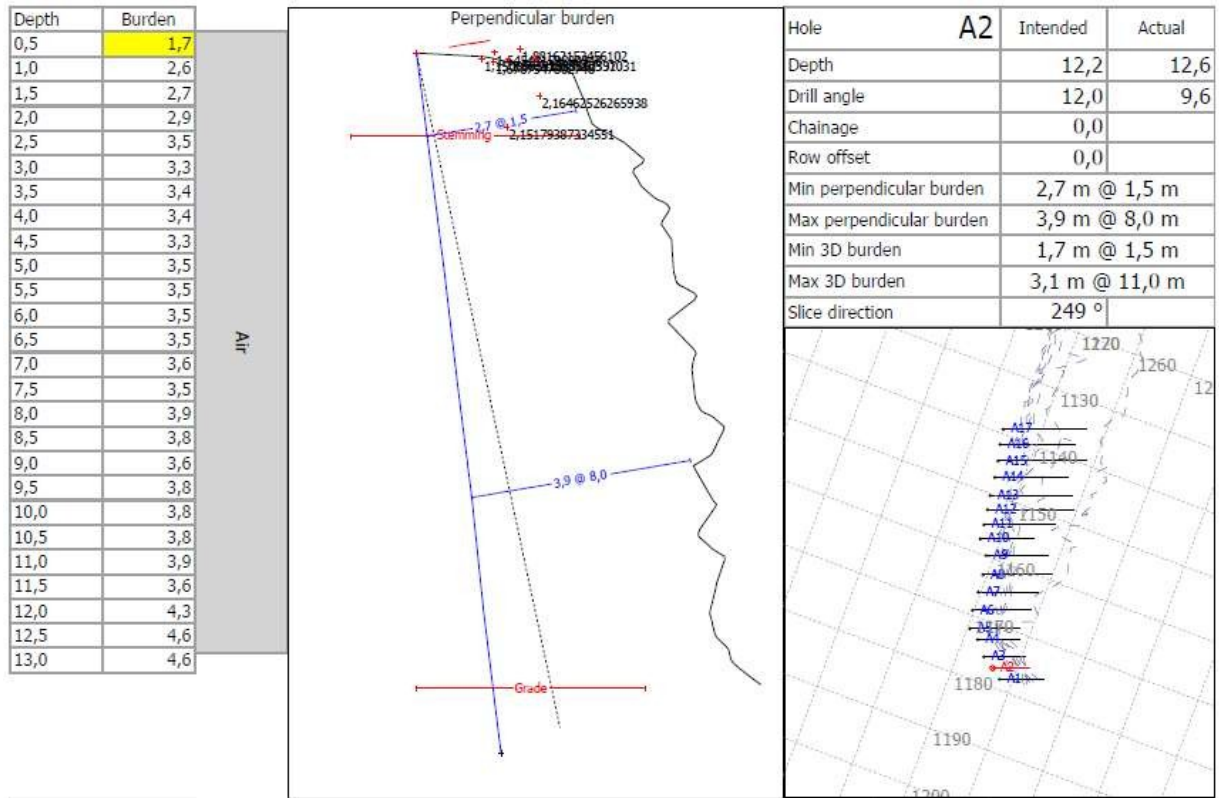


Figura 35 – Perfis do furo A2 da pedra de Tondela.

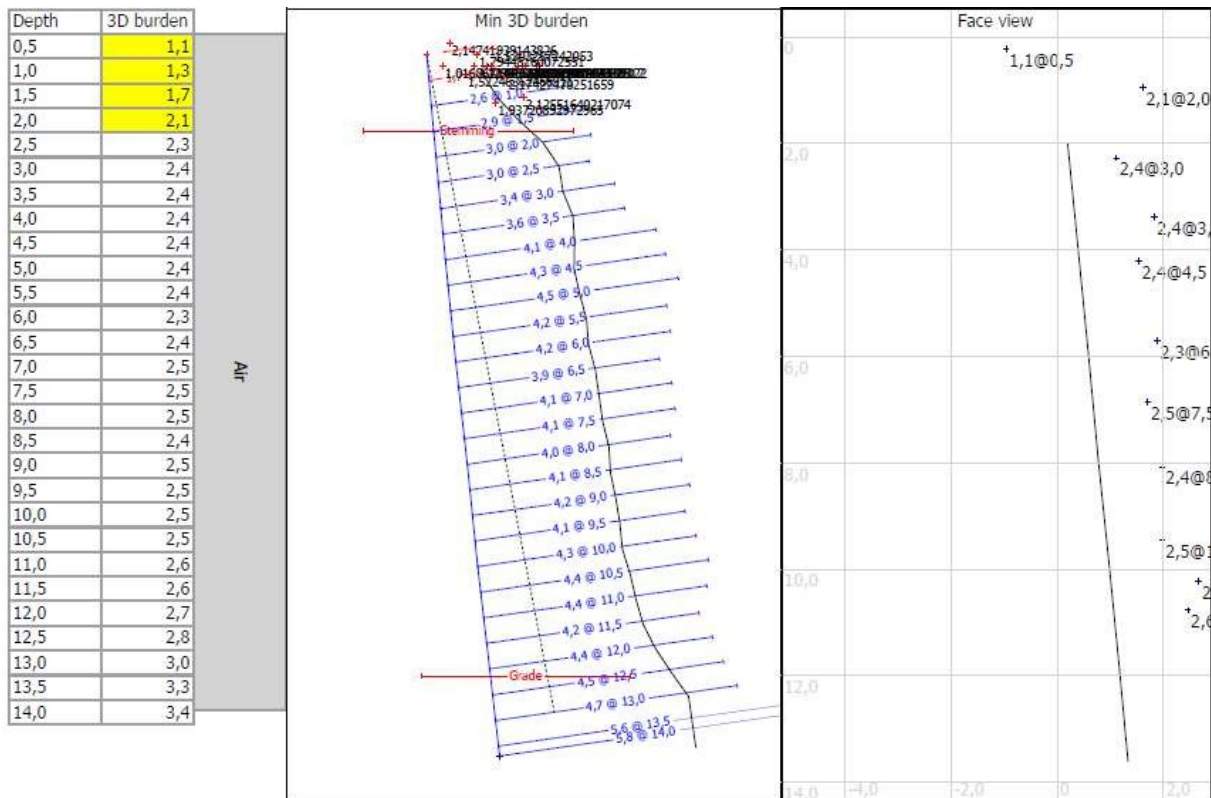
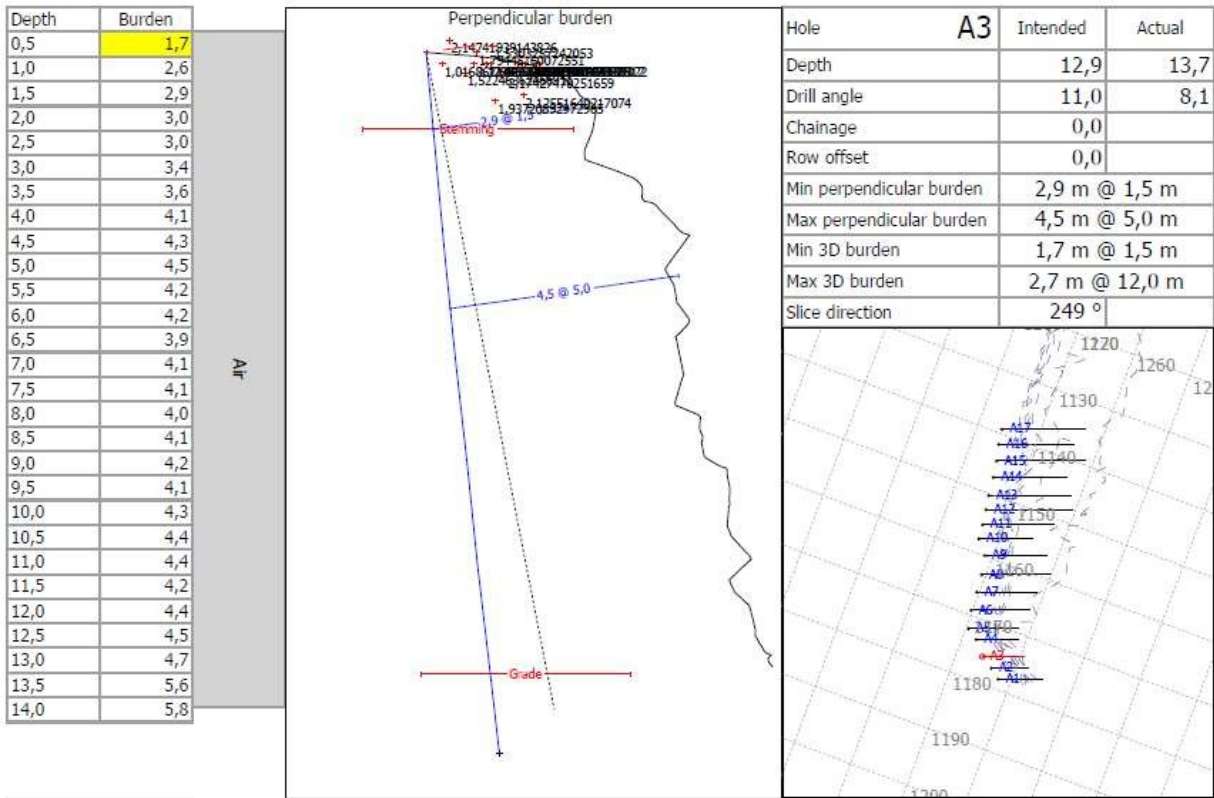
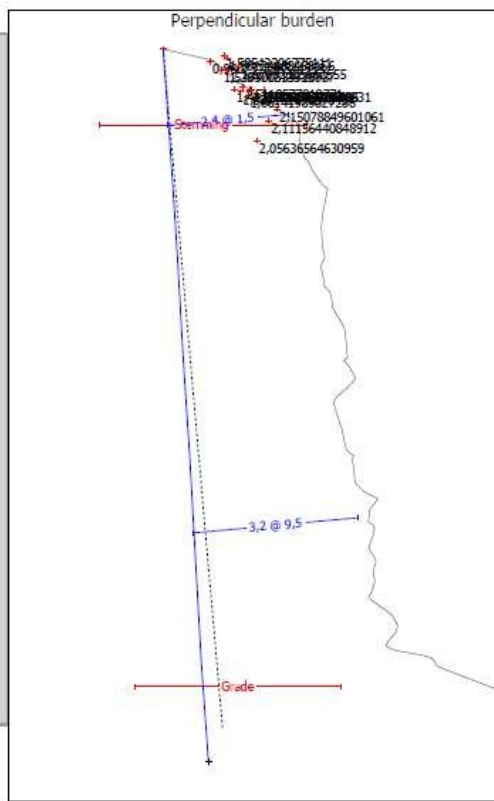


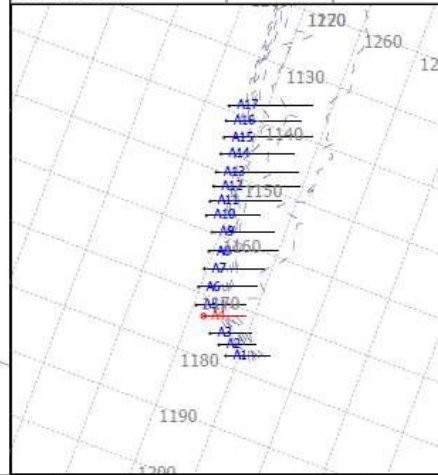
Figura 36 – Perfis do furo A3 da pedra de Tondela.

Depth	Burden
0,5	1,2
1,0	1,7
1,5	2,4
2,0	2,7
2,5	2,7
3,0	3,1
3,5	2,9
4,0	2,8
4,5	2,9
5,0	2,9
5,5	3,1
6,0	3,2
6,5	3,1
7,0	3,0
7,5	2,8
8,0	2,9
8,5	3,1
9,0	3,2
9,5	3,2
10,0	3,1
10,5	3,1
11,0	3,2
11,5	3,2
12,0	3,1
12,5	4,3
13,0	6,5
13,5	8,1
14,0	

Alt



Hole	A4	Intended	Actual
Depth		13,3	14,0
Drill angle		5,0	5,2
Chainage		0,0	
Row offset		0,0	
Min perpendicular burden		2,4 m @ 1,5 m	
Max perpendicular burden		3,2 m @ 9,5 m	
Min 3D burden		1,5 m @ 1,5 m	
Max 3D burden		2,7 m @ 12,0 m	
Slice direction		249 °	



Depth	3D burden
0,5	1,0
1,0	1,2
1,5	1,5
2,0	1,8
2,5	2,1
3,0	2,3
3,5	2,5
4,0	2,7
4,5	2,7
5,0	2,7
5,5	2,7
6,0	2,7
6,5	2,6
7,0	2,6
7,5	2,6
8,0	2,7
8,5	2,8
9,0	2,9
9,5	2,8
10,0	2,7
10,5	2,7
11,0	2,7
11,5	2,6
12,0	2,7
12,5	2,8
13,0	3,0
13,5	3,2
14,0	3,6

Alt

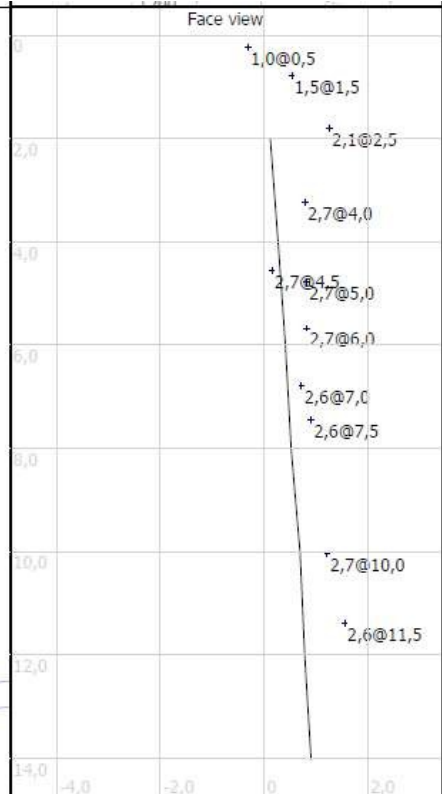
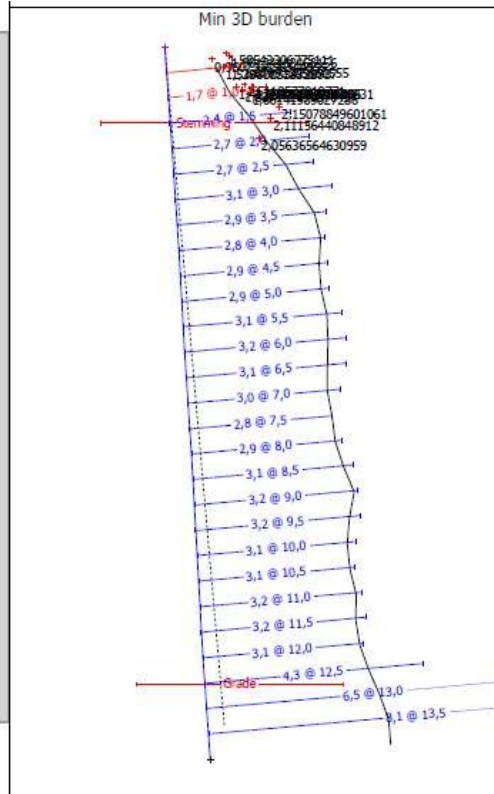


Figura 37 – Perfis do furo A4 da pedra de Tondela.

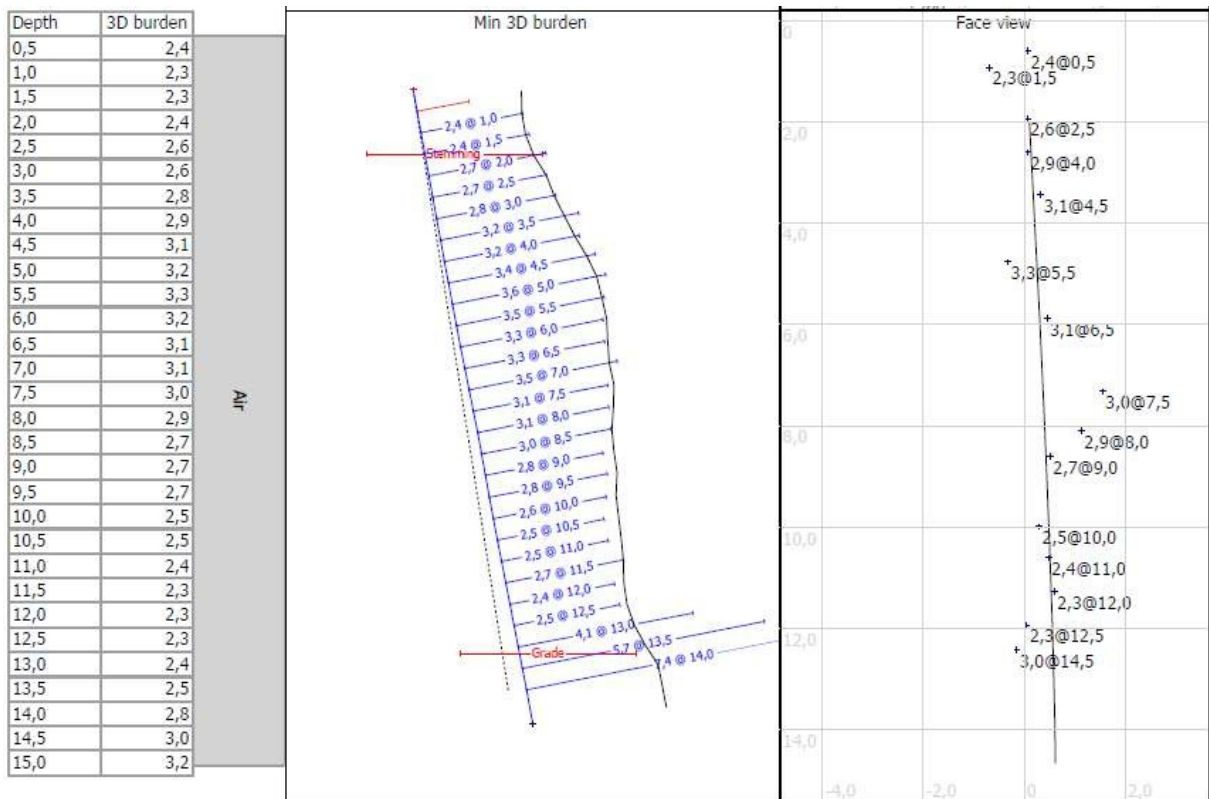
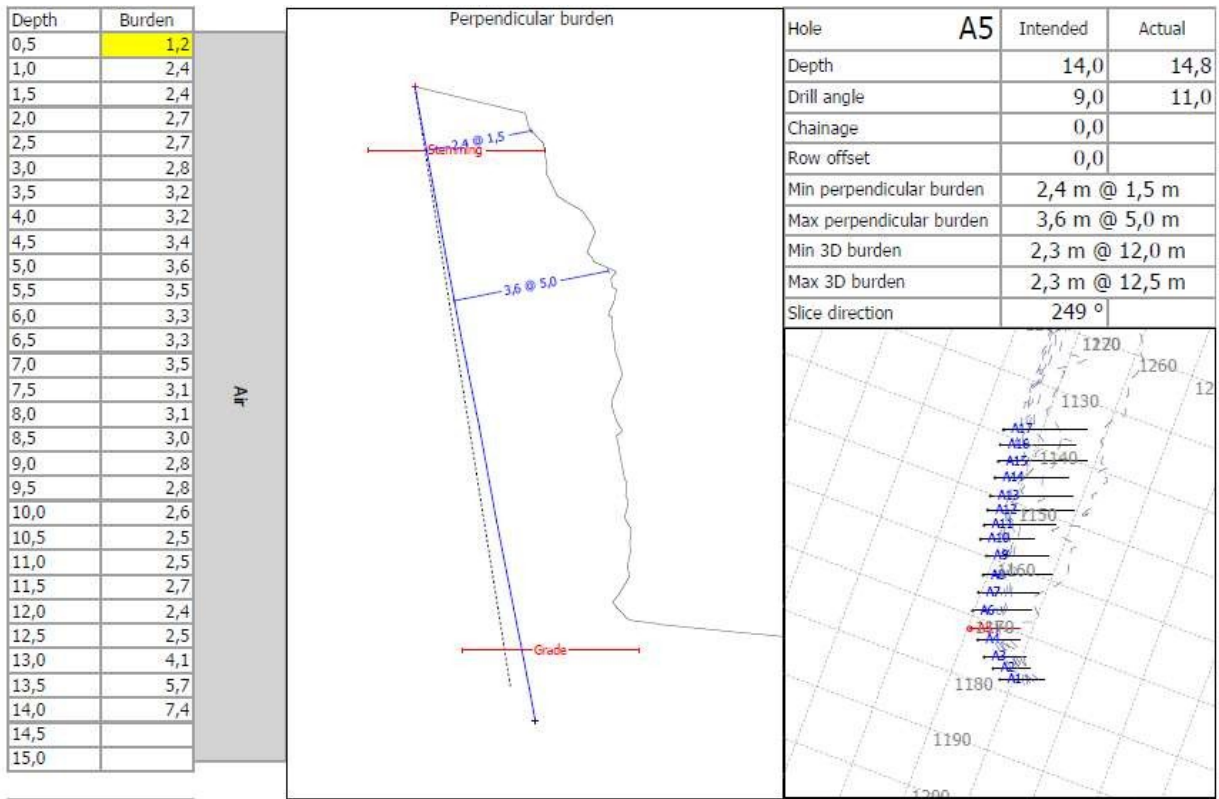


Figura 38 – Perfis do furo A5 da pedra de Tondela.

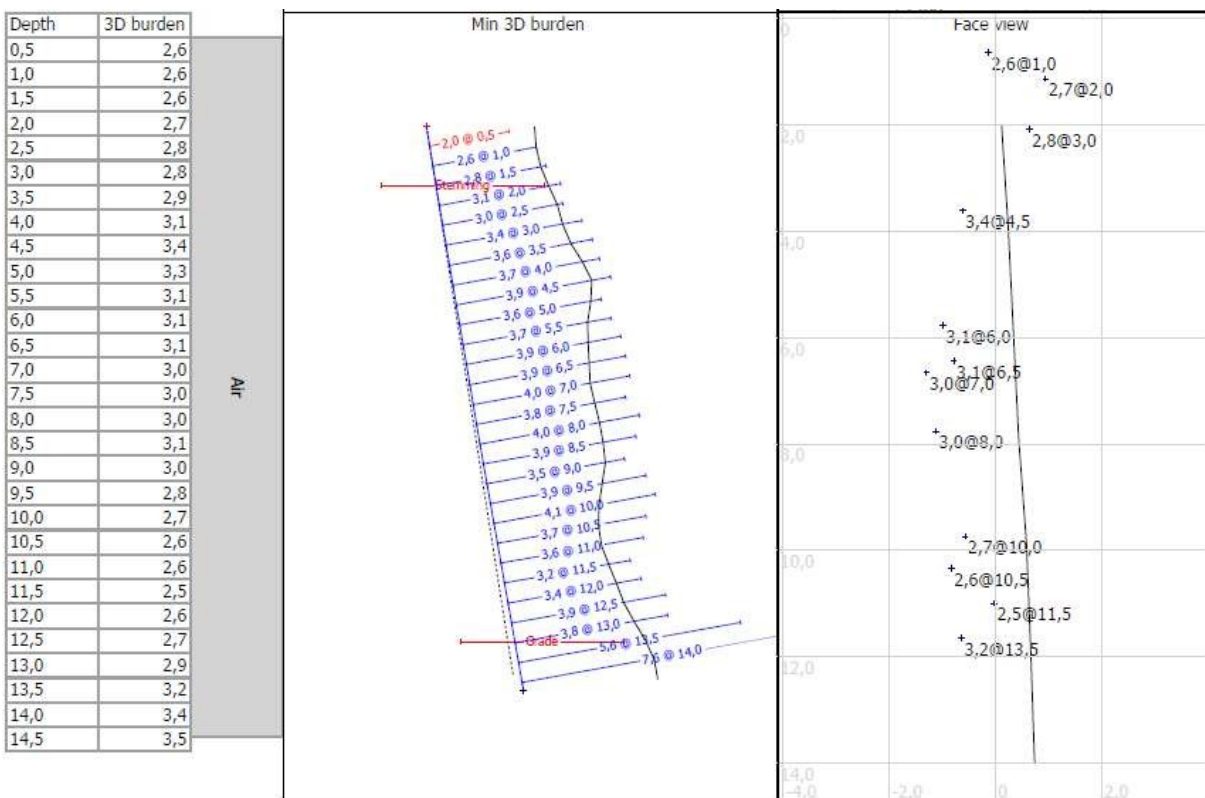
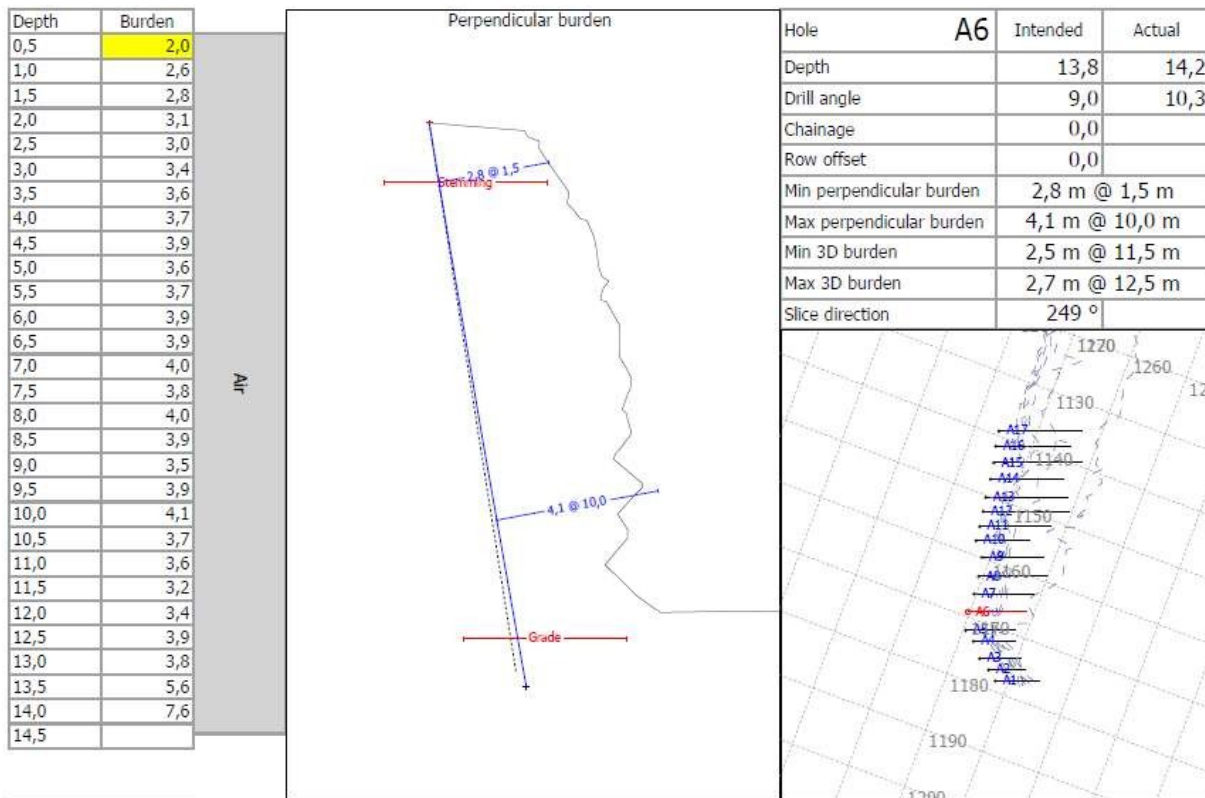
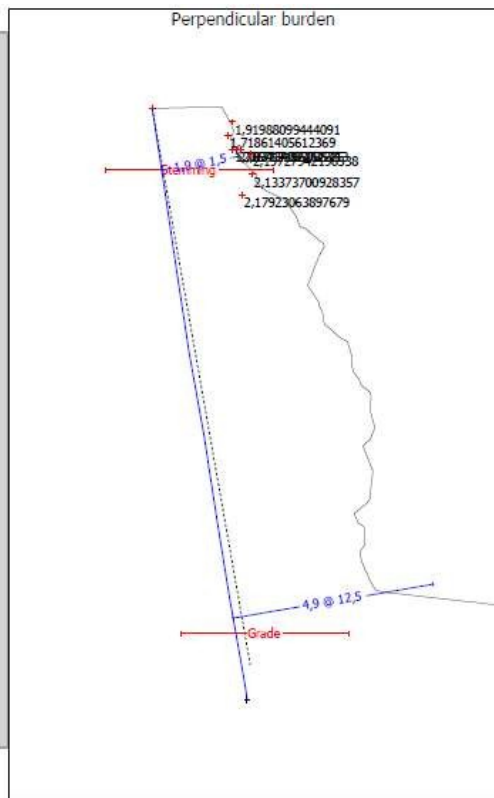


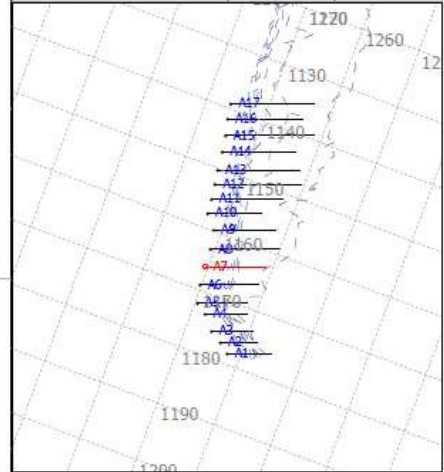
Figura 39 – Perfis do furo A6 da pedra de Tondela.

Depth	Burden
0,5	1,8
1,0	1,8
1,5	1,9
2,0	2,2
2,5	2,5
3,0	3,0
3,5	3,1
4,0	3,6
4,5	3,4
5,0	3,3
5,5	3,3
6,0	3,5
6,5	3,8
7,0	4,0
7,5	3,9
8,0	3,9
8,5	4,0
9,0	3,8
9,5	3,9
10,0	3,8
10,5	3,6
11,0	3,5
11,5	3,4
12,0	3,6
12,5	4,9
13,0	6,5
13,5	8,2
14,0	9,6
14,5	10,4

Air



Hole	A7	Intended	Actual
Depth		13,7	14,5
Drill angle		10,0	9,5
Chainage		0,0	
Row offset		0,0	
Min perpendicular burden		1,9 m @ 1,5 m	
Max perpendicular burden		4,9 m @ 12,5 m	
Min 3D burden		1,8 m @ 1,5 m	
Max 3D burden		3,1 m @ 12,5 m	
Slice direction		249 °	



Depth	3D burden
0,5	1,8
1,0	1,7
1,5	1,8
2,0	1,9
2,5	2,2
3,0	2,3
3,5	2,5
4,0	2,7
4,5	3,0
5,0	3,1
5,5	3,1
6,0	3,3
6,5	3,4
7,0	3,5
7,5	3,6
8,0	3,5
8,5	3,4
9,0	3,4
9,5	3,4
10,0	3,3
10,5	3,2
11,0	3,1
11,5	3,1
12,0	3,1
12,5	3,1
13,0	3,2
13,5	3,4
14,0	3,6
14,5	3,9

Air

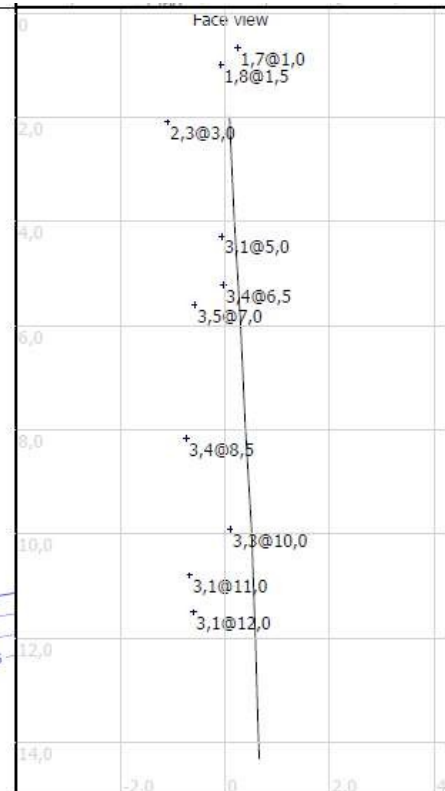
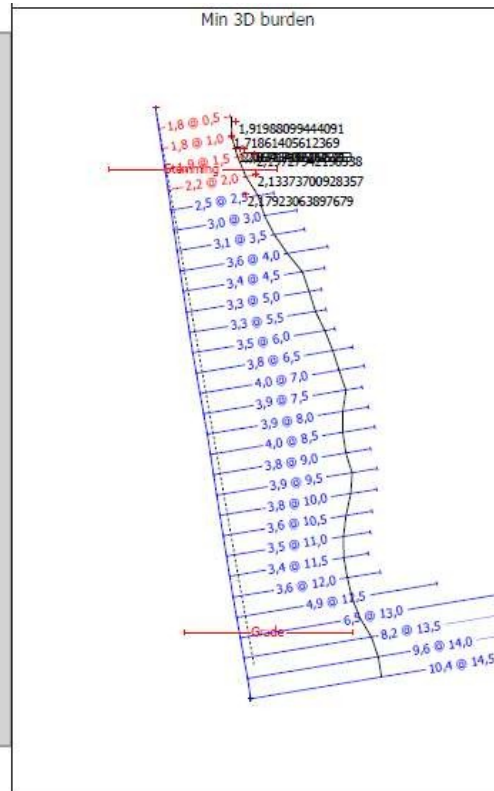


Figura 40 – Perfis do furo A7 da pedra de Tondela.

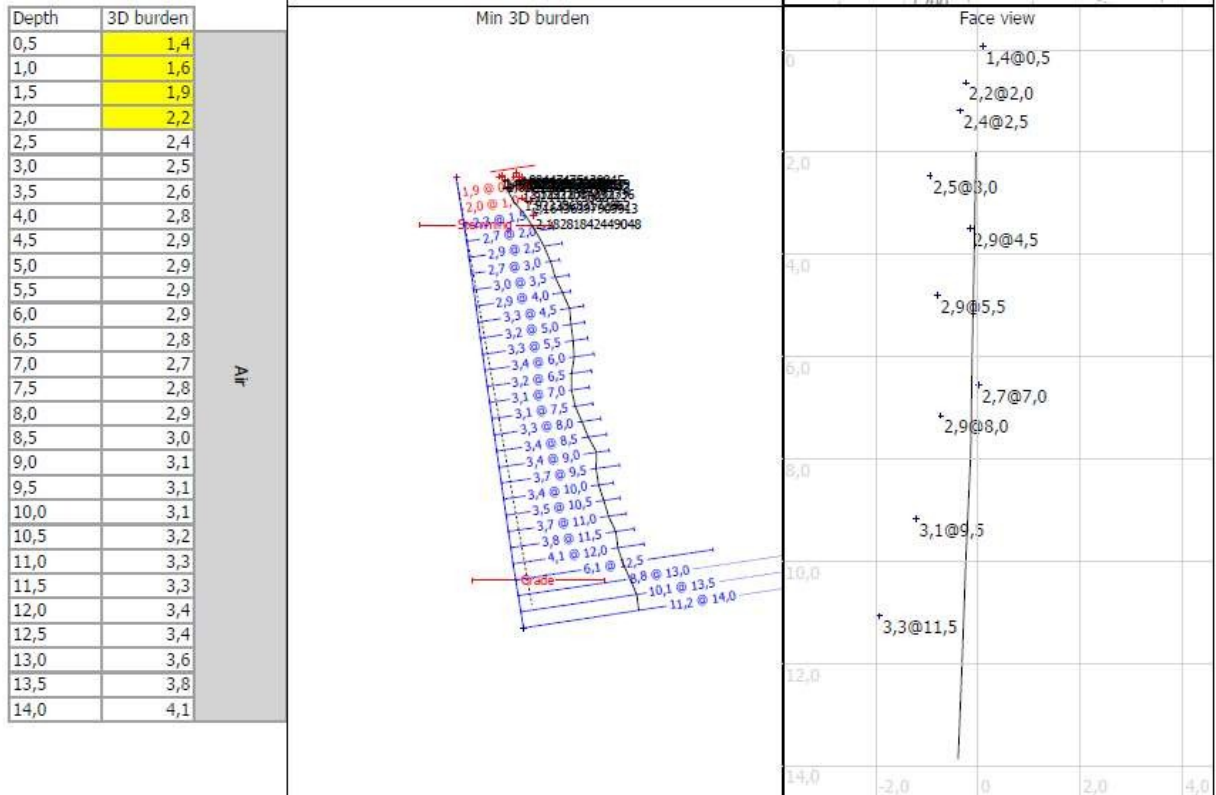
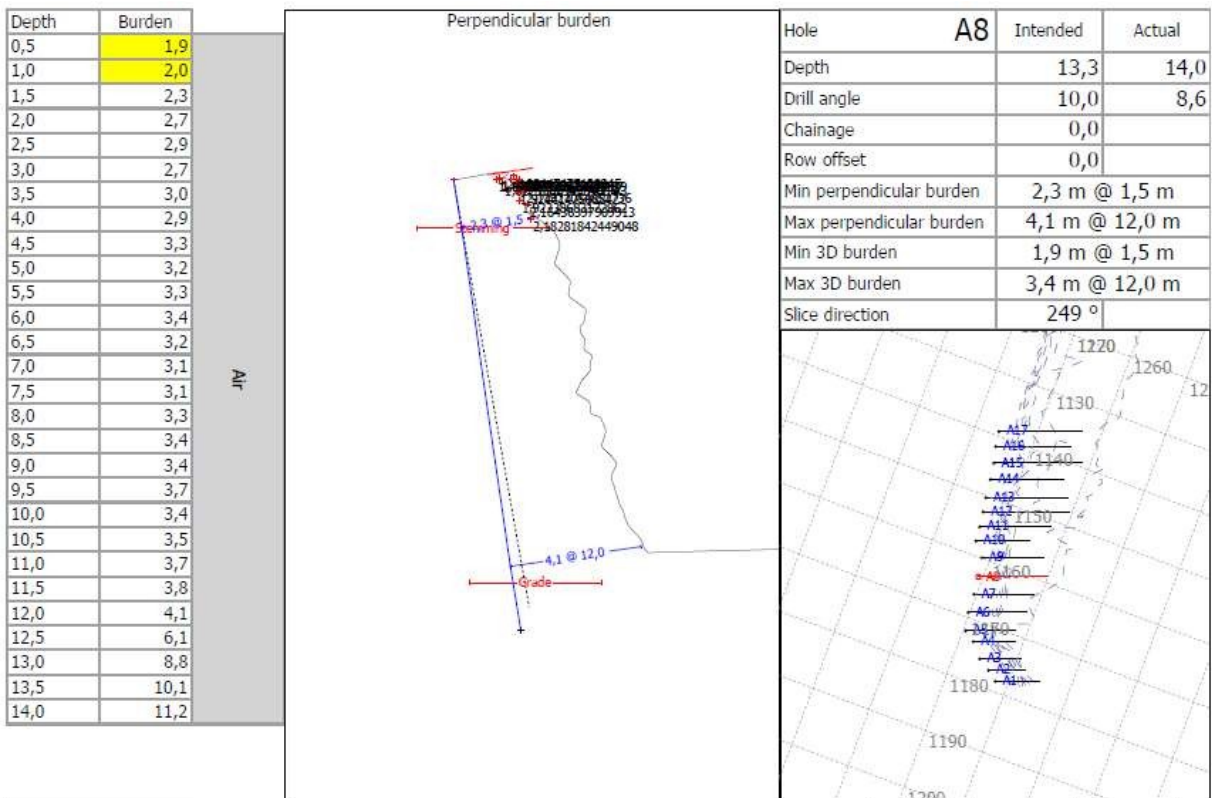
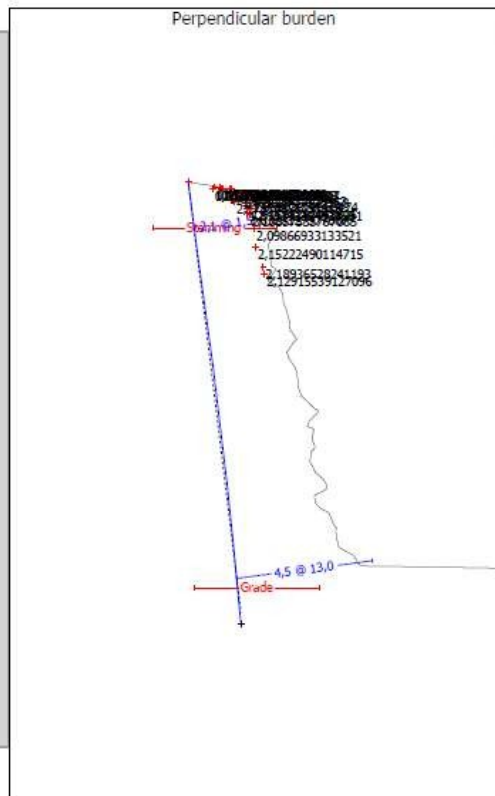


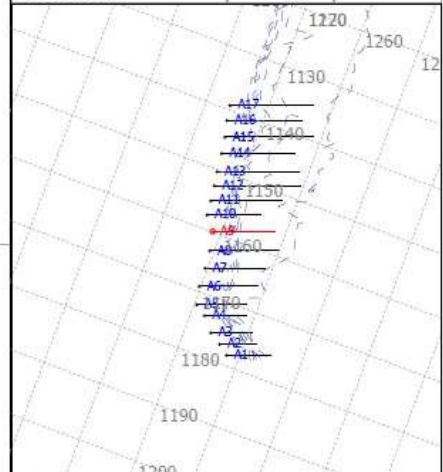
Figura 41 – Perfis do furo A8 da pedra de Tondela.

Depth	Burden
0,5	1,3
1,0	1,9
1,5	2,1
2,0	2,6
2,5	2,3
3,0	2,3
3,5	2,2
4,0	2,5
4,5	2,5
5,0	2,5
5,5	2,4
6,0	2,6
6,5	2,7
7,0	3,0
7,5	3,0
8,0	2,9
8,5	3,0
9,0	2,8
9,5	3,0
10,0	3,1
10,5	2,8
11,0	3,4
11,5	3,2
12,0	3,1
12,5	3,7
13,0	4,5
13,5	5,6
14,0	8,2
14,5	

Alt



Hole	A9	Intended	Actual
Depth		14,1	14,5
Drill angle		7,0	7,4
Chainage		0,0	
Row offset		0,0	
Min perpendicular burden		2,1 m @ 1,5 m	
Max perpendicular burden		4,5 m @ 13,0 m	
Min 3D burden		1,5 m @ 1,5 m	
Max 3D burden		3,2 m @ 13,0 m	
Slice direction		249 °	



Depth	3D burden
0,5	0,8
1,0	1,1
1,5	1,5
2,0	1,9
2,5	2,1
3,0	2,1
3,5	2,1
4,0	2,2
4,5	2,4
5,0	2,3
5,5	2,2
6,0	2,2
6,5	2,3
7,0	2,4
7,5	2,7
8,0	2,6
8,5	2,6
9,0	2,7
9,5	2,8
10,0	2,7
10,5	2,7
11,0	2,8
11,5	2,9
12,0	3,1
12,5	3,1
13,0	3,2
13,5	3,4
14,0	3,6
14,5	3,8

Alt

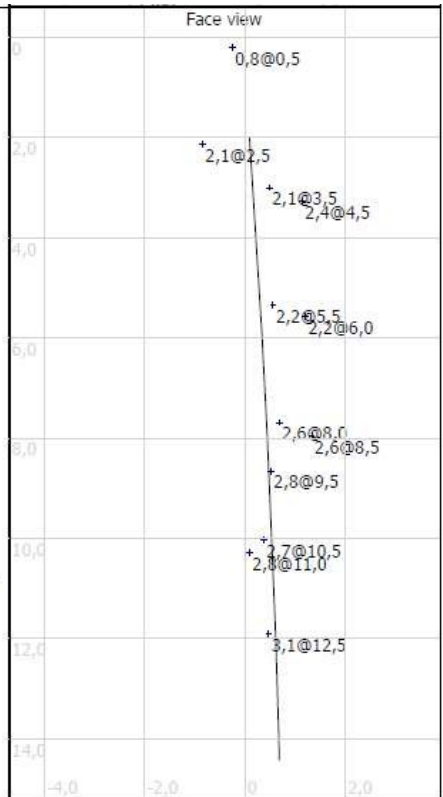
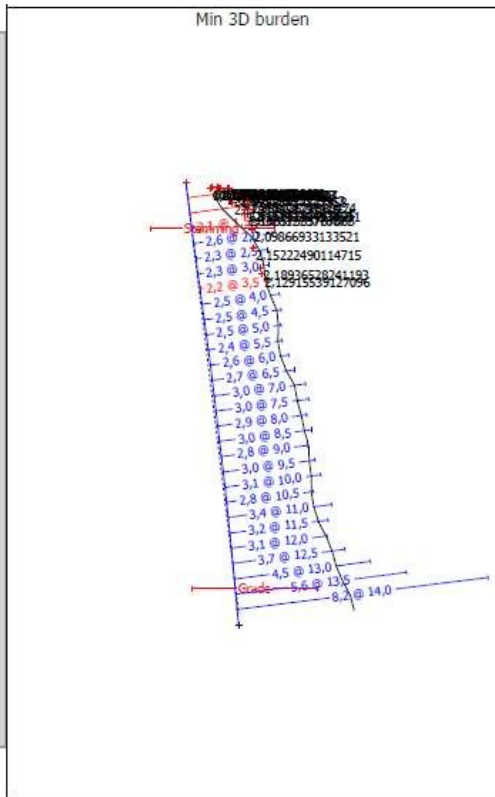


Figura 42 – Perfis do furo A9 da pedra de Tondela.

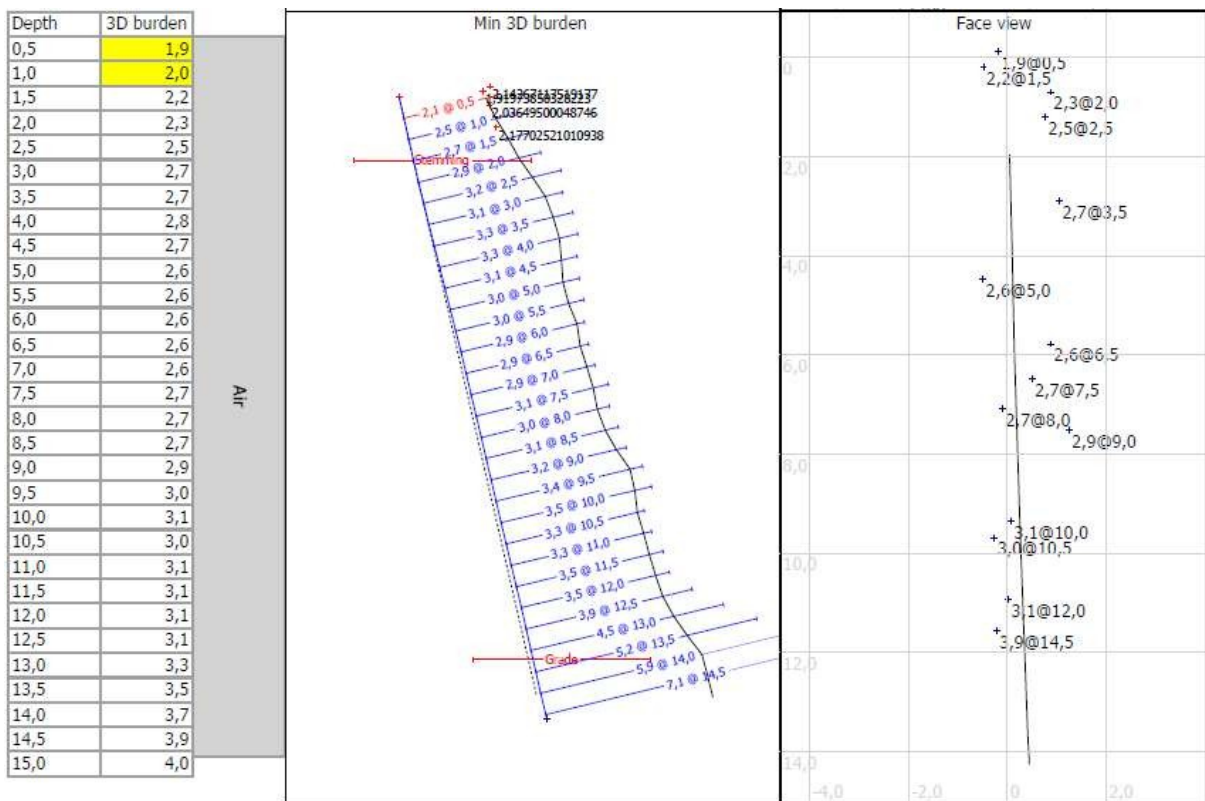
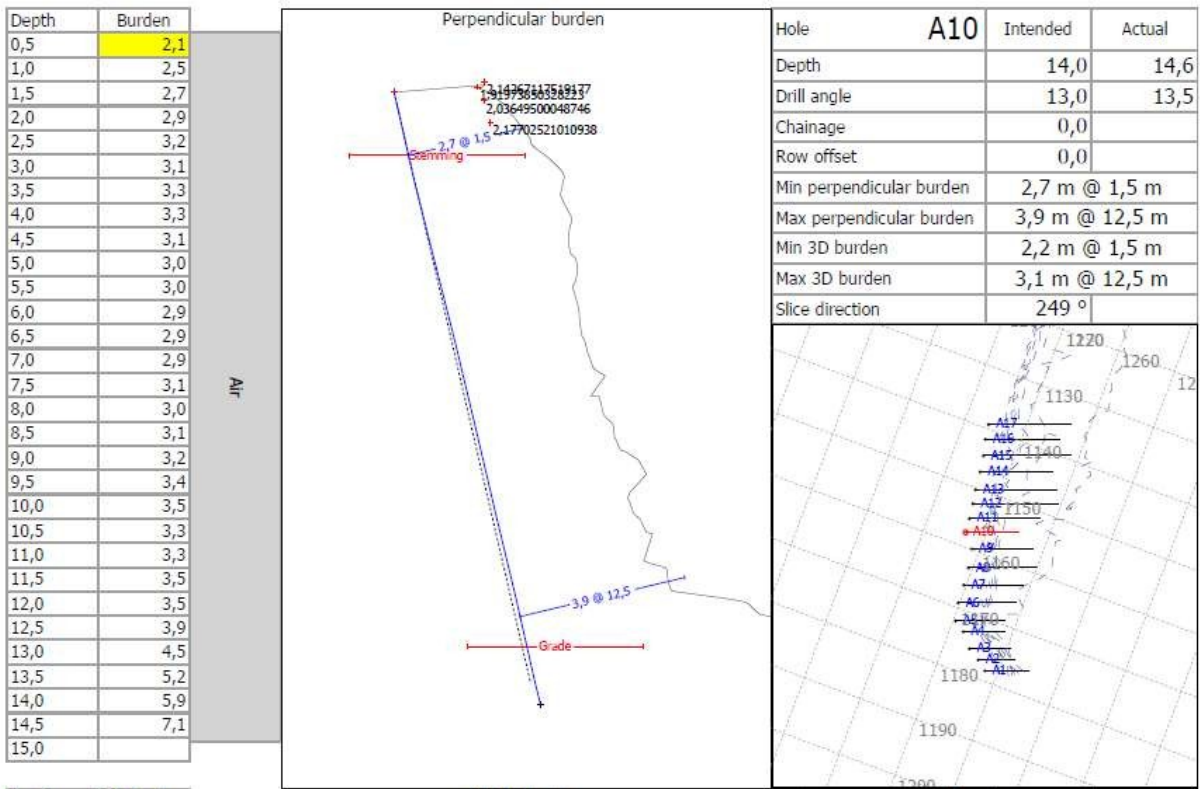
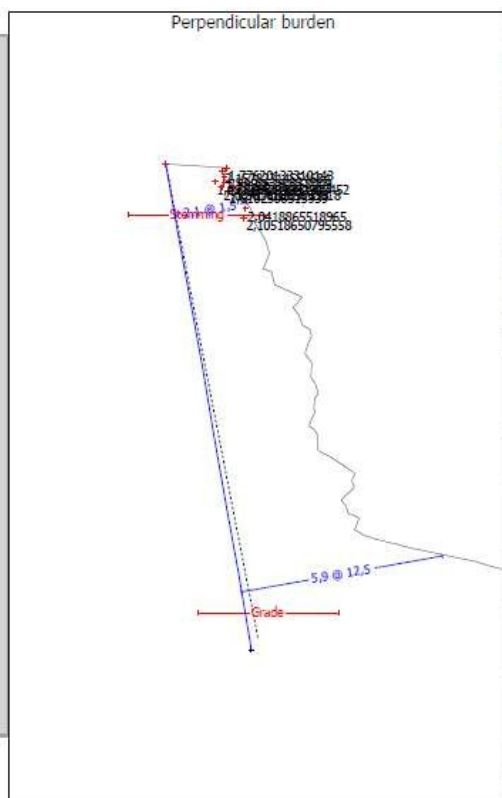


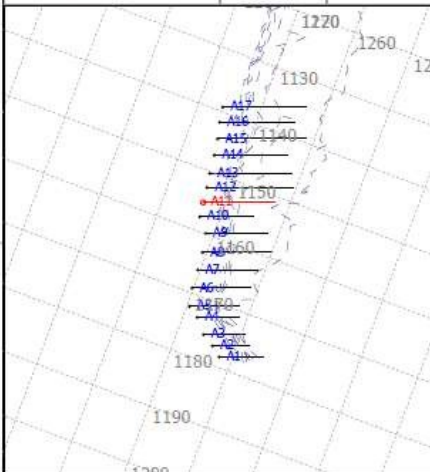
Figura 43 – Perfis do furo A10 da pedra de Tondela.

Depth	Burden
0,5	1,6
1,0	1,7
1,5	2,1
2,0	2,3
2,5	2,4
3,0	2,5
3,5	2,3
4,0	2,5
4,5	3,2
5,0	3,1
5,5	3,3
6,0	3,0
6,5	3,2
7,0	3,1
7,5	3,1
8,0	2,9
8,5	2,8
9,0	2,9
9,5	3,4
10,0	3,7
10,5	3,4
11,0	3,5
11,5	3,8
12,0	4,6
12,5	5,9
13,0	7,3
13,5	8,7
14,0	10,0
14,5	10,2

Air



Hole	A11	Intended	Actual
Depth		13,9	14,2
Drill angle		11,0	10,1
Chainage		0,0	
Row offset		0,0	
Min perpendicular burden		2,1 m @ 1,5 m	
Max perpendicular burden		5,9 m @ 12,5 m	
Min 3D burden		1,7 m @ 1,5 m	
Max 3D burden		3,7 m @ 12,5 m	
Slice direction		249 °	



Depth	3D burden
0,5	1,5
1,0	1,5
1,5	1,7
2,0	1,9
2,5	2,1
3,0	2,3
3,5	2,2
4,0	2,2
4,5	2,3
5,0	2,4
5,5	2,6
6,0	2,8
6,5	2,7
7,0	2,7
7,5	2,7
8,0	2,7
8,5	2,7
9,0	2,8
9,5	2,9
10,0	3,0
10,5	3,2
11,0	3,2
11,5	3,3
12,0	3,4
12,5	3,7
13,0	3,9
13,5	4,2
14,0	4,4
14,5	4,5

Air

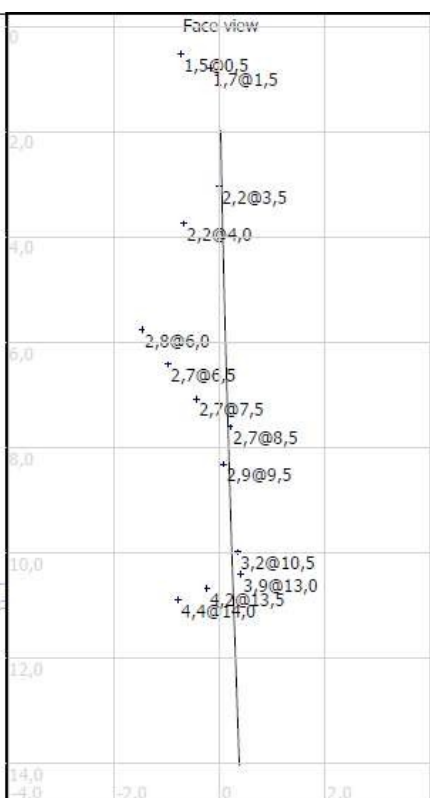
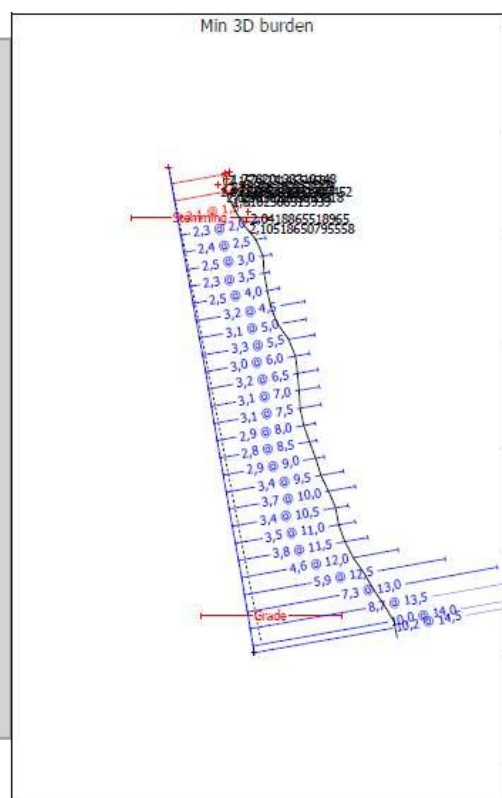
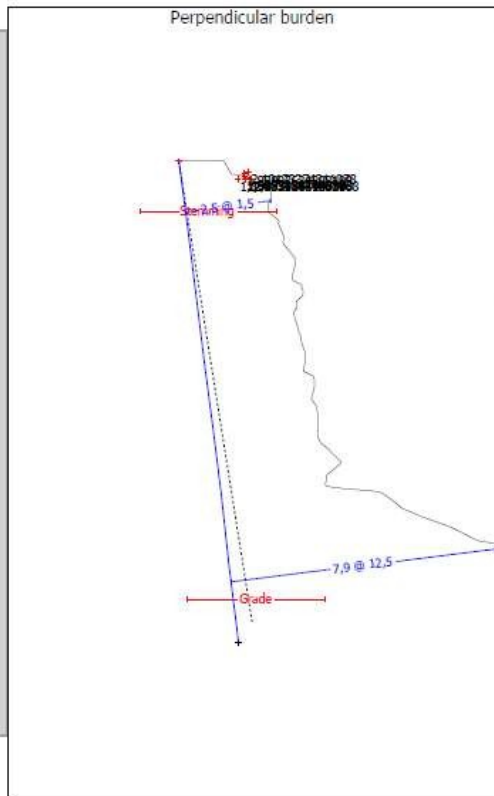


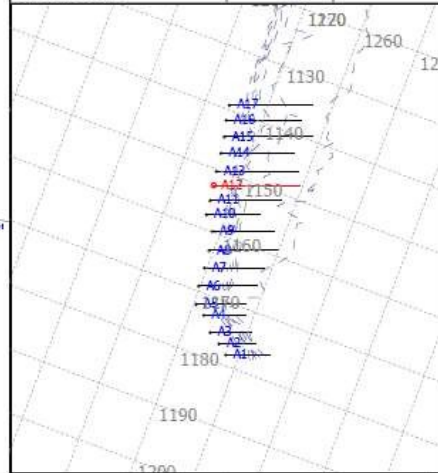
Figura 44 – Perfis do furo A11 da pedra de Tondela.

Depth	Burden
0,5	1,3
1,0	2,2
1,5	2,5
2,0	2,5
2,5	2,7
3,0	2,8
3,5	3,0
4,0	2,9
4,5	3,0
5,0	2,9
5,5	2,9
6,0	3,0
6,5	3,0
7,0	3,1
7,5	3,1
8,0	3,1
8,5	3,1
9,0	3,2
9,5	3,6
10,0	3,4
10,5	4,6
11,0	5,4
11,5	6,2
12,0	7,1
12,5	7,9
13,0	9,0
13,5	10,1
14,0	11,6
14,5	12,2

Alt



Hole	A12	Intended	Actual
Depth		13,8	14,3
Drill angle		9,0	7,2
Chainage		0,0	
Row offset		0,0	
Min perpendicular burden		2,5 m @ 1,5 m	
Max perpendicular burden		7,9 m @ 12,5 m	
Min 3D burden		2,0 m @ 1,5 m	
Max 3D burden		3,9 m @ 12,5 m	
Slice direction		249 °	



Depth	3D burden
0,5	1,9
1,0	1,9
1,5	2,0
2,0	2,2
2,5	2,4
3,0	2,6
3,5	2,7
4,0	2,7
4,5	2,6
5,0	2,6
5,5	2,6
6,0	2,8
6,5	2,7
7,0	2,7
7,5	2,8
8,0	2,8
8,5	2,8
9,0	2,9
9,5	3,1
10,0	3,0
10,5	3,1
11,0	3,2
11,5	3,4
12,0	3,6
12,5	3,9
13,0	4,3
13,5	4,6
14,0	5,0
14,5	5,2

Alt

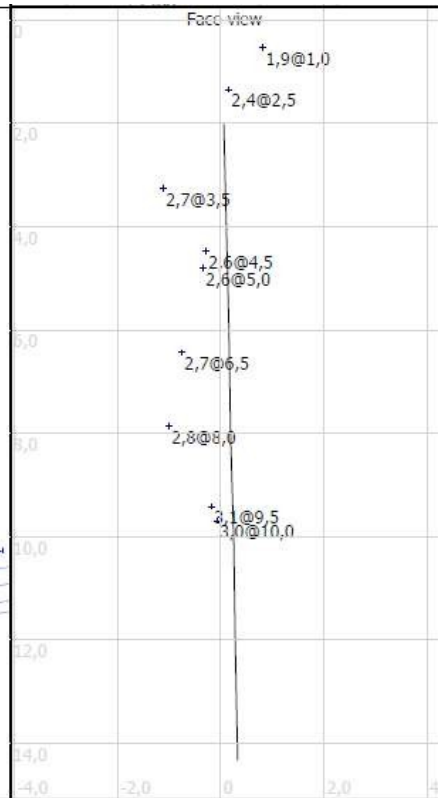
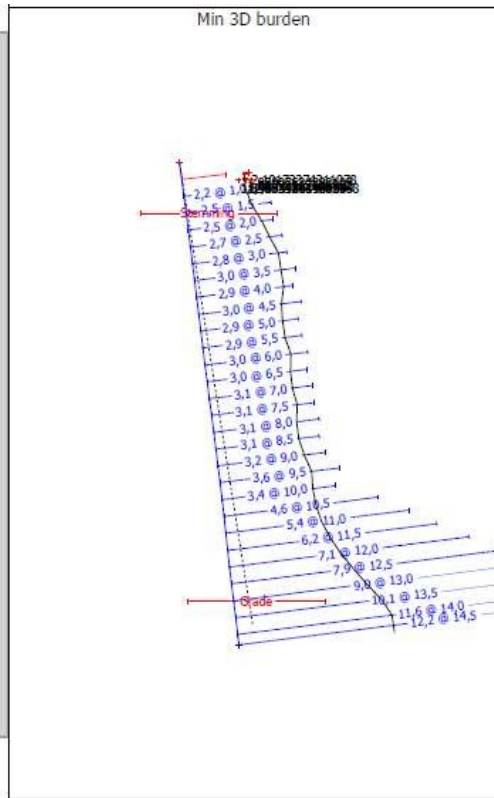
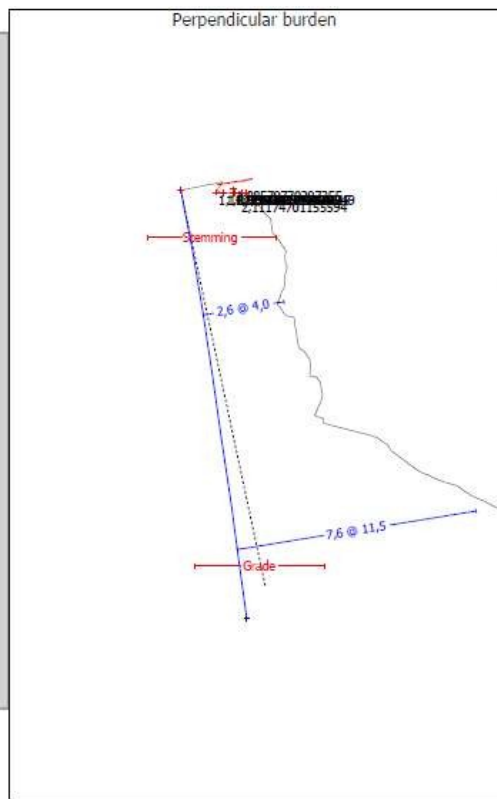


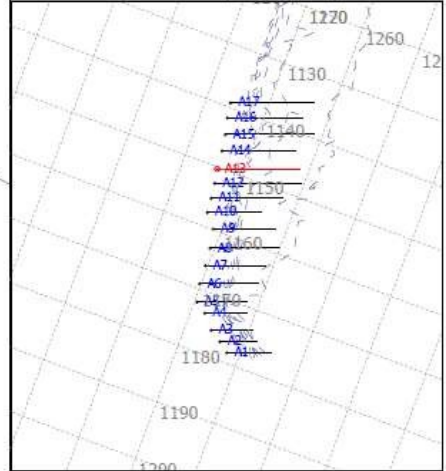
Figura 45 – Perfis do furo A12 da pedra de Tondela.

Depth	Burden
0,5	1,6
1,0	2,3
1,5	2,6
2,0	2,7
2,5	3,0
3,0	2,7
3,5	2,7
4,0	2,6
4,5	2,6
5,0	2,8
5,5	3,0
6,0	3,0
6,5	3,3
7,0	3,5
7,5	3,2
8,0	3,4
8,5	4,1
9,0	4,6
9,5	5,1
10,0	6,0
10,5	6,8
11,0	7,2
11,5	7,6
12,0	8,1
12,5	9,3
13,0	10,5
13,5	12,2
14,0	12,6

Alt



Hole	A13	Intended	Actual
Depth		12,8	13,7
Drill angle		12,0	9,2
Chainage		0,0	
Row offset		0,0	
Min perpendicular burden		2,6 m @ 4,0 m	
Max perpendicular burden		7,6 m @ 11,5 m	
Min 3D burden		1,6 m @ 1,5 m	
Max 3D burden		4,6 m @ 11,5 m	
Slice direction		249 °	



Depth	3D burden
0,5	1,1
1,0	1,3
1,5	1,6
2,0	2,0
2,5	2,4
3,0	2,4
3,5	2,4
4,0	2,4
4,5	2,4
5,0	2,6
5,5	2,7
6,0	2,8
6,5	2,9
7,0	3,1
7,5	3,0
8,0	3,0
8,5	3,1
9,0	3,3
9,5	3,5
10,0	3,8
10,5	4,1
11,0	4,4
11,5	4,6
12,0	4,9
12,5	5,3
13,0	
13,5	
14,0	

Alt

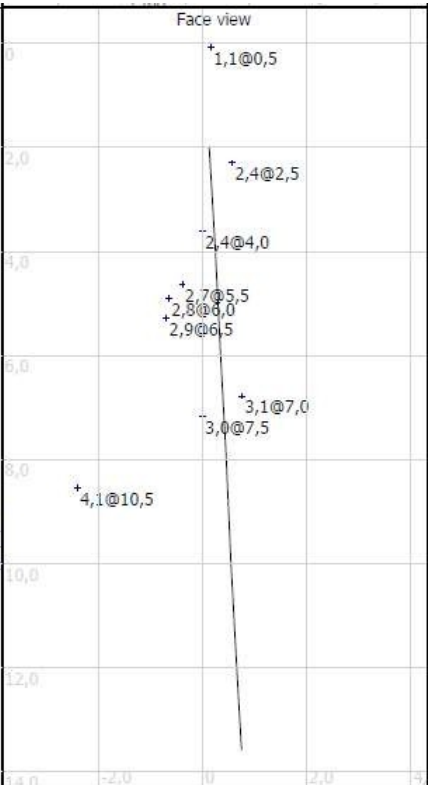
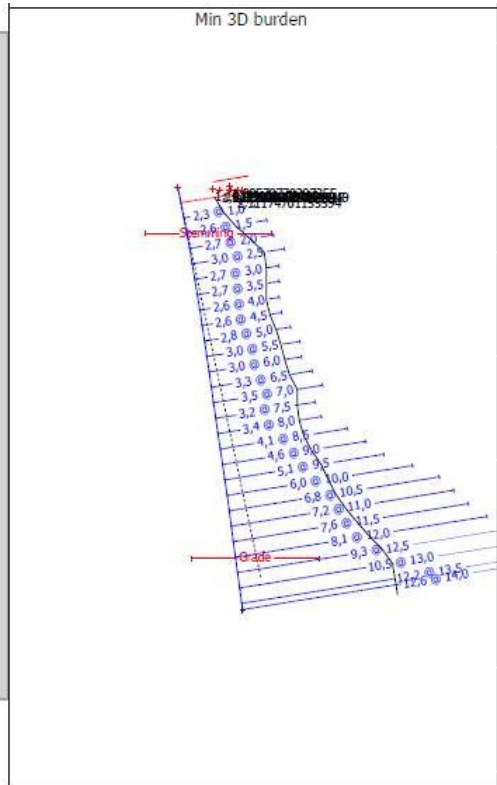
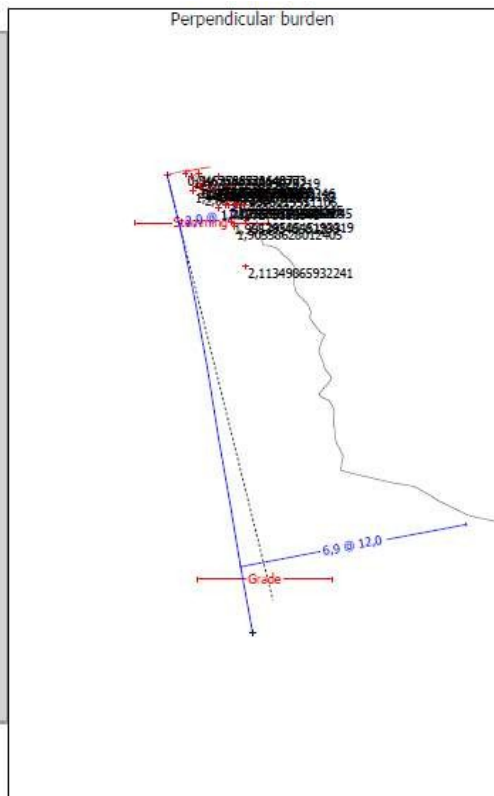


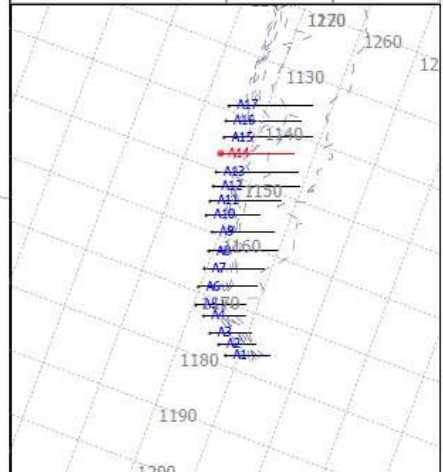
Figura 46 – Perfis do furo A13 da pedra de Tondela.

Depth	Burden
0,5	1,0
1,0	1,7
1,5	2,0
2,0	2,3
2,5	2,4
3,0	2,8
3,5	3,2
4,0	3,2
4,5	3,2
5,0	3,5
5,5	3,5
6,0	3,6
6,5	3,5
7,0	3,5
7,5	3,3
8,0	3,4
8,5	3,4
9,0	3,5
9,5	3,6
10,0	3,9
10,5	4,7
11,0	5,7
11,5	6,3
12,0	6,9
12,5	7,8
13,0	8,9
13,5	9,7
14,0	10,5

Air



Hole	A14	Intended	Actual
Depth		13,2	14,0
Drill angle		14,0	10,6
Chainage		0,0	
Row offset		0,0	
Min perpendicular burden		2,0 m @ 1,5 m	
Max perpendicular burden		6,9 m @ 12,0 m	
Min 3D burden		1,3 m @ 1,5 m	
Max 3D burden		4,2 m @ 12,0 m	
Slice direction		249 °	



Depth	3D burden
0,5	0,9
1,0	1,0
1,5	1,3
2,0	1,7
2,5	1,9
3,0	2,0
3,5	2,1
4,0	2,2
4,5	2,3
5,0	2,4
5,5	2,6
6,0	2,7
6,5	2,7
7,0	2,9
7,5	3,0
8,0	3,1
8,5	3,2
9,0	3,3
9,5	3,4
10,0	3,5
10,5	3,5
11,0	3,7
11,5	3,9
12,0	4,2
12,5	4,5
13,0	4,8
13,5	5,2
14,0	

Air

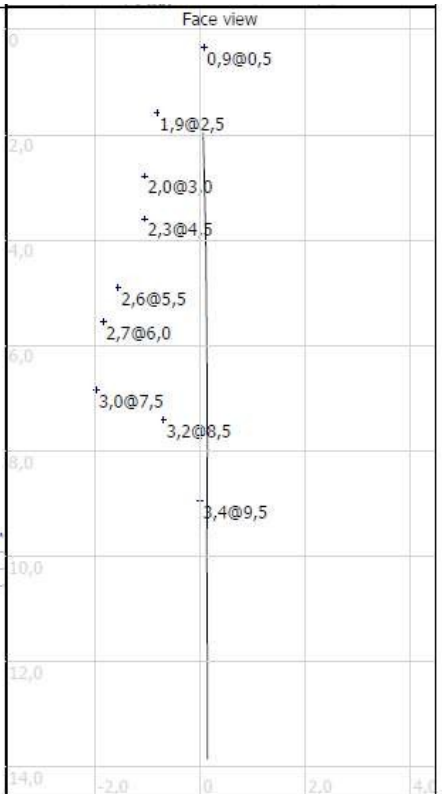
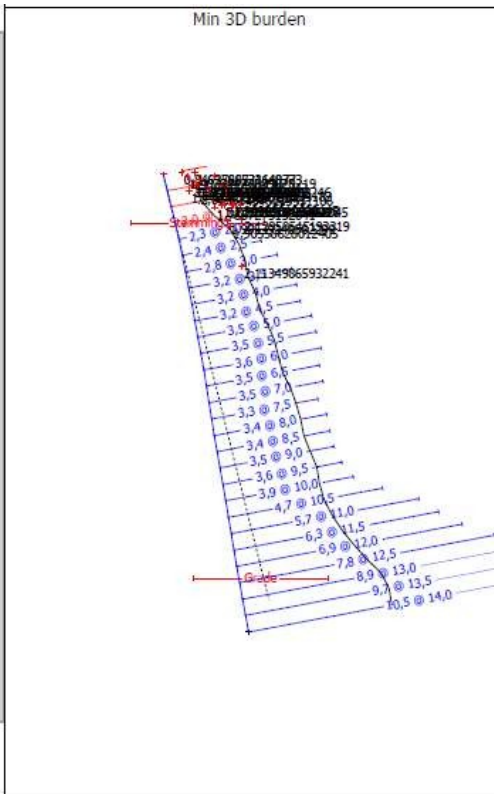
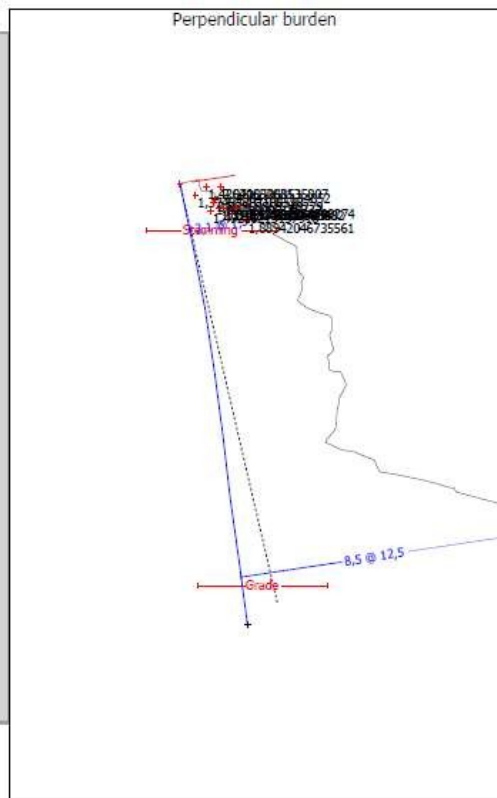


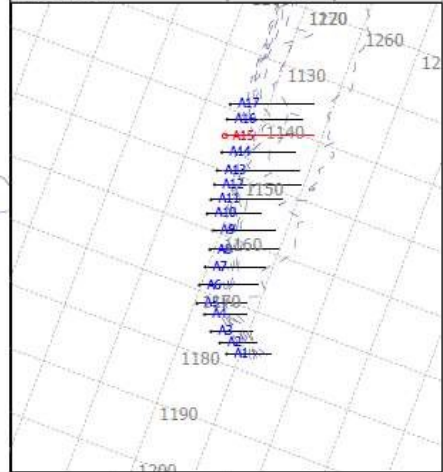
Figura 47 – Perfis do furo A14 da pedra de Tondela.

Depth	Burden
0,5	0,9
1,0	1,3
1,5	2,1
2,0	2,6
2,5	2,9
3,0	3,1
3,5	3,1
4,0	3,1
4,5	3,0
5,0	3,7
5,5	3,8
6,0	3,7
6,5	3,6
7,0	4,0
7,5	3,8
8,0	3,7
8,5	3,6
9,0	3,3
9,5	4,2
10,0	4,8
10,5	5,4
11,0	6,5
11,5	7,3
12,0	8,2
12,5	8,5
13,0	9,0
13,5	9,9
14,0	11,3

Alt



Hole	A15	Intended	Actual
Depth		13,6	14,0
Drill angle		13,0	8,6
Chainage		0,0	
Row offset		0,0	
Min perpendicular burden		2,1 m @ 1,5 m	
Max perpendicular burden		8,5 m @ 12,5 m	
Min 3D burden		1,3 m @ 1,5 m	
Max 3D burden		4,4 m @ 12,5 m	
Slice direction		249 °	



Depth	3D burden
0,5	1,1
1,0	1,1
1,5	1,3
2,0	1,6
2,5	2,0
3,0	2,3
3,5	2,6
4,0	2,8
4,5	2,9
5,0	3,0
5,5	3,2
6,0	3,3
6,5	3,3
7,0	3,4
7,5	3,3
8,0	3,2
8,5	3,1
9,0	3,1
9,5	3,2
10,0	3,4
10,5	3,5
11,0	3,6
11,5	3,8
12,0	4,1
12,5	4,4
13,0	4,7
13,5	5,1
14,0	

Alt

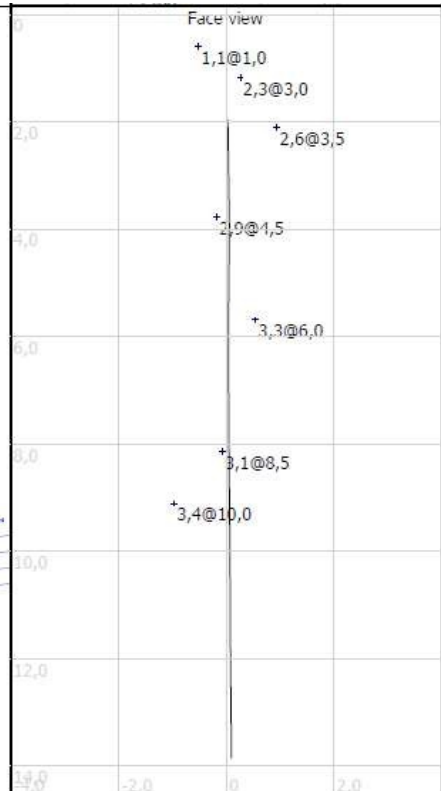
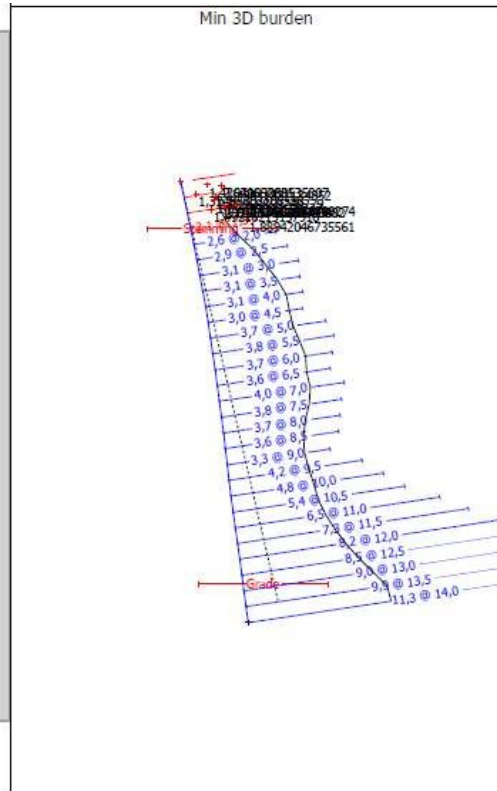


Figura 48 – Perfis do furo A15 da pedra de Tondela.

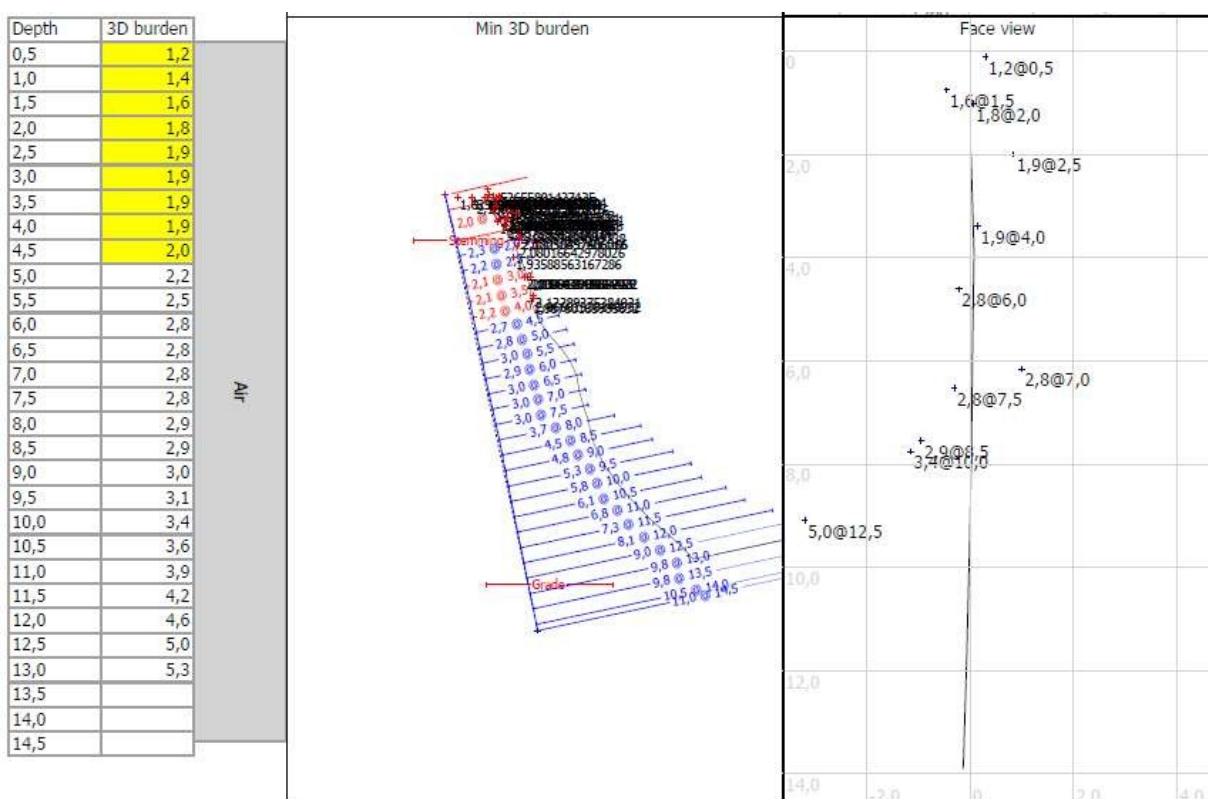
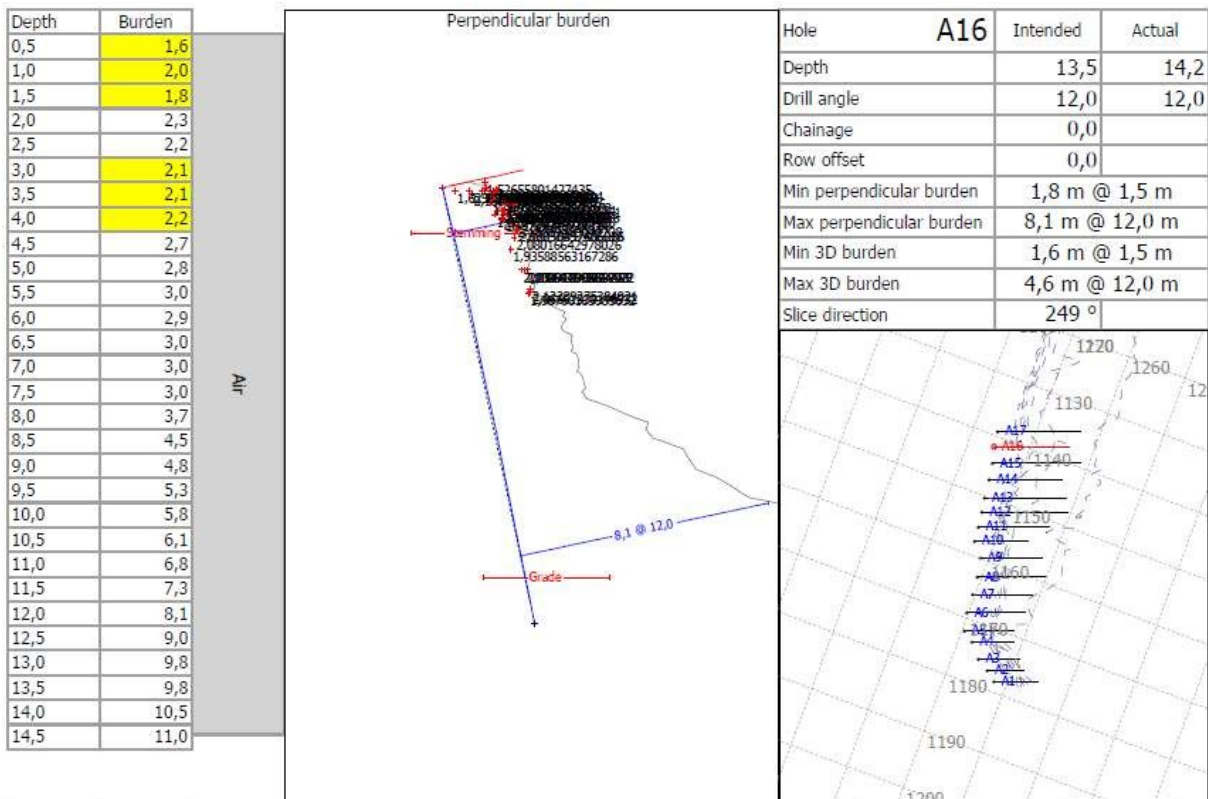


Figura 49 – Perfis do furo A16 da pedra de Tondela.

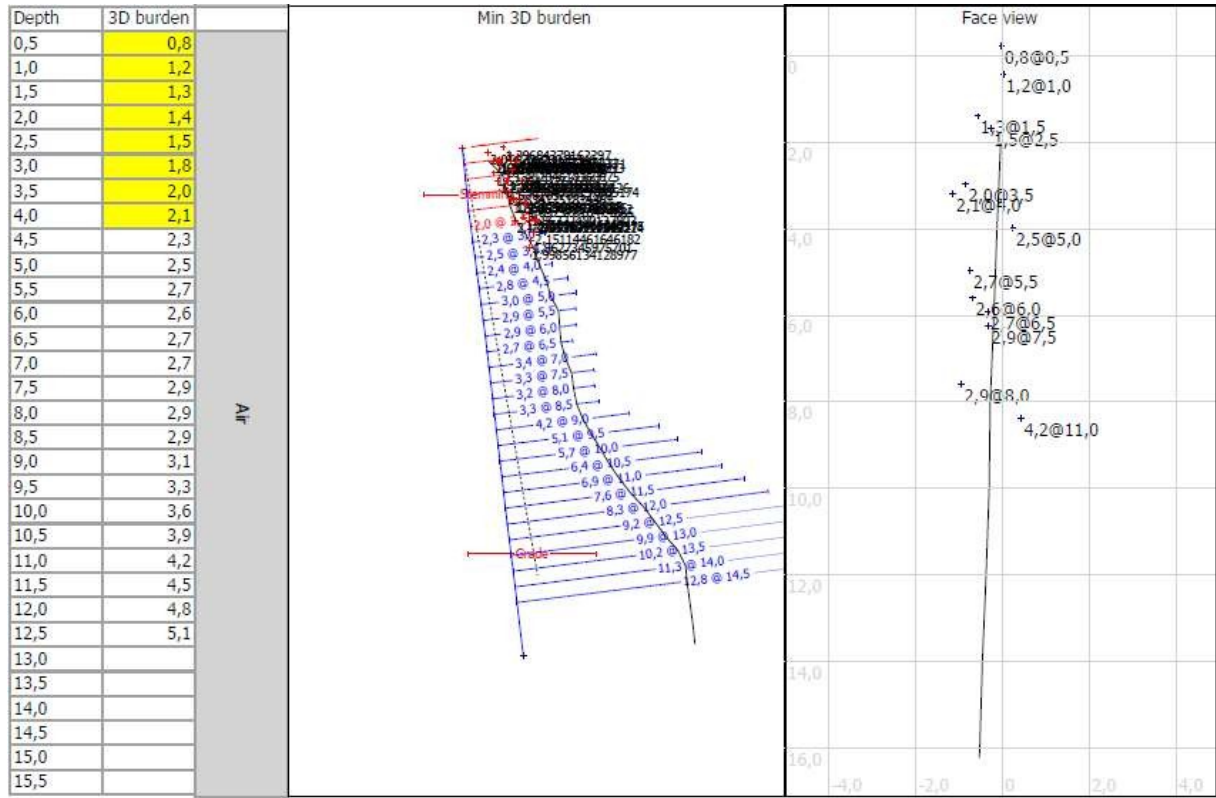
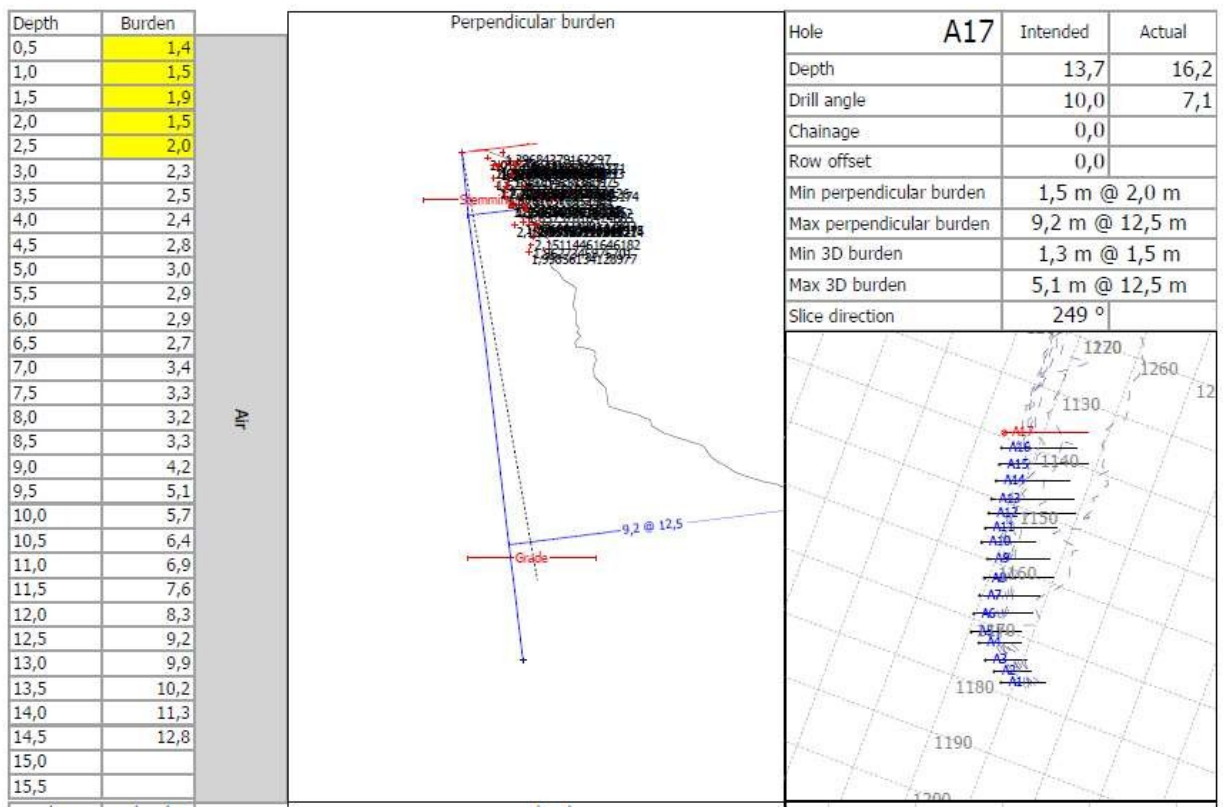


Figura 50 – Perfis do furo A17 da pedra de Tondela.

Anexo 4 - Resultados do Laser e Boretrak da Pedreira de Santo Tirso.

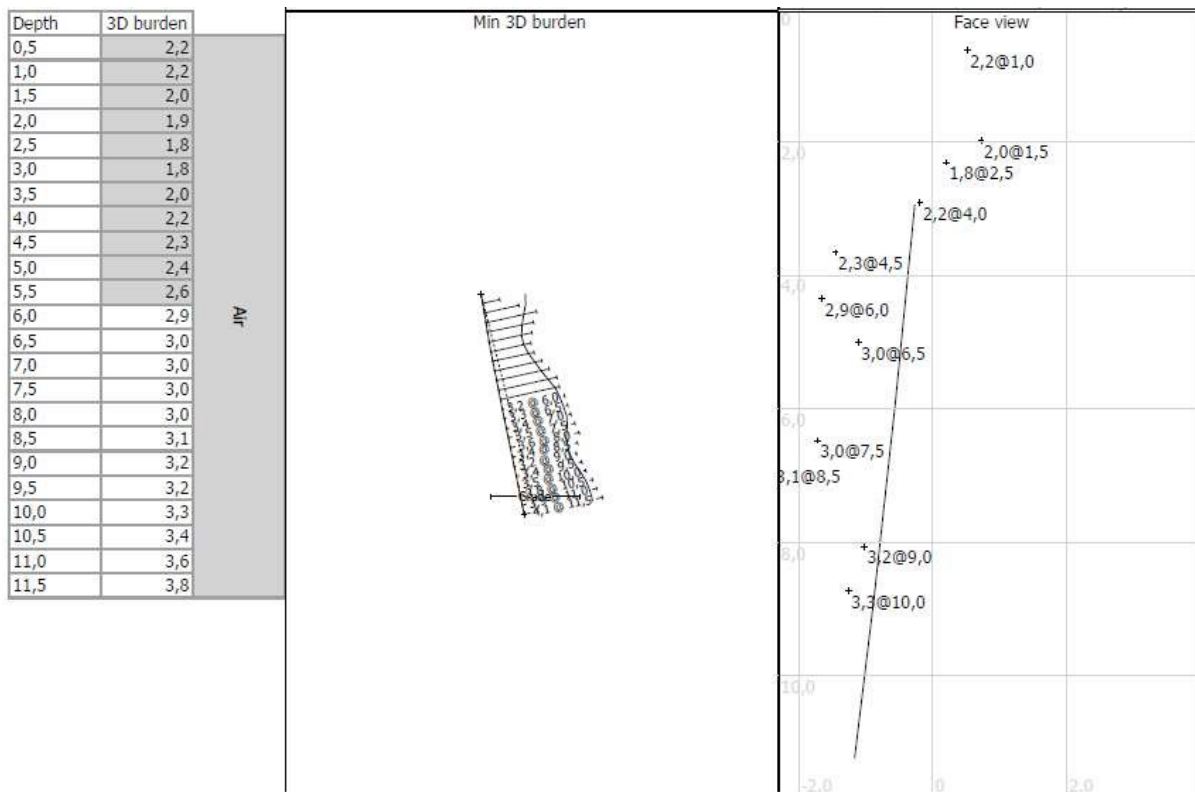
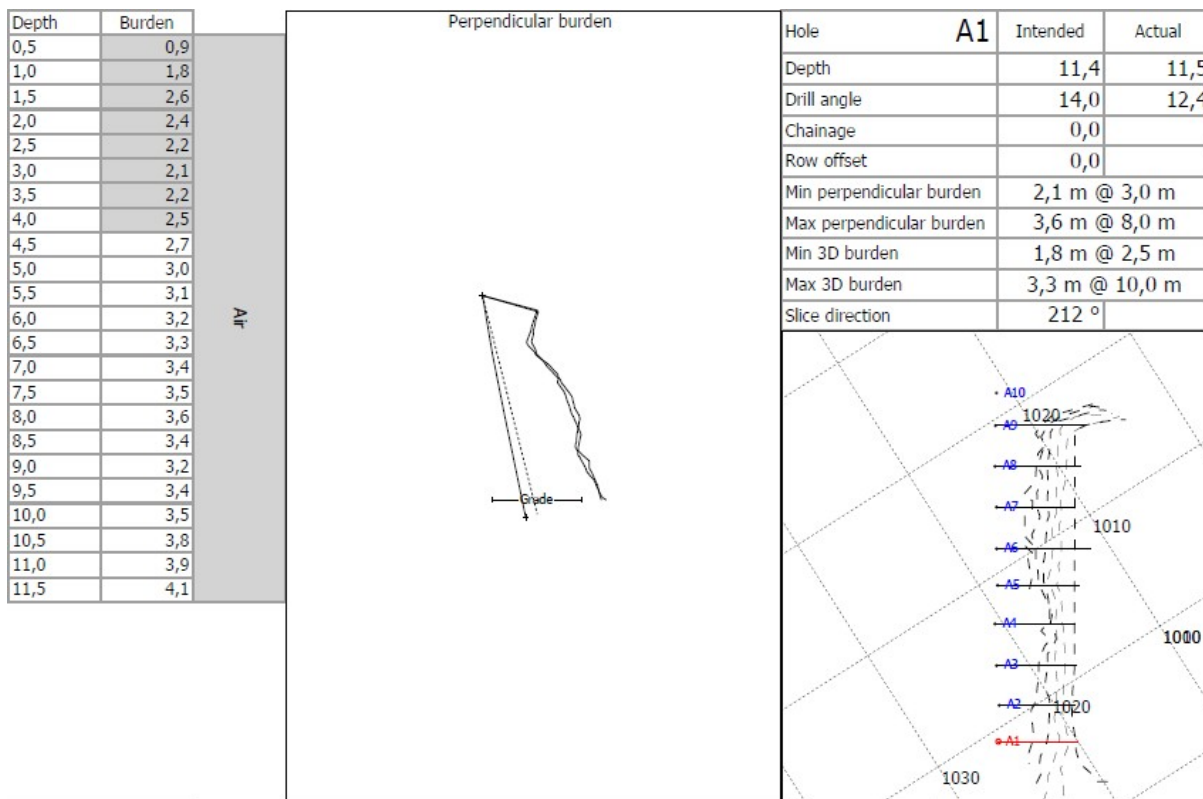


Figura 51 – Perfis do furo A1 da pedreira de Santo Tirso.

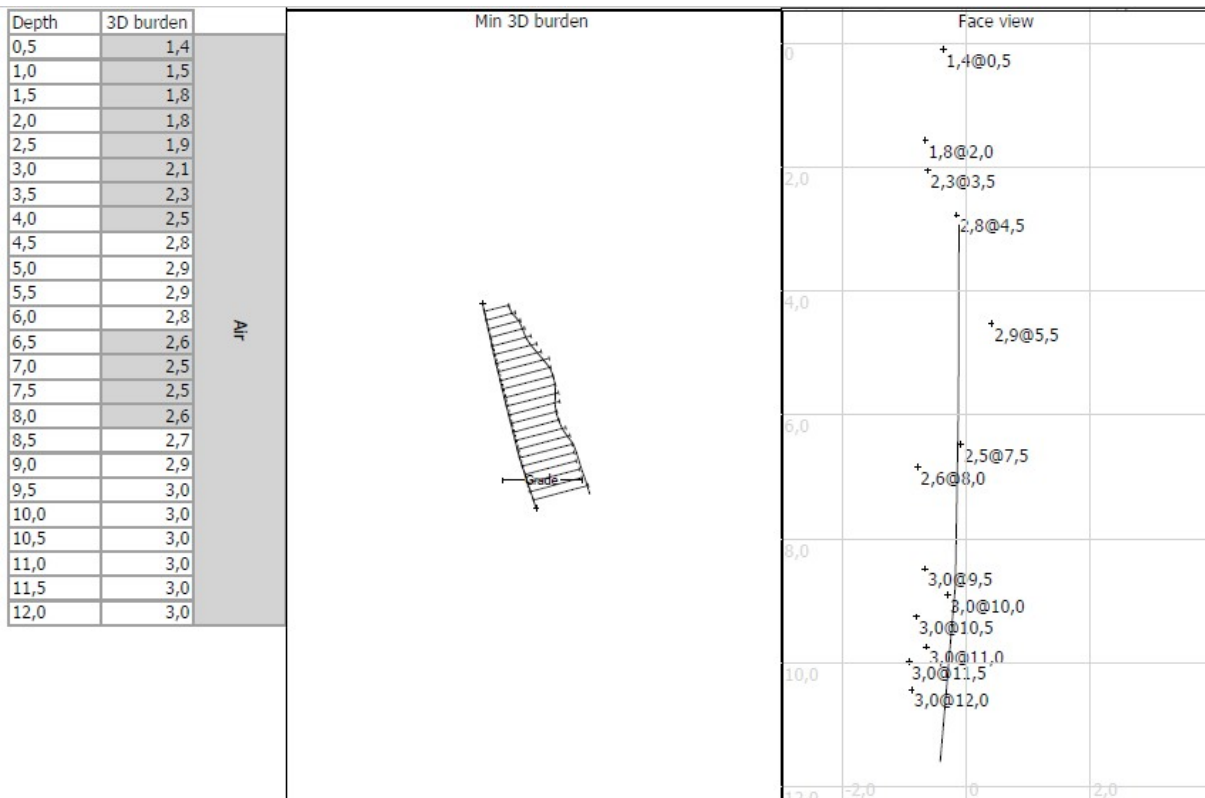
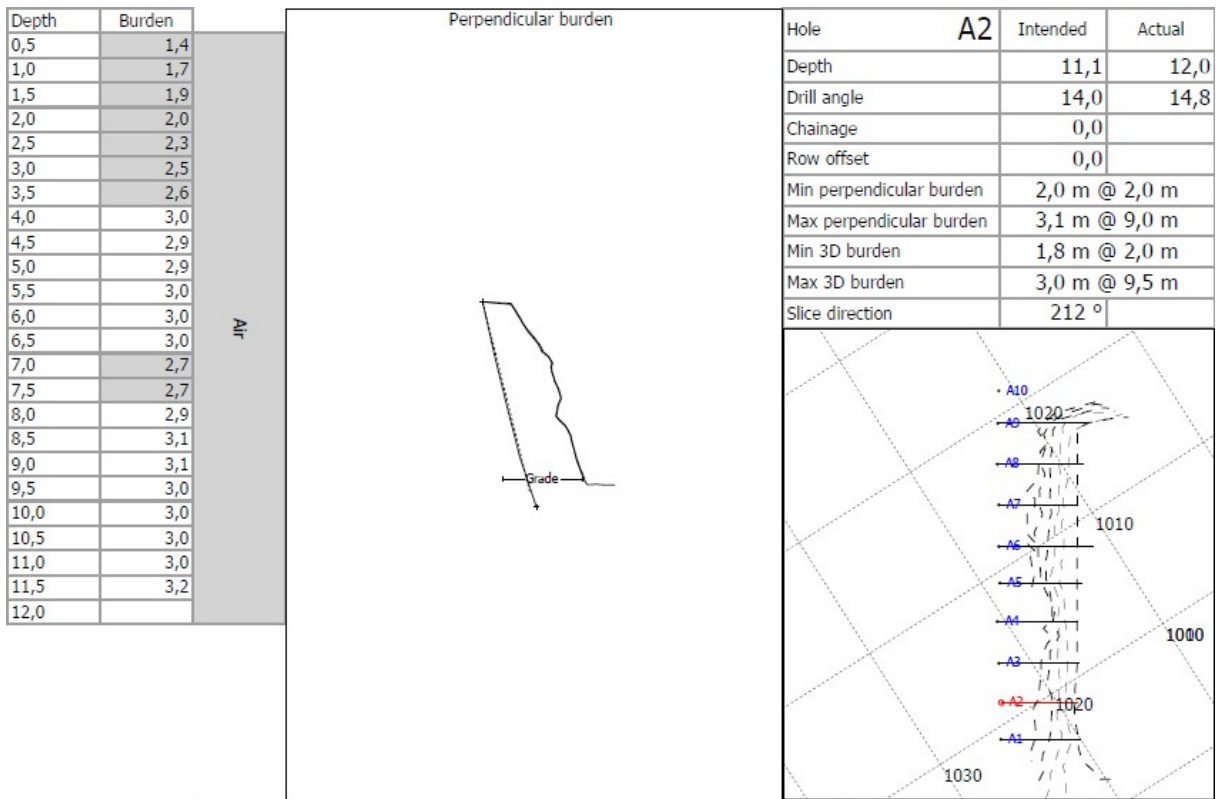


Figura 52 – Perfis do furo A2 da pedra de Santo Tirso.

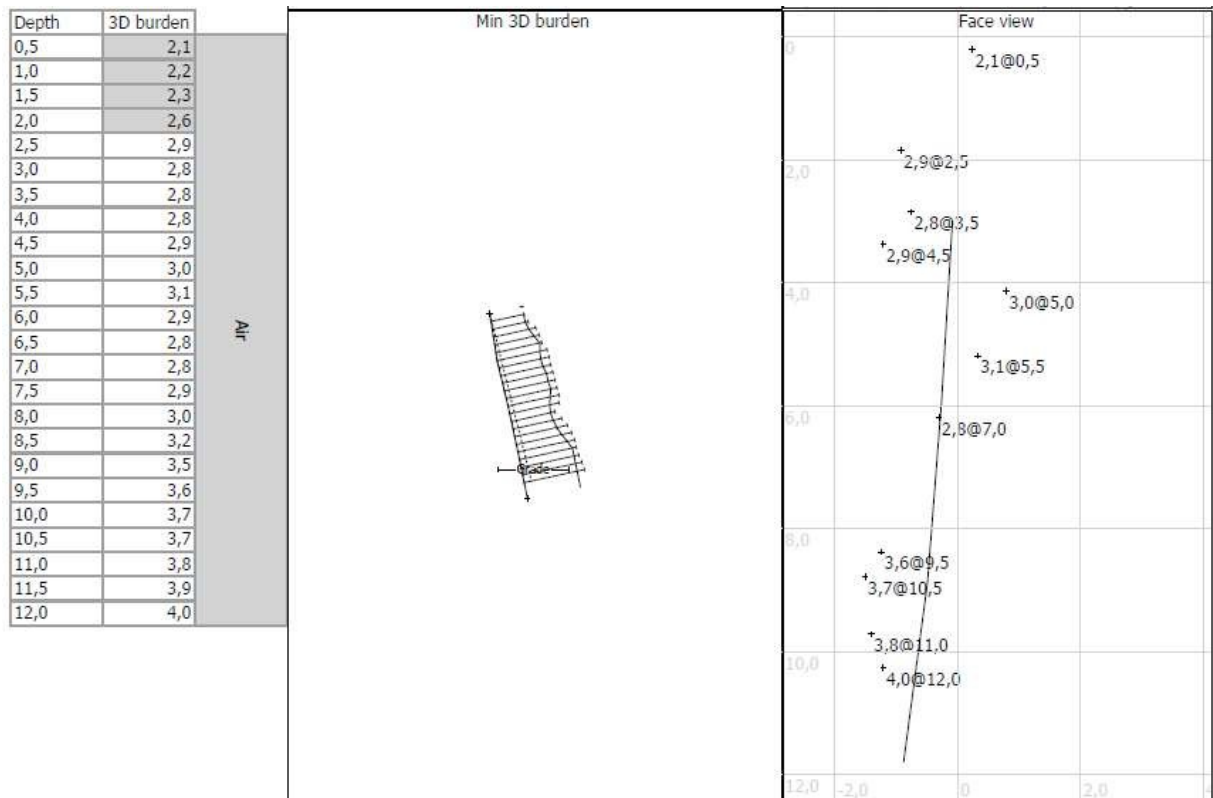
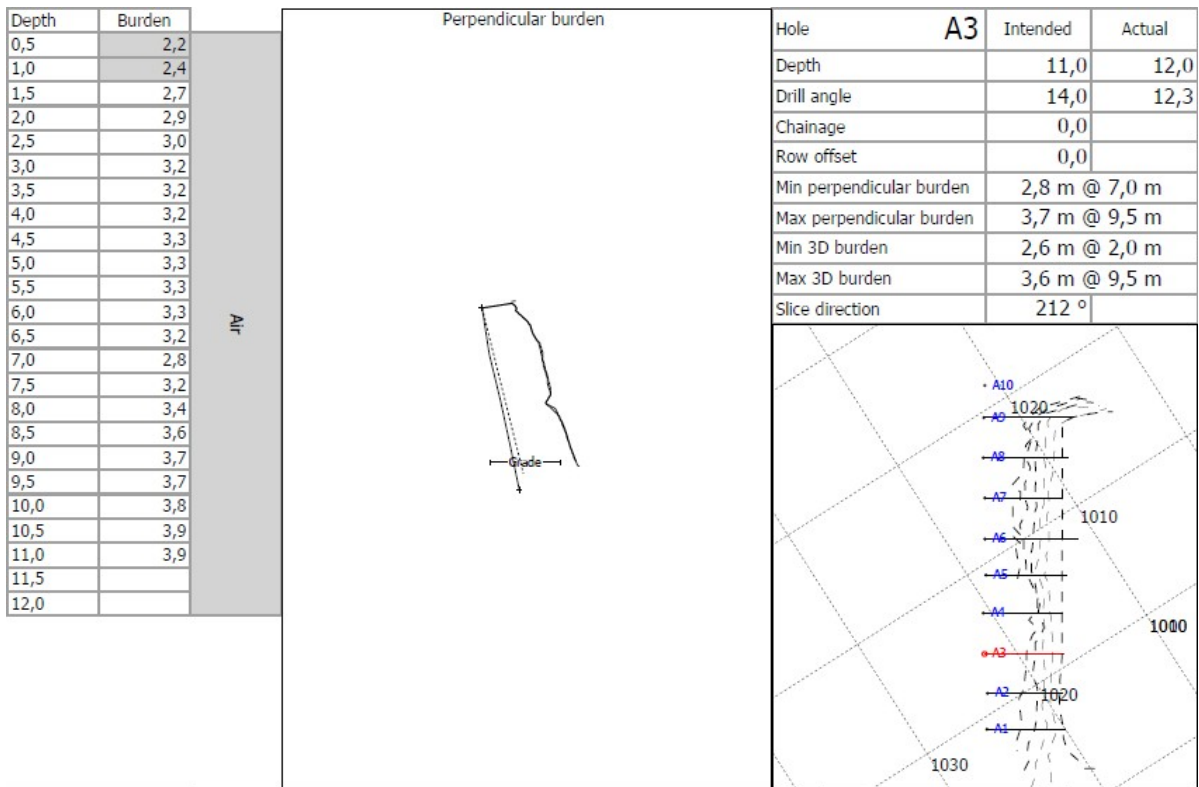


Figura 53 – Perfis do furo A3 da pedra de Santo Tirso.

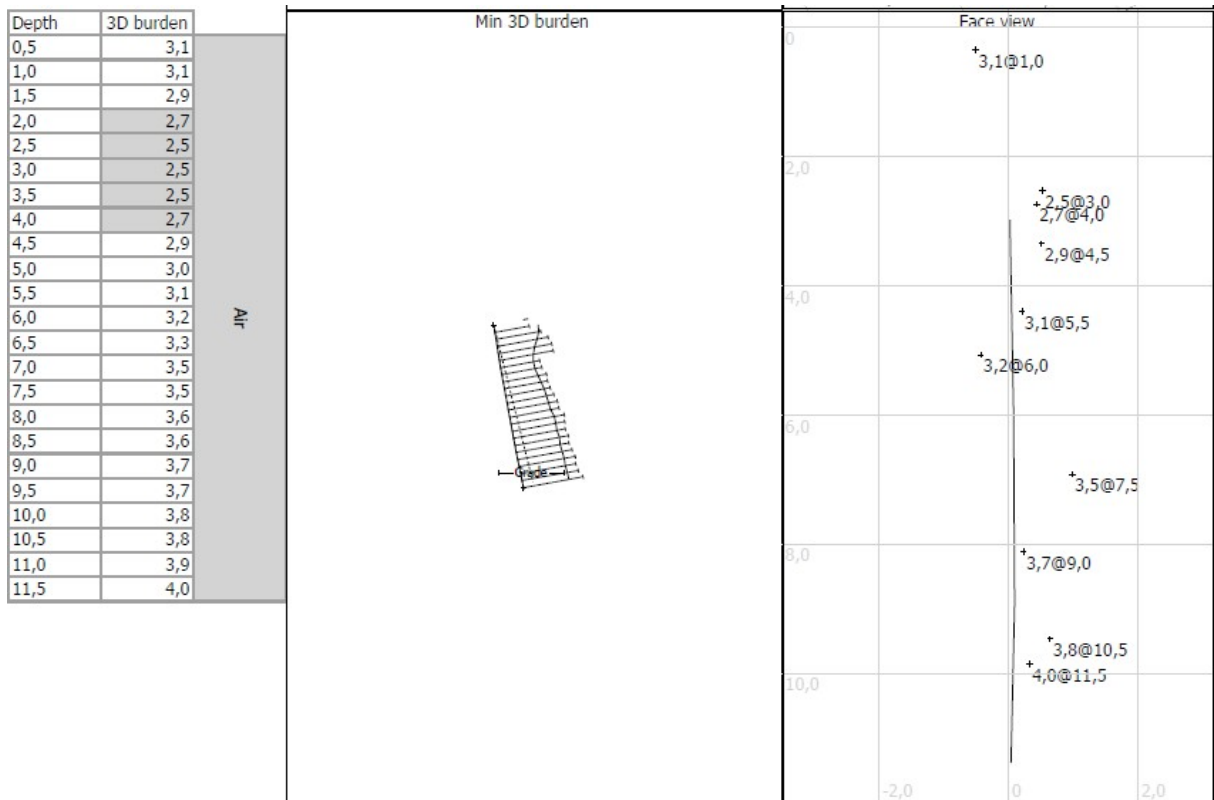
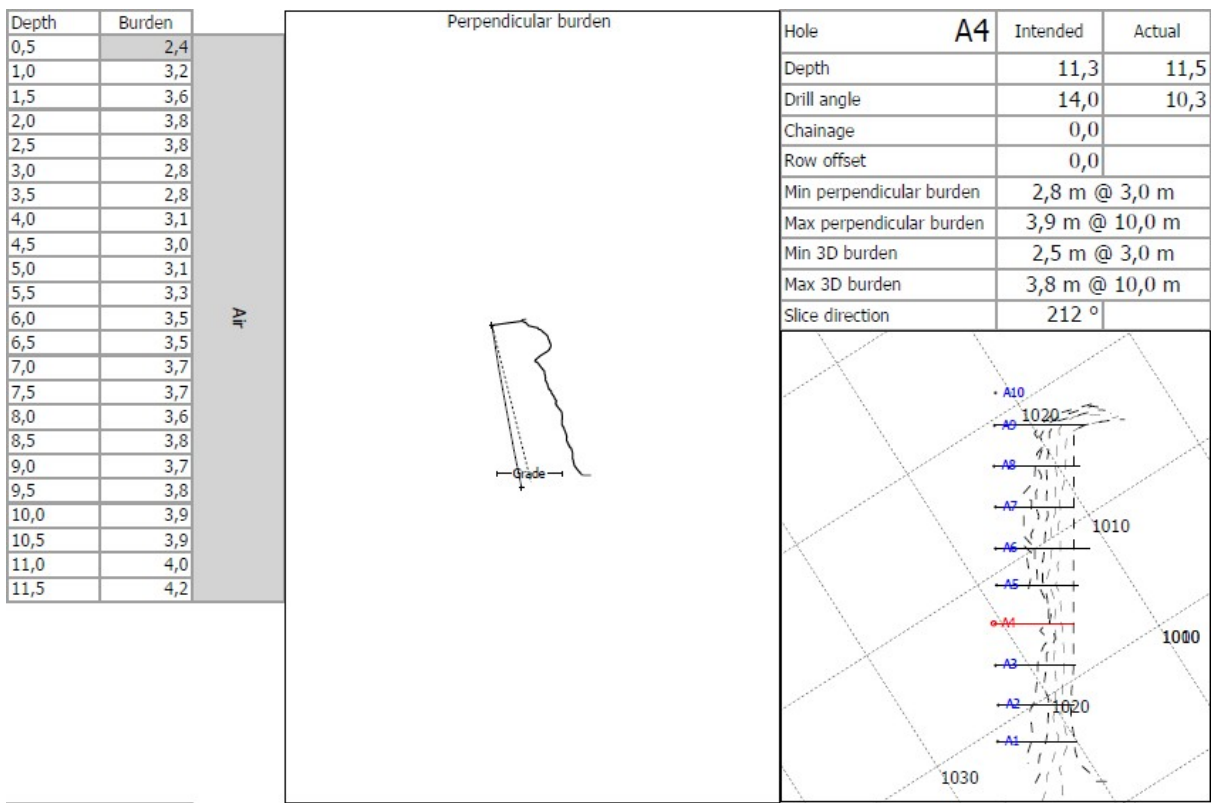


Figura 54 – Perfis do furo A4 da pedra de Santo Tirso.

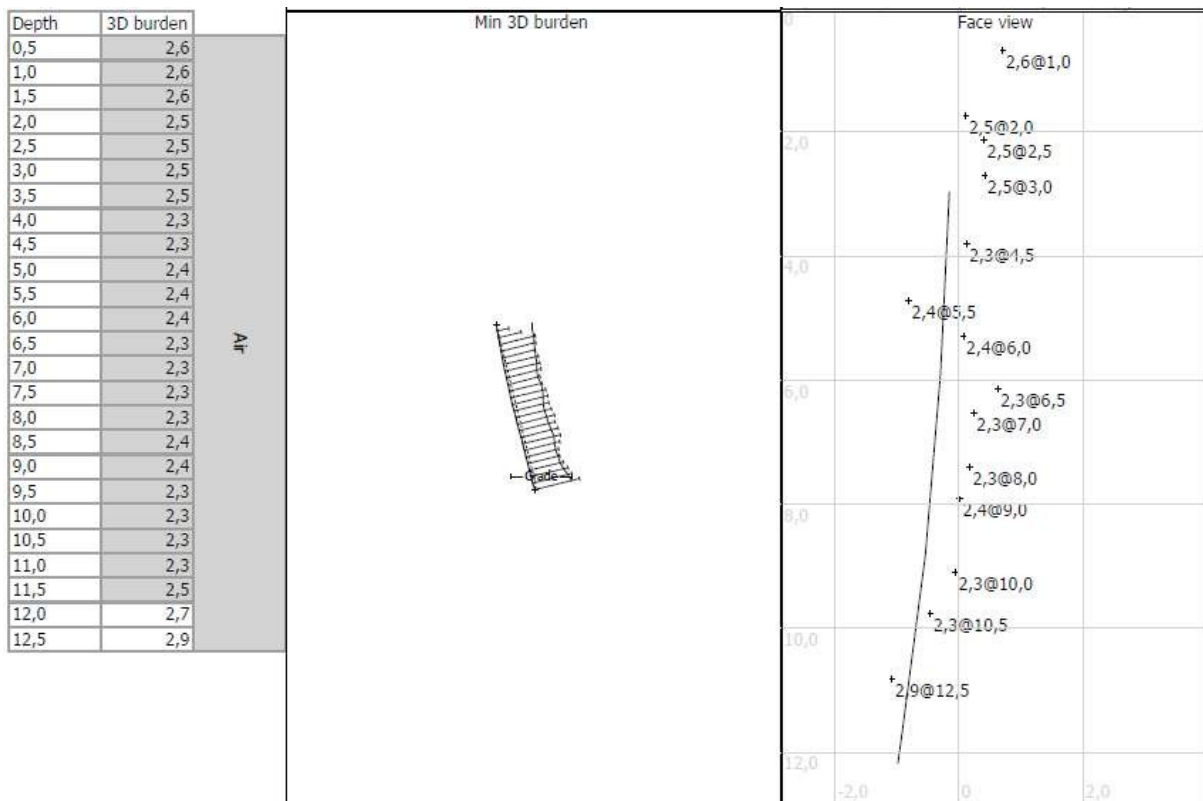
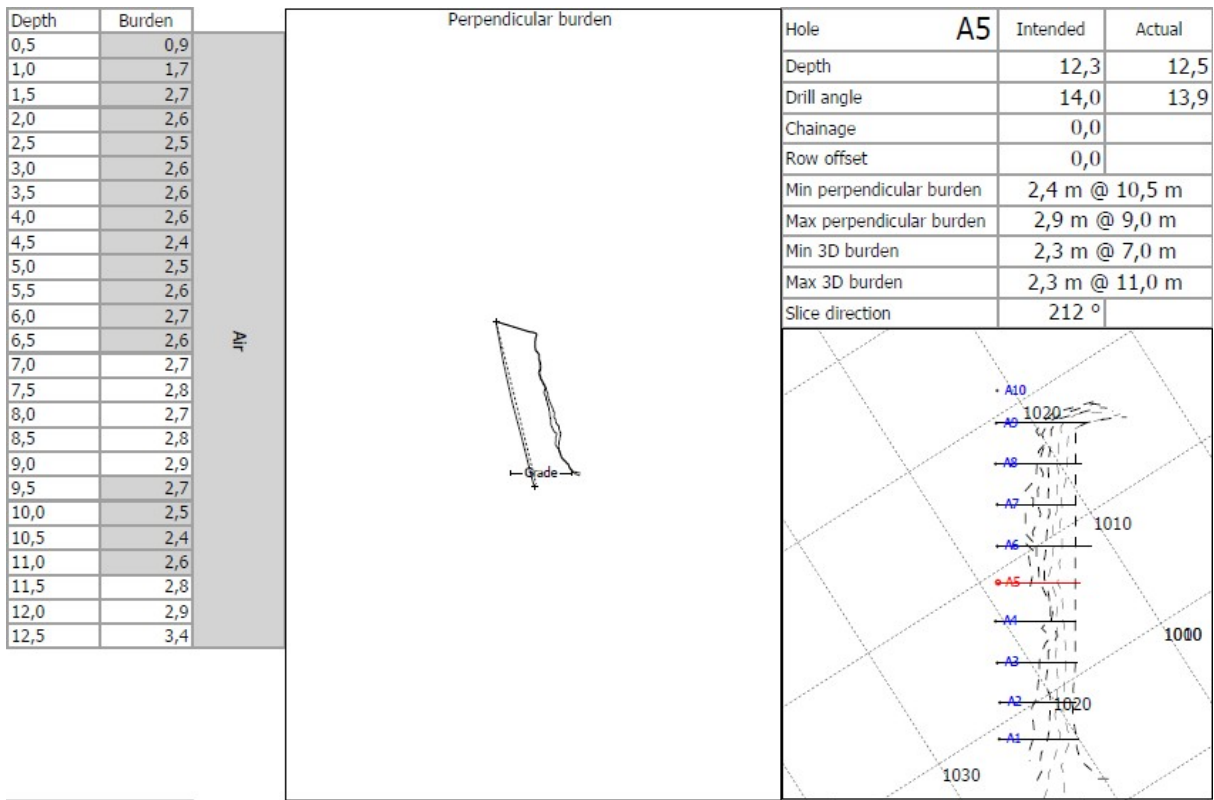


Figura 55 – Perfis do furo A5 da pedra de Santo Tirso.

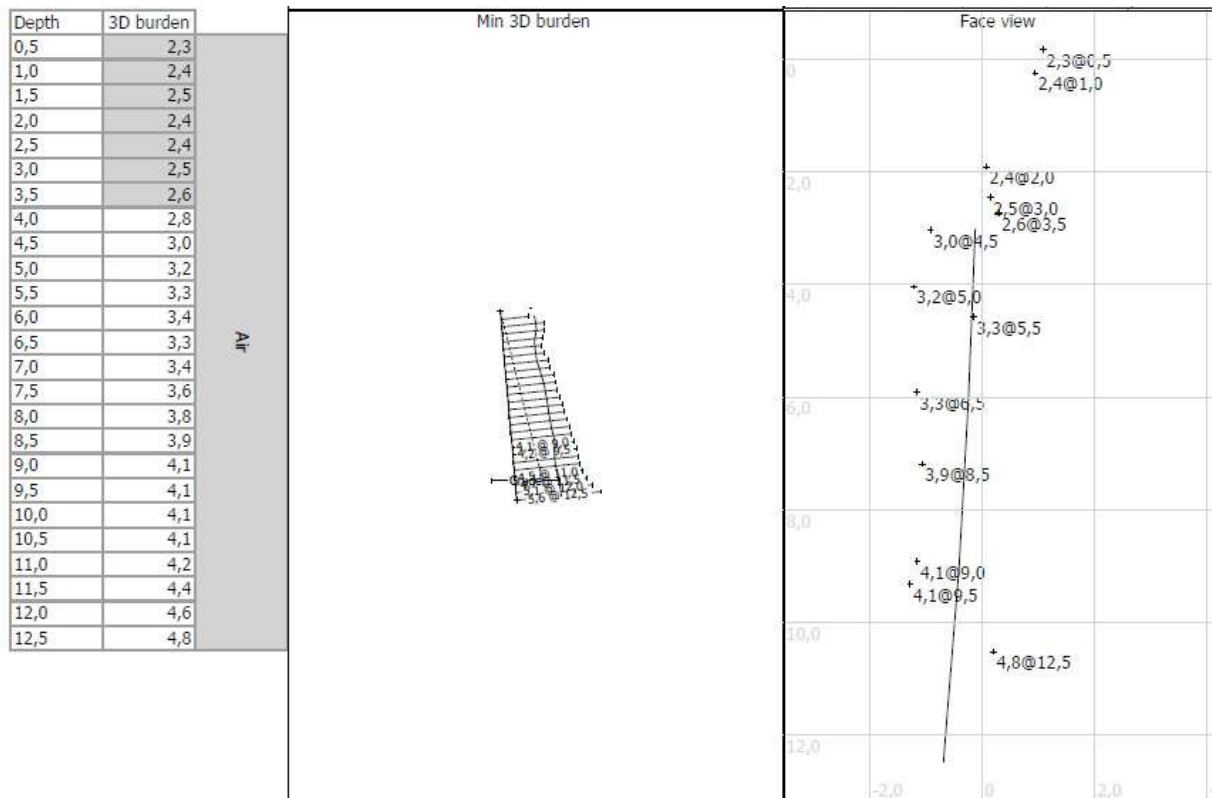
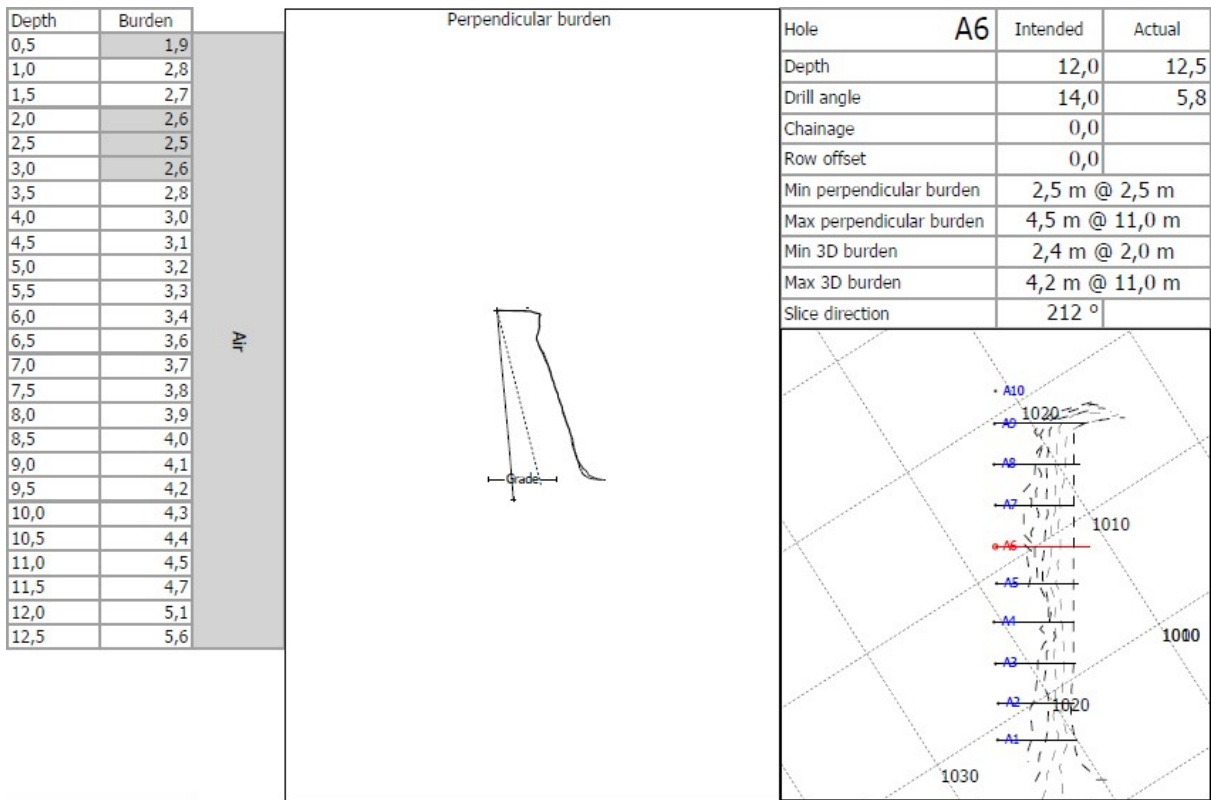


Figura 56 – Perfis do furo A6 da pedra de Santo Tirso.

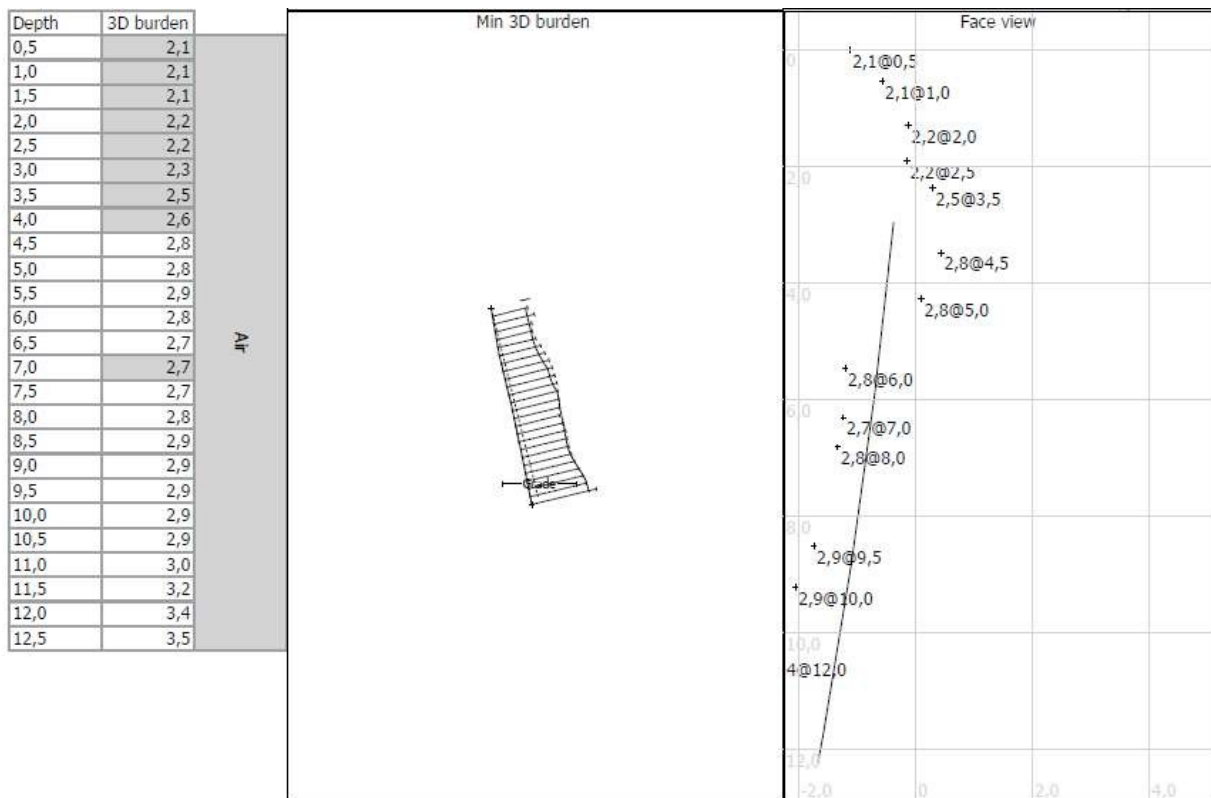
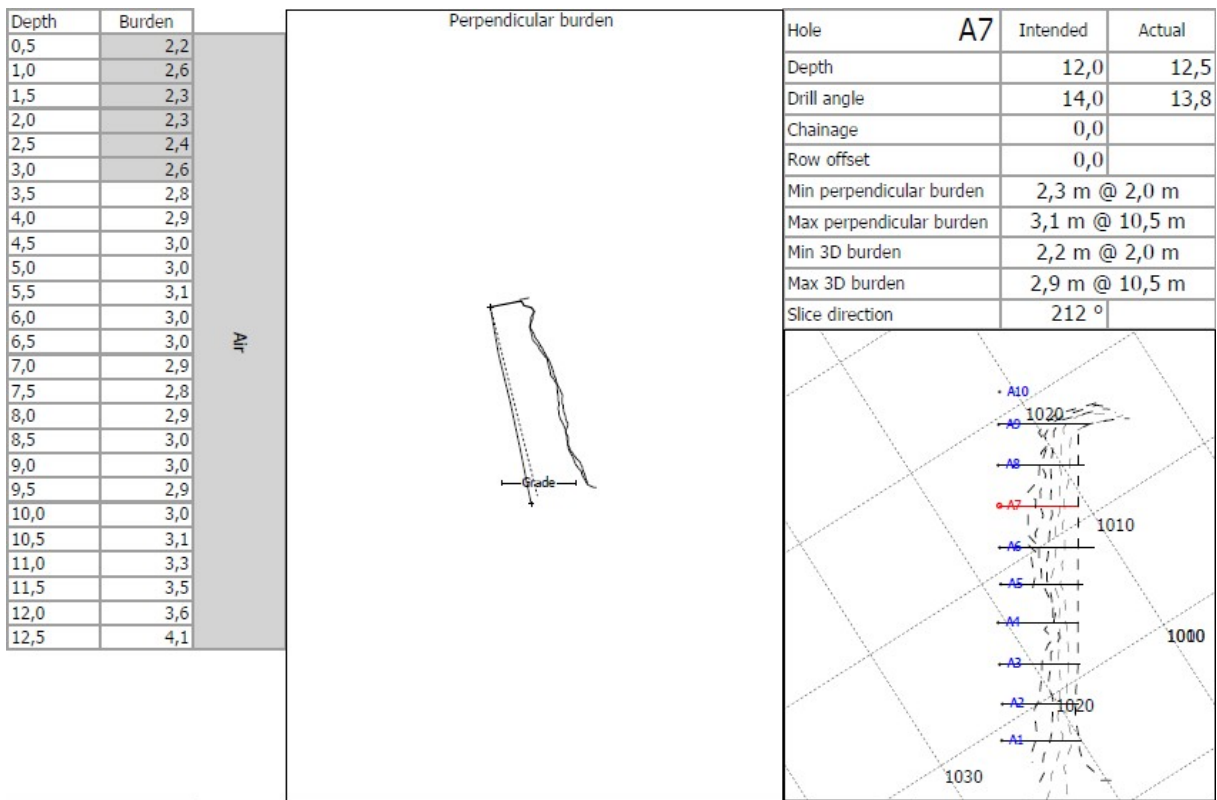


Figura 57 – Perfis do furo A7 da pedra de Santo Tirso.

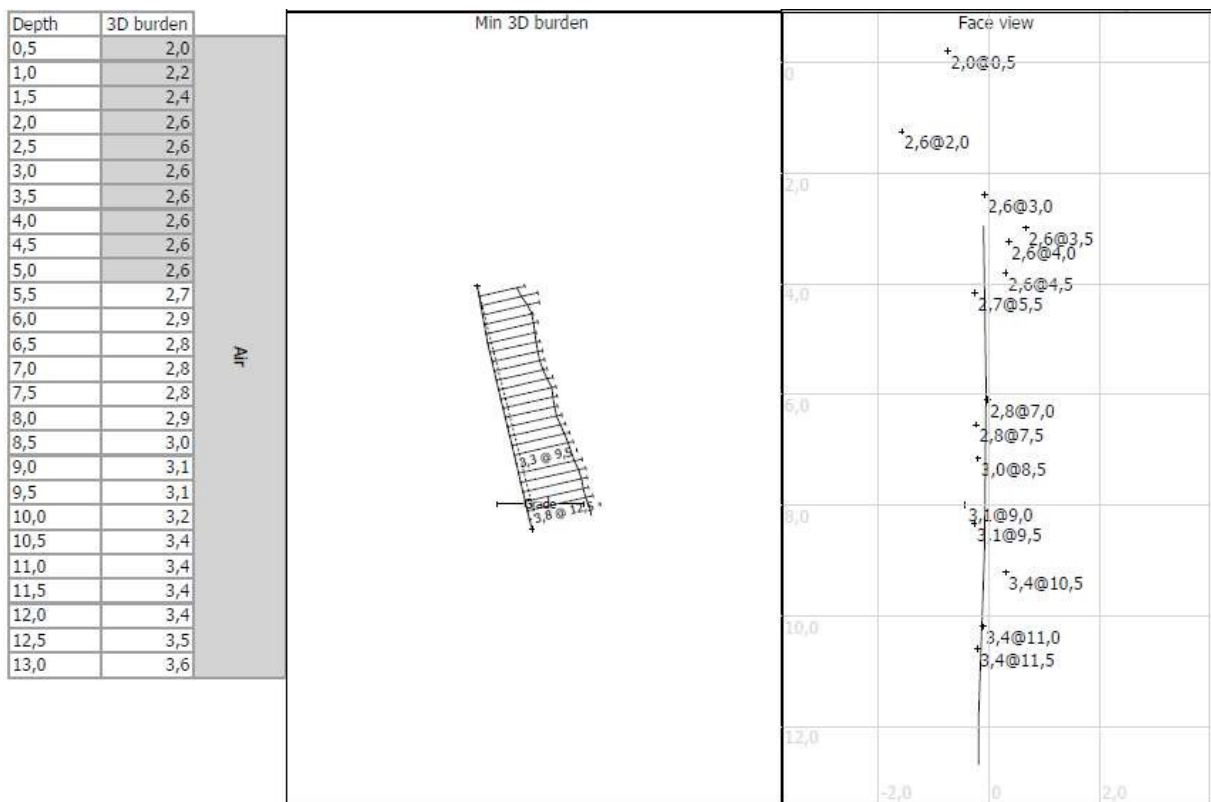
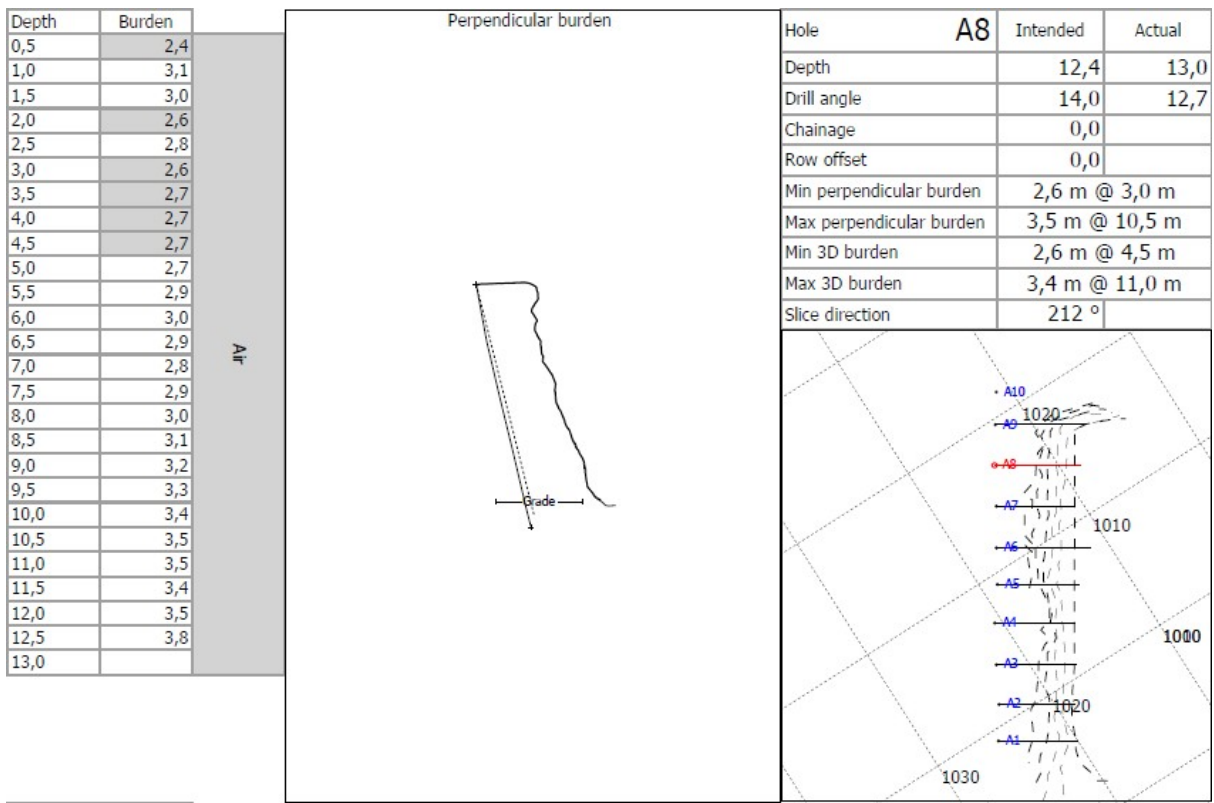


Figura 58 – Perfis do furo A8 da pedra de Santo Tirso.

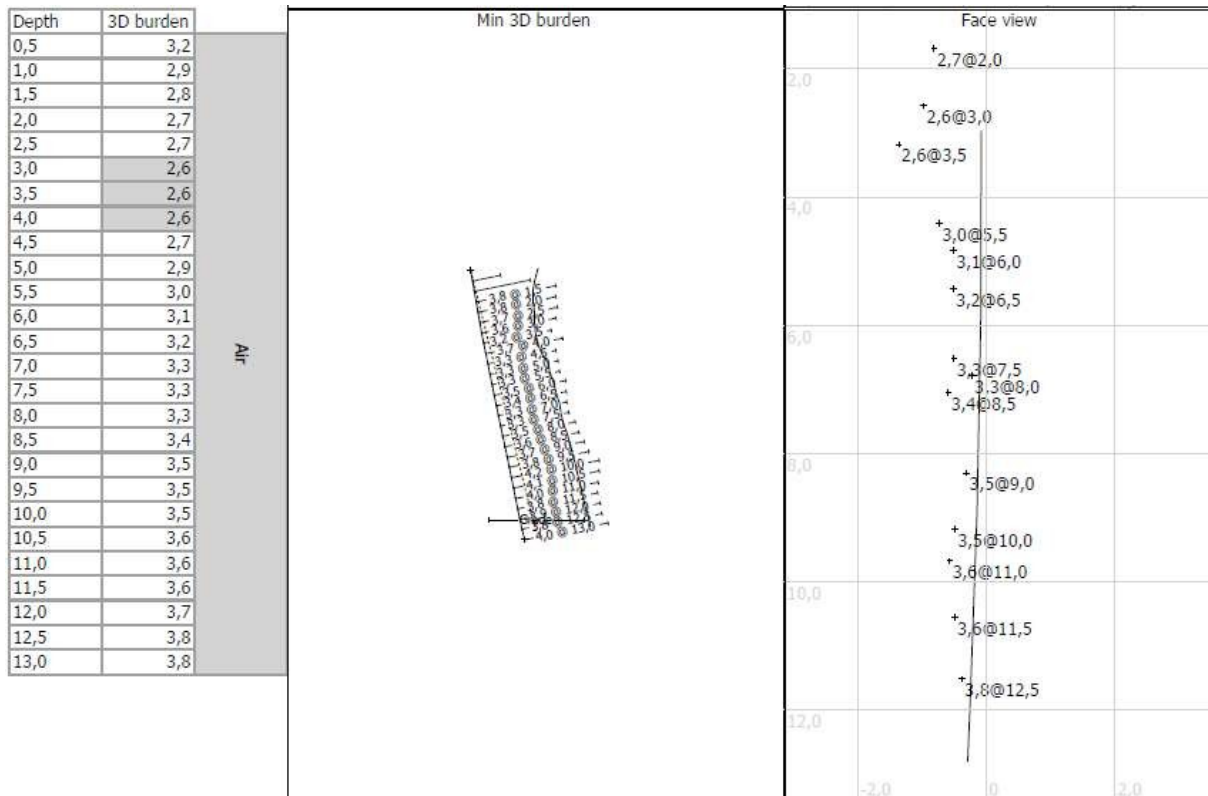
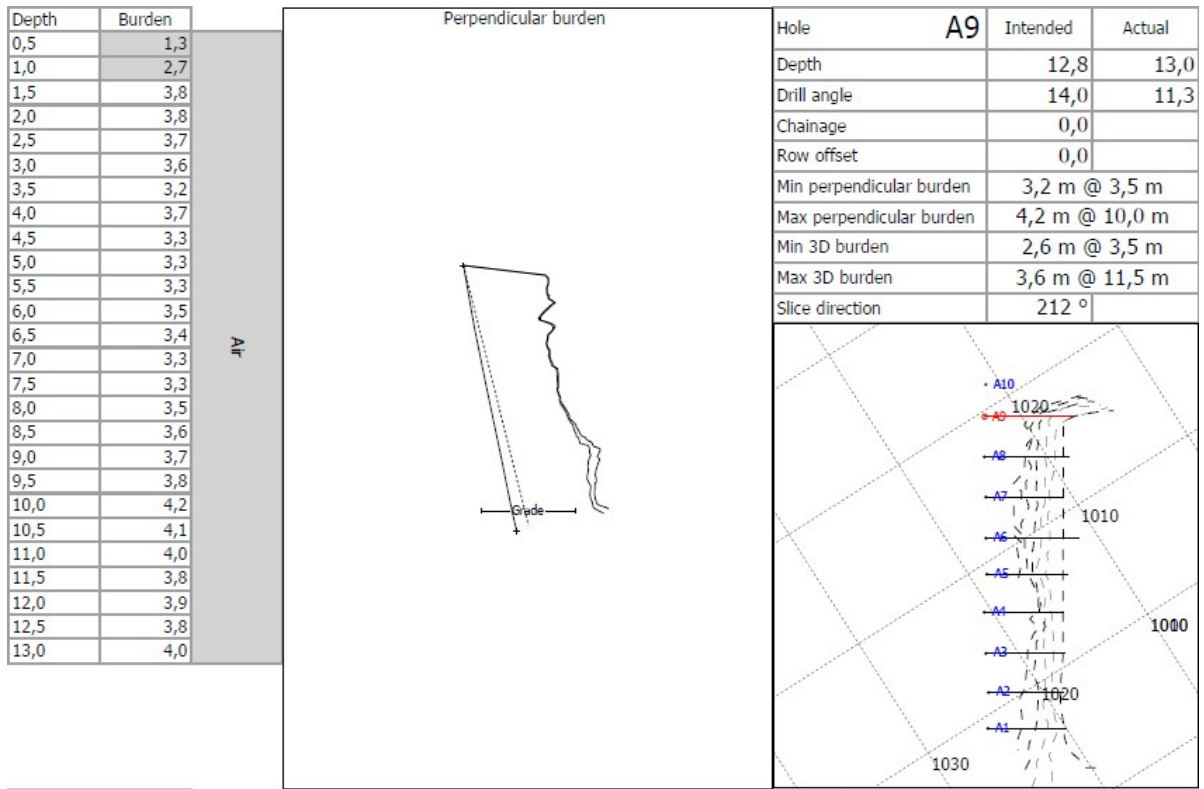


Figura 59 – Perfis do furo A9 da pedra de Santo Tirso.

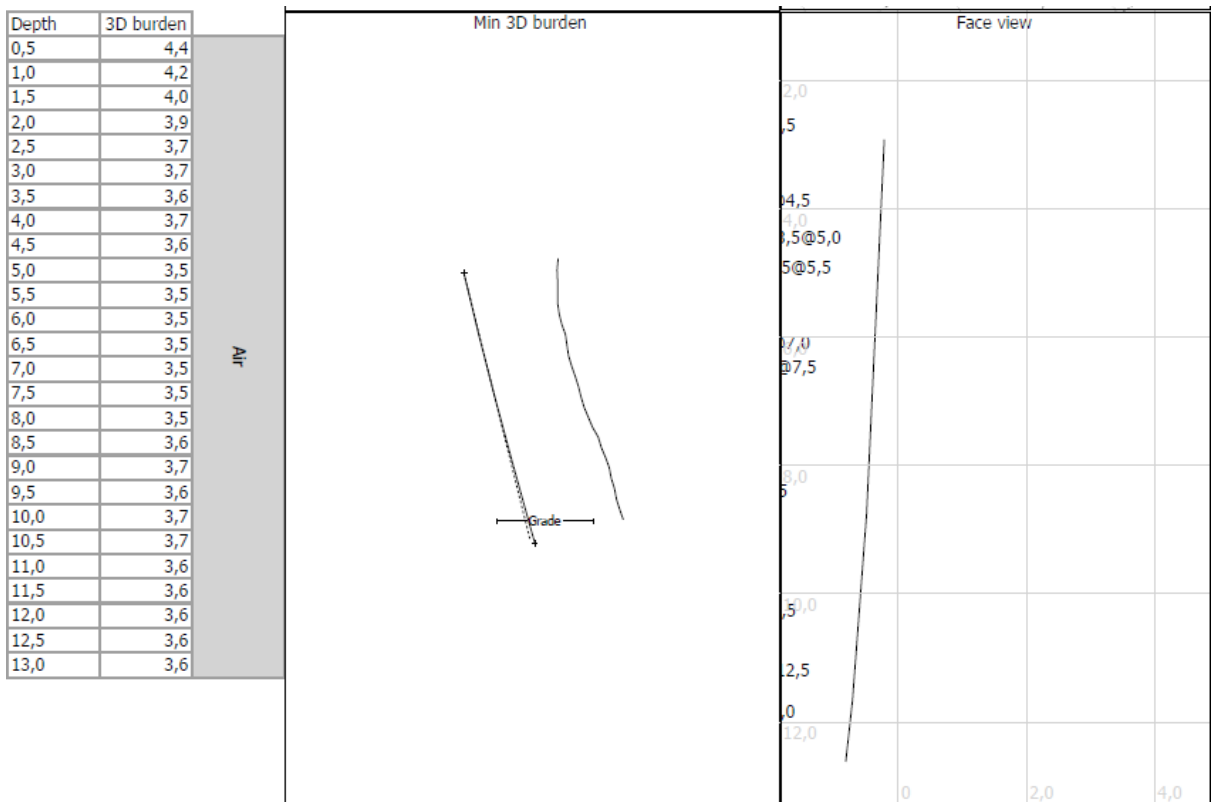
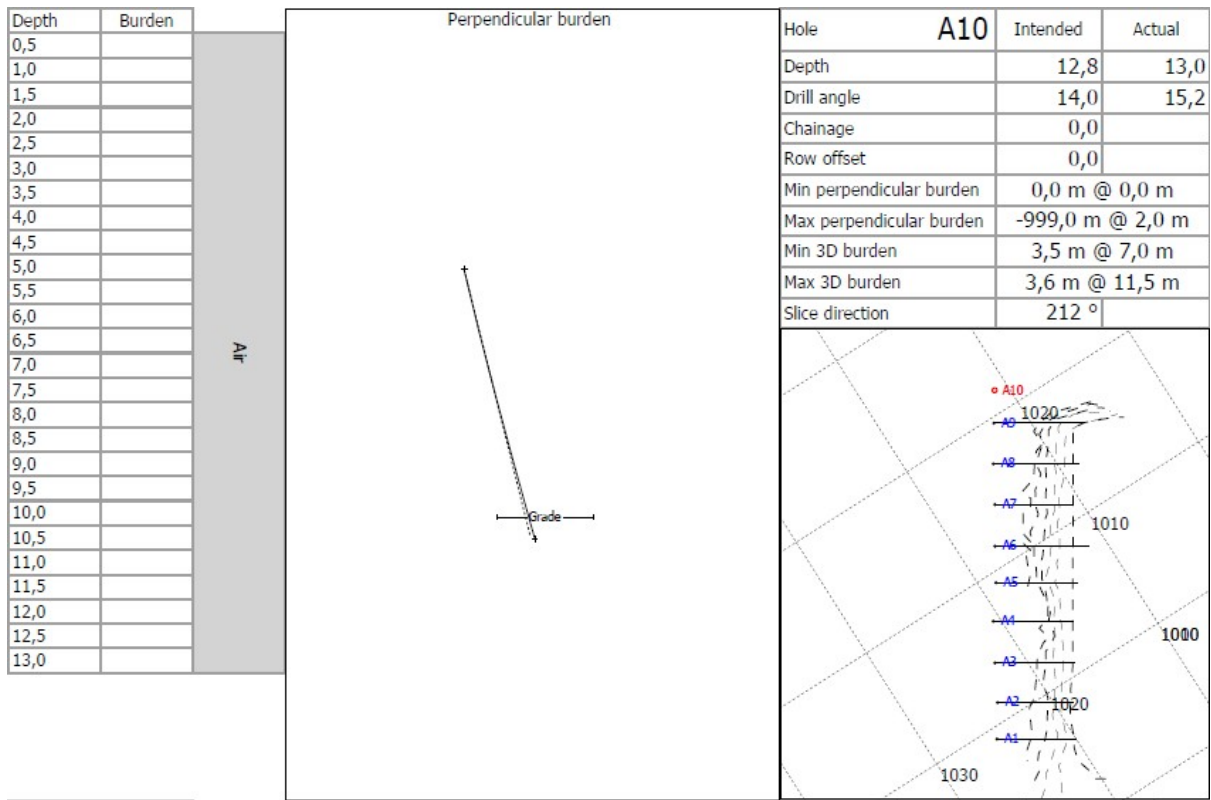


Figura 60 – Perfis do furo A10 da pedreira de Santo Tirso.