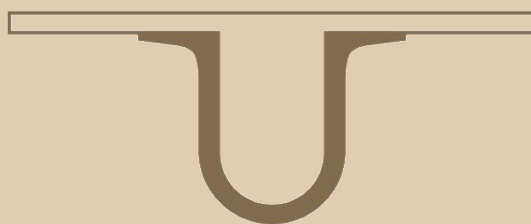




UNIVERSIDADE D
COIMBRA



Francisco Tiago Amorim Miranda e Sousa

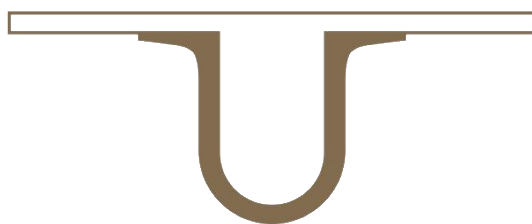
**ANÁLISE ESTRUTURAL DE UMA PEDREIRA DE ROCHA
ORNAMENTAL CARBONATADA – UTILIZAÇÃO E
COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS FOTOGRAFÉTRICOS E
CLÁSSICO**

Dissertação no âmbito do Mestrado em Engenharia Geológica e de Minas orientada pelo Professor Doutor Fernando Pedro Ortega Oliveira Figueiredo e pelo Doutor João António Marques Duarte apresentada ao Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Fevereiro de 2019



UNIVERSIDADE D
COIMBRA



Francisco Tiago Amorim Miranda e Sousa

**ANÁLISE ESTRUTURAL DE UMA PEDREIRA DE ROCHA
ORNAMENTAL CARBONATADA - UTILIZAÇÃO E COMPARAÇÃO
DOS MÉTODOS FOTOGRAFÉTRICOS E CLÁSSICO**

MESTRADO EM ENGENHARIA GEOLÓGICA E DE MINAS

Trabalho com orientação do Professor Doutor Fernando Pedro Ortega Oliveira Figueiredo da
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra e pelo Doutor João António
Marques Duarte da IQGeo

Fevereiro de 2019

Resumo

O presente trabalho pretende desenvolver uma metodologia, recorrendo à utilização de vários métodos tecnológicos em comparação com o método clássico, a bússola, para a caracterização estrutural de uma pedreira de rocha ornamental carbonatada. Para esta caracterização foi realizado um estágio de cerca de três meses, na empresa Filstone, localizada em Casal Farto, freguesia de Fátima, concelho de Ourém.

A metodologia base deste estudo, foi através do registo contínuo de dados, quer por meio tecnológico, a fotogrametria, quer pelo método convencional, através da bússola e inclinómetro.

A primeira fase consistiu num trabalho *in situ*, efetuaram-se várias medições com a bússola, da atitude das descontinuidades, e registaram-se diversas fotografias que posteriormente iriam ser utilizadas no método fotogramétrico.

Na segunda fase, realizada em gabinete, deu-se mais ênfase ao método fotogramétrico, uma vez que era um método um pouco mais moroso. A fotogrametria é uma técnica em que o princípio básico é o *Structure from motion*, que é a capacidade de criar estruturas a 3D, através de sequências de imagens a 2D. Com esta técnica foi possível representar as frentes de desmonte em modelos de alta resolução e respetiva caracterização estrutural. Ao longo deste processo, foram utilizados alguns programas informáticos, de origem *freeware*. O *Agisoft Photoscan*, que permitiu materializar as frentes, bem como georreferenciar as mesmas. O *CloudCompare* foi outro dos programas informáticos recorridos, permitiu efetuar a caracterização estrutural, nomeadamente pela sua versatilidade, e assim determinar as atitudes das descontinuidades, através desses modelos.

Na fase seguinte, organizou-se os dados obtidos, de forma a poderem ser comparados, para isso utilizou-se o *Stereonet 10*, de forma a obter-se várias diagramas de rosetas e histogramas, essenciais na caracterização estrutural.

Por fim, comparou-se os dois métodos inicialmente referidos, realizou-se também um estudo geral do avanço da pedreira, de forma a caracterizar toda a estrutura envolvente, e potenciais obstáculos a serem encontrados em litologias futuras.

Palavras-Chave: Descontinuidades, fotogrametria, rochas carbonatadas, rochas ornamentais, análise estrutural.

Abstract

The present study intends to develop a methodology by resorting to the use of various technological methods compared to the classical method, the compass, for structural characterization of a carbonated ornamental stone quarry. For this characterization was carried out an internship of about three months, in the company Filstone, located in Casal Farto, parish of Fátima, Ourém municipality.

The basic methodology of this study was through the continuous recording of data, either by means of technology, photogrammetry or by the conventional method, through the compass and inclinometer

The first phase consisted of an *in situ* work, so several measurements were made with the compass, basically the attitude of the discontinuities, and several photographs were recorded that later would be used in the photogrammetric method.

In the second phase, held in the office, more emphasis was placed on the photogrammetric method, since it was a slightly more time-consuming method. Photogrammetry is a technique where the basic principle is Structure from Motion, which is the ability to create 3D structures through 2D image sequences. With this technique it was possible to represent the dismantling fronts in models of high resolution and respective structural characterization. Throughout this process, we used some software, of freeware origin. The Agisoft Photoscan, which allowed to materialize the fronts, as well as georeferencing them. CloudCompare was another of the software programs used, allowing the structural characterization, namely for its versatility, and thus to determine the attitudes of the discontinuities, through these models.

In the next phase, the obtained data were organized so that they could be compared. For this purpose, Stereonet 10 was used, in order to obtain several diagrams of rosettes and histograms, essential in the structural characterization.

Finally, the two methods were compared, a general study of the quarry's progress was carried out, in order to characterize all the surrounding structure, and potential obstacles to be found in future lithologies.

Key words: Fractures, photogrammetry, carbonate rocks, dimensional stone, structural analysis.

Agradecimentos

O espaço limitado desta secção de agradecimentos, seguramente, não me permite agradecer, como devia, a todas as pessoas que me ajudaram, direta ou indiretamente, nos vários anos, tanto no percurso académico como no quotidiano em geral. Desta forma, deixo apenas algumas palavras, mas um sentido e profundo sentimento de gratidão.

Ao Professor Doutor Fernando Pedro Figueiredo e ao Doutor João Marques Duarte, pela orientação e ensinamentos prestados do longo do tempo decorrido.

Um especial agradecimento à Filstone S.A. na pessoa do seu sócio Sr. Ricardo Jorge, ao Engenheiro Delfim Valpaços, à Engenheira Diana Carvalho e a todo o staff que sempre se mostraram muito atenciosos e prestáveis na nossa estadia.

Aos meus amigos da faculdade, que me ajudaram a tornar tudo isto mais fácil, com especial agradecimento ao Bruno Valente, ao Álvaro Santos e ao Filipe Quintas.

Aos meus amigos desde os tempos do secundário, naquele cantinho no norte do país, um especial agradecimento ao Rui Sárria, ao João Faria, ao Vítor Teixeira, à Rita Almeida, à Ana de Carvalho, à Rafaela Fernandes, à Bárbara Pires e à Ana Nunes.

Aos amigos desde os tempos da primária, que sempre me apoiaram no decorrer destes longínquos anos, ao João Rodrigues e ao José Silva.

A toda a minha família, que foi incansável ao longo de todo este percurso, pais, irmãos, avós, primos e tios, sem eles, isto não teria sido possível.

Índice de Texto

Resumo.....	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos	vii
Índice de Texto.....	ix
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tabelas.....	xv
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - A importância da rocha ornamental	1
1.2 – Objetivos do estudo	2
1.3 – Estado da Arte	2
CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA.....	4
2.1 – Enquadramento geográfico e socioeconómico.....	4
2.2 - Caracterização Geológica	7
2.2.1 – Bacia Lusitaniana.....	7
2.2.1.1 - Período Distensivo	8
2.2.1.2 - Período Compressivo	10
2.2.1.3 - Paleotensões	11
2.2.2 – Morfologia	13
2.2.3 – Falhas Principais.....	14
2.2.4 – Litoestratigrafia	15
2.2.5 – Hidrogeologia.....	17
CAPÍTULO 3 – MÉTODOS E METODOLOGIA.....	19
3.1 - Trabalho de Campo	20
3.2 – Uso de programas informáticos	22
3.2.1 - Captação.....	22
3.2.2 - Projecção.....	24

3.2.3 - Georreferenciação.....	26
3.2.4 - Tratamento dos modelos.....	28
3.3 - Tratamento estatístico das discontinuidades.....	31
CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	29
4.1 – Fotogrametria	29
4.1.1 – Talhadas	29
4.2. – Orientações das discontinuidades	34
4.2.1 – Método fotogramétrico	36
4.2.1.1 - Talhada 1	36
4.2.1.2 – Talhada 2	38
4.2.1.3 – Talhada 3	39
4.2.2 – Método Clássico	41
4.2.2.1 - Talhada 1	42
4.2.2.2 - Talhada 2	47
4.2.2.3 - Talhada 3	52
4.3 – Comparação dos dados obtidos pelos dois métodos	56
4.3.1 – Talhada 1	57
4.3.2 – Talhada 2	58
4.3.3 – Talhada 3	59
4.3.4 – Dados Totais	60
4.4 – Outras medições.....	61
4.4.1 - Medições dos pisos superiores das talhadas 1 e 2.....	61
4.4.2 - Medições efetuados mais a Este.....	65
CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
5.1. – Conclusões	70
5.2. – Trabalhos Futuros.....	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

Índice de Figuras

Figura 1 - Grãos nodulares observados em litologias de Casal Farto.....	4
Figura 2 - Fotografia aérea da local de estudo com o mapa de Portugal e respetiva ampliação (adaptado do Google Earth).	5
Figura 3 - O Maciço Calcário Estremenho e regiões limítrofes (adaptado de Carvalho, 2013).	6
Figura 4 - Enquadramento do MCE no Setor Central da Bacia Lusitaniana. Subdivisões da BL de acordo com Kullberg et al., 2006; geologia adaptada da Carta Geológica de Portugal à escala 1/1000000 (ed. LNEG). O retângulo vermelho representa a localização da área de estudo.	7
Figura 5 - Coluna Litoestratigráfica do MCE (adaptado de Carvalho,2013).	10
Figura 6 -- Carta geológica simplificada do MCE com definição das principais unidades morfoestruturais (FAr- Falha do Arrife, FAlv- Falha de Alvados, FC- Falha dos Candeeiros, FCi- Falha do Cidral, FME- Falha da Mendiga, FMi- Falha de Minde, FMo- Falha de Moleanos, FRF- Falha de Reguengo do Fetal e FRM-PM- Falha de Rio Maior – Porto de Mós; geologia adaptada da Carta Geológica de Portugal à escala 1/50000 (retirado de Carvalho, 2013).....	13
Figura 7 - Unidades litoestratigráficas do Jurássico Inferior e Médio do Maciço Calcário Estremenho (adaptado de Azerêdo, 2007).-.....	16
Figura 8 - Correspondência entre as unidades litoestratigráficas propostas neste trabalho, em Azerêdo et al. (2003) e na cartografia mais recente da região do Maciço Calcário Estremenho (adaptado de Azerêdo, 2007).	17
Figura 9 - Enquadramento litoestratigráfico do sistema aquífero (adaptado de Almeida et al., 2000).	18
Figura 10 - Fluxograma da metodologia (adaptado de Duarte,2018).....	19
Figura 11 - Localização espacial das três frentes de maior ênfase.....	20
Figura 12 - A e B: Medições nas discontinuidades observadas em Casal Farto.....	21
Figura 13 - Talhada 2, prestes a tombar, com cama de pedra situado à sua frente.....	21
Figura 14 - A e B: Máquinas de fio diamantado usadas essencialmente para cortes verticais.	22

Figura 15 - Configurações fotográficas utilizadas na Canon EOS 1100D.	23
Figura 16 - A: Modo incorreto de realizar a calibração; B: Modo correto de realizar a calibração.	23
Figura 17 - Localização das câmeras e respetivas características de tiragem.	24
Figura 18 - Nuvem de pontos dispersa de uma frente da talhada 1.	25
Figura 19 - Nuvem de pontos densa de uma frente da talhada 1.	26
Figura 20 - - A: Coordenadas de Z retiradas do programa informático Acute. B: Cordenadas de X e Y retiradas pelo programa informático AutoCad.	27
Figura 21 - Colocação de marcadores no programa informático Agisoft Photoscan para a talhada 1.	27
Figura 22 - A: Colocação das características de cor no programa informático CloudCompare. B: Negação ao programa de escalar as coordenadas.	28
Figura 23 - A: Talhadas alinhadas e georreferenciadas. B: Talhadas Alinhadas e georreferenciadas com a nuvem de pontos geral sobreposta.	29
Figura 24 - As cinco frentes da Talhada 1 alinhadas.	29
Figura 25 - Frentes numa única nuvem de pontos.	30
Figura 26 - Seleção de pontos da descontinuidade.	30
Figura 27 - Materialização da nuvem de pontos da descontinuidade.	30
Figura 28 - Materialização do plano das descontinuidades.	31
Figura 29 - Descontinuidade retirada da Talhada 1 pelo método fotogramétrico.	31
Figura 30 - Imagem ilustrativa da funcionalidade do Stereonet (retirado de Stereonet Help, 2013).	32
Figura 31 - Vista aérea das frentes alvo relativamente à talhada 1 (adaptado do autocad).	30
Figura 32 - Modelos resultantes da fotogrametria da talhada 1.	31
Figura 33 - Vista aérea das frentes alvo relativamente à talhada 2.	32
Figura 34 - Modelos resultantes da fotogrametria da talhada 2.	32
Figura 35 - Vista aérea das frentes alvo relativamente à talhada 3.	33
Figura 36 - Modelos resultantes da fotogrametria da talhada 3.	34
Figura 37 - Imagem representativa do avanço da pedreira.	35

Figura 38 - Descontinuidades extraídas da fotogrametria relativamente à talhada 1.	36
Figura 39 - Descontinuidades extraídas da fotogrametria relativamente à talhada 2.	38
Figura 40 - Descontinuidades extraídas da fotogrametria relativamente à talhada 3.	39
Figura 41 - Medições efetuadas com método clássico na frente 789.....	42
Figura 42 - Medições efetuadas com método clássico na frente 802.....	43
Figura 43 - Medições efetuadas com método clássico na frente 820.....	44
Figura 44 - Medições efetuadas com método clássico na frente 835.....	45
Figura 45 - Medições efetuadas com método clássico na frente 848.....	46
Figura 46 - Medições efetuadas com método clássico na frente 800.....	47
Figura 47 - Medições efetuadas com método clássico na frente 810.....	48
Figura 48 - Medições efetuadas com método clássico na frente 826.....	49
Figura 49 - Medições efetuadas com método clássico na frente 841.....	50
Figura 50 - Medições efetuadas com método clássico na frente 854.....	51
Figura 51 - Medições efetuadas com método clássico na frente 814.....	52
Figura 52 - Medições efetuadas com método clássico na frente 814.....	53
Figura 53 - Medições efetuadas com método clássico na frente 839.....	54
Figura 54 - Medições efetuadas com método clássico na frente 858.....	55
Figura 55 - Comparação estatística entre o método clássico e o método fotogramétrico na talhada 1.	57
Figura 56 - Comparação estatística entre o método clássico e o método fotogramétrico na talhada 2.	58
Figura 57 - Comparação estatística entre o método clássico e o método fotogramétrico na talhada 3.	59
Figura 58 - Comparação estatística I dos dois métodos para a totalidade das talhadas.	60
Figura 59 - Localização geográfica das frentes “a”, “b” e “c” e suas respetivas descontinuidades.	62
Figura 60 - Dados estatísticos das frentes "a", "b" e "c".....	62
Figura 61 - Diferentes estratificações encontradas na pedreira de Casal Farto.	63
Figura 62 - Fotografia aérea com a possível falha E-W.....	64

Figura 63 - Dados estatísticos do caso "c" sem a presença das descontinuidades de direção NE.....	64
Figura 64 - Localização geográfica na pedreira das diferentes frentes alvo de estudo.	65
Figura 65 - Frentes "a" e "b" e respectivas descontinuidades.....	66
Figura 66 - Dados estatísticos dos casos "a" e "b".	66
Figura 67 - Frentes "c" "d" e "e" e respectivas descontinuidades.	67
Figura 68 - Dados estatísticos dos casos "c" "d" e "e".	68
Figura 69 - Frentes "f" e "g" e respectivas atitudes.....	68
Figura 70 - Dados estatísticos dos casos "f" e "g".	69

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Famílias de descontinuidades.	35
Tabela 2 – Famílias de descontinuidades observadas na figura 38.....	37
Tabela 3 – Famílias de descontinuidades observadas na figura 39.....	38
Tabela 4 – Famílias de descontinuidades observadas na figura 40.....	40
Tabela 5 - Famílias de descontinuidades para este método.....	41
Tabela 6 - Famílias observadas na figura 41.....	42
Tabela 7 - Famílias observadas na figura 42.....	43
Tabela 8 - Famílias observadas na figura 43.....	44
Tabela 9 - Famílias observadas na figura 44.....	45
Tabela 10 - Famílias observadas na figura 45.....	46
Tabela 11 - Famílias observadas na figura 46.....	47
Tabela 12 - Famílias observadas na figura 47.....	48
Tabela 13 - Famílias observadas na figura 48.....	49
Tabela 14 - Famílias observadas na figura 49.....	50
Tabela 15 - Famílias observadas na figura 50.....	51
Tabela 16 - Famílias observadas na figura 51.....	52
Tabela 17 - Famílias observadas na figura 52.....	53
Tabela 18 - Famílias observadas na figura 53.....	54
Tabela 19 - Famílias observadas na figura 54.....	55

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 - A importância da rocha ornamental

A pedra é um dos recursos naturais mais utilizados pelo Homem, essencial no nosso quotidiano desde os primórdios.

Começamos durante o período neolítico, há cerca de 10.000 anos atrás, altura em que a civilização humana já recorria a este recurso para diversos fins, como túmulos construídos em blocos de granito, mármore, arenito, entre mais. Estas pedras da “história da humanidade” ainda hoje podem ser visitadas, como os Dólmenes em França e Menires situados em países como Alemanha, Inglaterra, Itália e até Portugal.

Anos mais tarde, diversas civilizações vieram a dar uso e inovação à rocha, como os egípcios, que construíram pirâmides megalómanas feitas, com enormes blocos de calcário e sienito.

Na Grécia Antiga, e o Império Romano como herdeiros desta grande civilização, construíram enormes prédios, monumentos, túmulos, esculturas, estradas, viadutos, portos, entre outros, com diversos tipos de rocha ornamental, como mármore, granitos, calcários, travertinos, brechas, arenitos, etc.

Já no século XIX a procura de rocha ornamental aumenta de novo e consequentemente aparecem cada vez mais países a darem uso às suas reservas, quer para uso próprio quer para exportação.

Atualmente com o crescimento demográfico das últimas décadas houve uma necessidade acrescida de uso de rochas ornamentais, uma vez que são uma das principais matérias-primas em necessidades básicas de um meio populacional.

Cabe-nos a nós fazer com que esta necessidade seja colmatada, para isso os investimentos em prospeção e pesquisa são essenciais para uma viabilidade económica, bem como estimativas de reservas e períodos de lavra em determinado local.

Segundo alguns estudos, Portugal é o 9º maior produtor de rocha ornamental, onde a extensa diversidade de rocha lhe proporciona uma posição de destaque a nível mundial, sendo uma das mais importantes fontes de crescimento do PIB português especialmente com a exportação crescente para o continente asiático (Sobreiro, M.J.; Vieira T., 2001)

1.2 – Objetivos do estudo

O presente tema de dissertação “Análise estrutural de uma pedreira de rocha ornamental carbonatada - Utilização e comparação dos métodos fotogramétrico e clássico” surgiu com o intuito de aplicar a técnica de fotogrametria para a criação de diversos modelos 3D de frentes de desmonte da pedreira em estudo.

Estes modelos seriam utilizados à posteriori para a determinação da atitude da respetiva descontinuidade, bem como comparação com o método clássico, a bússola.

A rocha ornamental explorada em Casal Farto, local onde se realiza a exploração em estudo, apresenta duas tonalidades diferentes, o creme e o azulado, que variam um pouco ao longo da pedreira, sendo que o foco da exploração é o “Creme Fátima”, mas este por vezes apresenta-se um pouco fraturado. Assim sendo procurou-se determinar e prever as descontinuidades de forma a determinar o melhor trajeto possível para o avanço da pedreira, algo bastante relevante uma vez que seria economicamente mais rentável e com menor impacto ambiental para a empresa em questão.

1.3 – Estado da Arte

No atual estado da indústria extrativa, é necessário recorrer a técnicas que visem melhorar a caracterização de maciços com potencial económico, tendo sempre em conta a rentabilização e otimização desses processos bem como a diminuição dos resíduos resultantes dessa mesma exploração.

Relativamente ao MCE, diversos estudos têm vindo a ser alvo de interpretação baseados, sobretudo, na cartografia geológica existente e em reconhecimentos de campo de carácter pontual. Destacam-se trabalhos de Crispim 1985, Willis 1989, Carvalho, 2013, que contêm uma forte componente de reconhecimento e interpretação das estruturas de campo. Outros autores também realizaram estudos nesta região, Duarte et al., 2010, Azerêdo, 2007, Kullberg *et al.*, 2013.

A fotogrametria é a técnica de foco nesta dissertação, com o objetivo de caracterizar as descontinuidades em maciços rochosos, neste caso aplicado a uma exploração de rochas ornamentais de origem carbonatada. Este tipo de técnica já utilizada por Fernandes (2010) e Viana (2015), na qual utilizaram e compararam técnicas de fotogrametria terrestre digital baseadas em *Structure from motion* com os procedimentos clássicos de mapeamento de

descontinuidades, de forma a criar modelos digitais rigorosos dos maciços escavados, bem como a sua comparação com o uso de bússola geológica convencional.

Coggan *et al.*, 2007 também comparou os resultados obtidos de 3 métodos, método manual com bússola, método de Laser scanning ou HDS e o método fotogramétrico, este estudo foi efetuado num maciço granítico adjacente a uma estrada. Para a comparação dos resultados os dados de pendor e de direção do pendor das descontinuidades foram analisados para os três métodos presentes utilizando para esse efeito o software Dips, da *Roscience*. Os resultados obtidos pelos autores demonstram que os dados fotogramétricos se apresentam mais próximos dos dados manuais do que o método HDS, que por sua vez, apresenta maiores variações na comparação com a medição manual.

Já em 2016, Deweza *et al.*, utilizaram um programa, que é um dos softwares mais utilizados e importantes nesta dissertação, o CloudCompare. Este software é freeware e permite entre outros, a modelação de várias nuvens de pontos ao mesmo tempo. Os autores notaram, que, apesar do software permitir a criação de planos para cada nuvem de pontos (podendo esses planos serem planos de descontinuidades, fraturação.etc) o processo é manual e demorado o que leva a imensas perdas de tempo na criação desses planos. Daí a necessidade de criar um “Plugin” que efetuasse essa função de forma autónoma e num curto espaço de tempo. Foi então criado o plugin “*Facets*” com esse objetivo, este plugin contém dois aspetos importantes, um processamento de dados com dois tipos diferente de algoritmos com um número mínimo de parâmetros e um estereograma para o diagnóstico de dados geológicos numa interface simples.

Duarte *et al.*, 2018, contribuiu com estudos em áreas de potencial para extração de rochas ornamentais, aplicando uma conjugação de dados de prospeção geofísica, análise estrutural e modelação informática (fotogrametria, entre outros).

CAPÍTULO 2 – CARATERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA

2.1 – Enquadramento geográfico e socioeconómico

A região-alvo do estudo está situado no Maciço Calcário Estremenho (MCE), que integra o Parque Natural das Serras de Aire e Candeeiros numa localidade chamada Casal Farto, mais concretamente numa exploração a céu aberto de calcário para fins ornamentais, que fica sensivelmente a 6 km para sudeste da cidade de Fátima, como mostra a figura 2.

Esta exploração, está a cargo da empresa Filstone, que extraí anualmente milhares de toneladas de calcário para fins ornamentais, exclusivamente por meios mecânicas (fio diamantado, serras).

Neste estudo foi também possível a observação de dois tipos de calcários diferenciados, um mais micrítico, e outros mais rico em oólitos e bioclastos. De igual modo, pontualmente, foi possível observar alguns grãos nodulares com cor castanha escura e brilho vítreo (figura 1), que a “olho nu” se identificam como óxidos e hidróxidos de ferro, provavelmente goethite (limonite, segundo Martins, 1949). Esta matriz silto-argilosa e ferruginosa apresenta-se com colorações laranja-avermelhadas, e é especialmente observada em zonas de maior fraturação, uma vez que também possuem maior infiltração.



Figura 1 - Grãos nodulares observados em litologias de Casal Farto.

O MCE corresponde a uma grande unidade geomorfológica para além de traduzir uma notável paisagem cársica da Estremadura portuguesa, é assim uma peça importante na história geológica da Bacia Lusitânica (Azerêdo, 2007).



Figura 2 - Fotografia aérea da local de estudo com o mapa de Portugal e respetiva ampliação (adaptado do Google Earth).

Esta zona individualiza-se pelas peculiaridades de âmbito litostratigráfico e tectónico, figura 3. Peculiaridade esta, porque nele se regista a maior extensão de afloramentos em rochas calcárias do Jurássico Médio no território nacional em virtude de se encontrar estrutural e morfológicamente sobrelevado relativamente às regiões limítrofes (Carvalho, 2013).

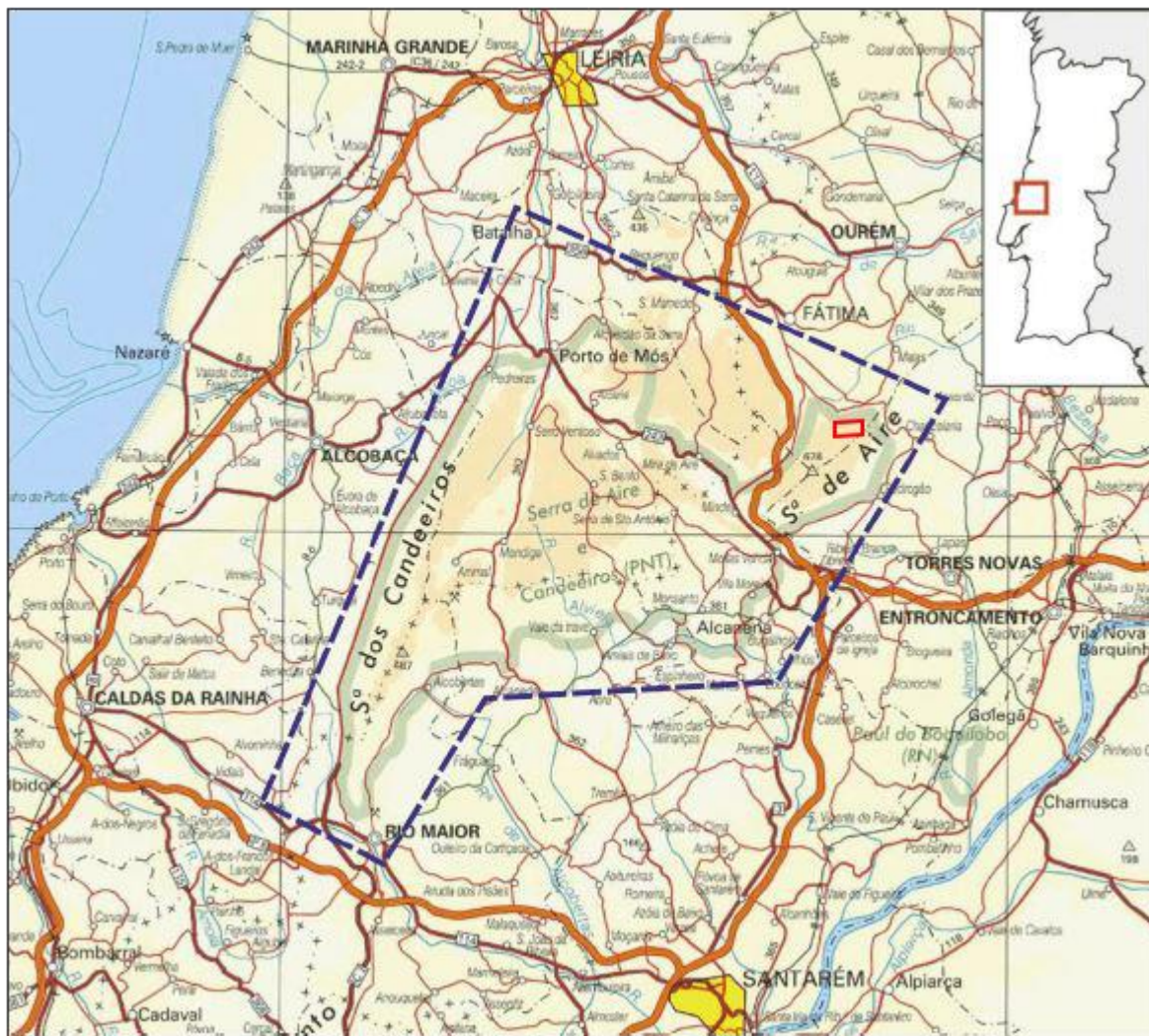


Figura 3 - O Maciço Calcário Estremenho e regiões limítrofes (adaptado de Carvalho, 2013).

Estas circunstâncias conferem ao MCE características próprias em termos biofísicos (modelado cársico e habitats associados), sociais (baixa densidade populacional de características rurais) e económicas (agricultura de subsistência e pastoreio).

A baixa produtividade económica associada às atividades tradicionais do MCE sofreu uma mudança radical, a partir dos anos 70 do século XX, com início da exploração de calcários para fins ornamentais.

Inicialmente com técnicas um pouco arcaicas, rapidamente se industrializou por adoção de técnicas mecanizadas e de metodologias de exploração adequadas. Atualmente é uma das atividades que apresenta um dos maiores fatores de desenvolvimento económico e social da região, com repercussão a nível nacional (Carvalho, 2013).

2.2 - Caracterização Geológica

2.2.1 – Bacia Lusitaniana

Como já foi referido anteriormente Casal Farto localiza-se na Serra de Aire que por sua vez está inserido no Maciço Calcário Estremenho (Figura 3), é parte integrante da Bacia Lusitaniana, particularmente, da sub-bacia de Bombarral-Alcobaça (Figura 4).

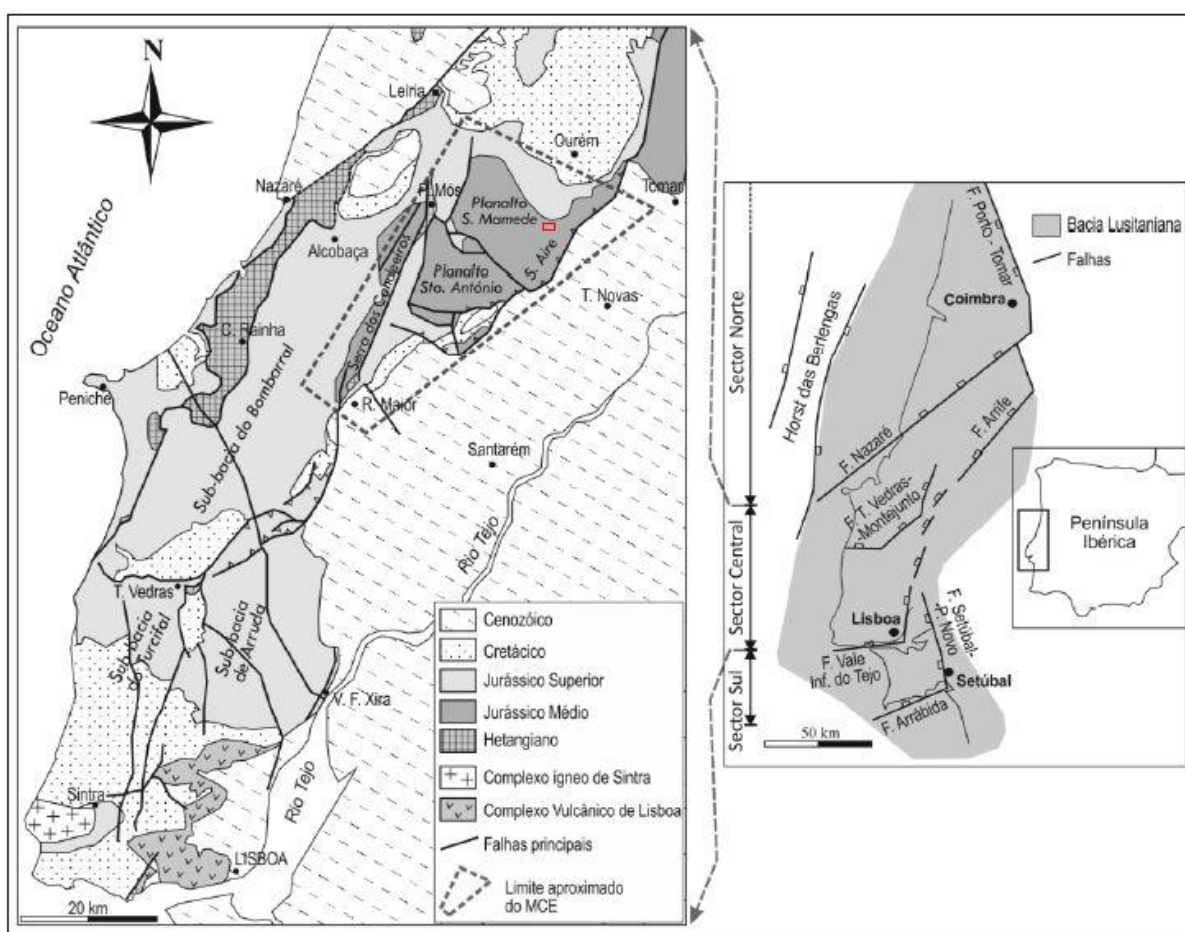


Figura 4 - Enquadramento do MCE no Setor Central da Bacia Lusitaniana. Subdivisões da BL de acordo com Kullberg et al., 2006; geologia adaptada da Carta Geológica de Portugal à escala 1/1000000 (ed. LNEG). O retângulo vermelho representa a localização da área de estudo.

A Bacia Lusitaniana (BL) é uma bacia intracratónica situada no bordo Oeste da microplaca Ibérica. Tem a sua origem associada aos episódios distensivos que levaram à abertura do Oceano Atlântico durante o Mesozoico. Tectonicamente corresponde a um graben alongado segundo NNE-SSW. Esta depressão tectónica está limitada por acidentes

longitudinais herdados da orogenia varisca: a ocidente, a falha do bordo Este do Horst das Berlengas; a oriente, um sistema complexo de falhas escalonadas das quais se destacam a Falha de Porto – Tomar, Falha do Arrife e Falha de Setúbal – Pinhal Novo (Ribeiro et al 1979., Montenat et al., 1988; Pinheiro et al., 1996; Kullberg, 2000). Diversos outros acidentes também herdados da orogenia varisca e orientados do mesmo modo, mas também segundo NE-SW e mesmo segundo W-E, compartimentam fortemente a bacia com reflexos na sua evolução ao nível da distribuição e espessura das fácies sedimentares (Kullberg et al., 2006)

A estratigrafia geral da BL está bem estabelecida, tendo sido particularmente descrita por Ribeiro et al., 1979; Montenat et al., 1988; Wilson, 1988; Cunha & Pena dos Reis, 1992; Soares & Duarte 1995; Pinheiro et al., 1996; Rocha et al. 1996; Kullberg et al., 2006.

A maioria destes autores considera a existência de grandes sequências sedimentares limitadas por descontinuidades, que refletem as sucessivas etapas evolutivas da bacia. Estas sequências sedimentares dividem-se em dois grandes grupos: as que refletem o **período distensivo** (Triásico Superior – final do Cretácico) e as que refletem o **período compressivo** (desde o final do Cretácico até à atualidade).

2.2.1.1 - Período Distensivo

Relativamente ao período distensivo, é comum considerar-se que a evolução decorreu segundo 3 ou 4 episódios de rifting bem representados no registo sedimentar. No caso em estudo e também segundo Kullberg et al., 2013, considera-se 4 episódios de rifting, são eles:

- 1º Episódio de rifting (Triásico – Sinemuriano)
- 2º Episódio de Rifting (Pliensbaquiano – Caloviano Superior)
- 3º Episódio de Rifting (Oxfordiano médio – Berriasiano inferior)
- 4º Episódio de Rifting (Berriasiano superior – Aptiano superior)

Daremos mais foco ao 2º episódio de Rifting (Pliensbaquano – Caloviano Superior) uma vez que está mais relacionado com a litologia encontrada em Casal Farto.

No 2º episódio o limite superior não segue o modelo de Kullberg, 2000, que o coloca no Oxfordiano. Segue antes o modelo defendido por autores como Pena dos Reis & Pimentel,

2010, Pinheiro et al., 1996, Montenat & Guéry, 1984; Wilson et al., 1989 (3 episódios de rifting) ou Stapel et al., 1996; Rasmussen et al., 1998 (4 episódios de rifting).

Assim, a sequência sedimentar presente neste episódio está representada pelas formações de Brenha e de Candeeiros, de acordo com a nomenclatura geralmente utilizada na interpretação de perfis sísmicos (Carvalho, 2013).

A formação de Brenha, natureza margo-calcária, traduz um acentuar progressivo das condições marinhas que se tinham iniciado no episódio anterior, tendo a sedimentação ocorrido sobre uma rampa carbonatada que agora se apresenta basculada para ocidente (Azerêdo et al., 2003) e que terá resultado das transformações associadas a um impulso distensivo segundo E-W no início do Pliensbaquiano (Kullberg et al., 2013).

Tudo isto traduzido por soerguimentos de blocos e movimentações halocinéticas (subsidência), que resultaram em fortes variações de fácies e de espessura das unidades carbonatadas, que se depositaram neste período de tempo.

Já a formação de Candeeiros depositou-se diacronicamente do Bajociano ao Caloviano, figura 5. Foi durante uma pausa tectónica que esta se depositou, demonstrando uma tendência regressiva que terá dado lugar à instalação de uma rampa carbonatada de alta energia a partir do Batoniano (Azerêdo et al., 2013). Essa rampa está representada por fácies oolíticas e bioclásticas, e pode ser observada em alguns calcários da pedreira de Casal Farto, estando inserido na formação de Santo António-Candeeiros (Azerêdo et al., 2013).

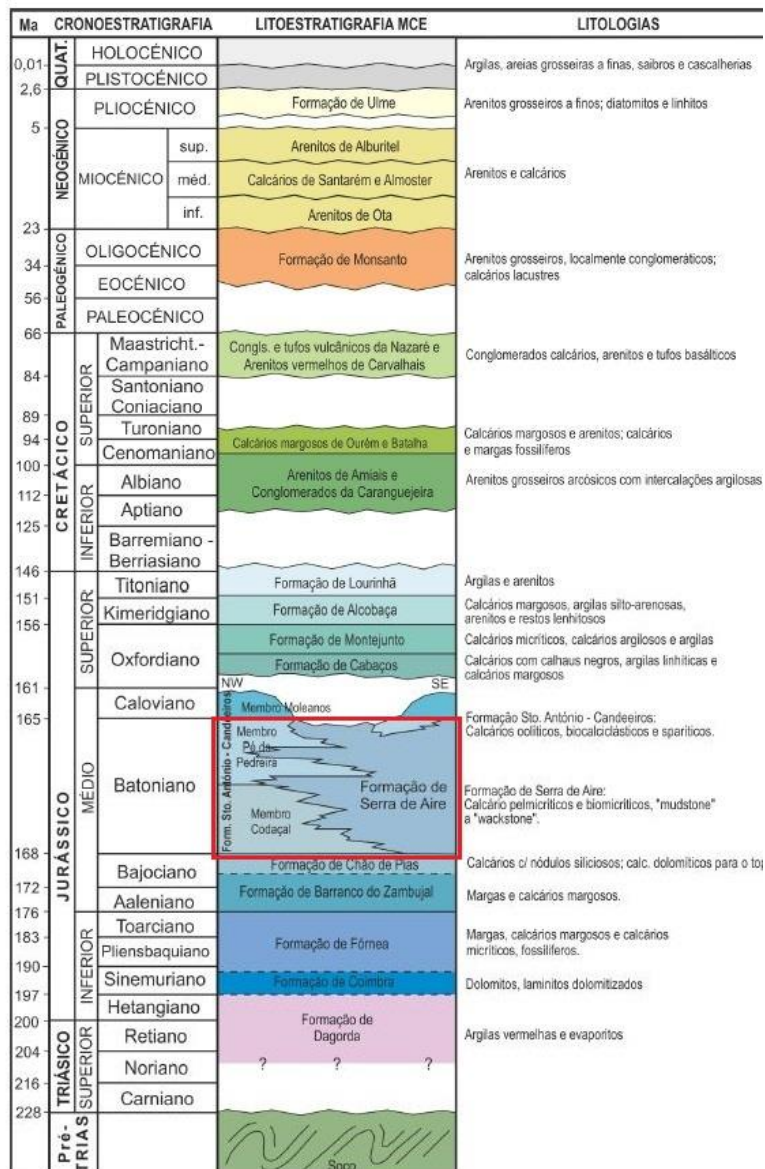


Figura 5 - Coluna Litoestratigráfica do MCE (adaptado de Carvalho,2013).

2.2.1.2 - Período Compressivo

O regime tectónico generalizadamente compressivo surgiu no final do Cretácico sendo que a Península Ibérica ficou à mercê do que ainda hoje está presente e levou à inversão tectónica das estruturas formadas durante a distensão mesozoica na Bacia Lusitaniana.

Podemos dividir esta inversão em duas etapas principais, nomeadamente a fase compressiva, **Pirenaica** (Final do Cretácico – Paleogénico) e a **Bética** (Miocénico). No território português as estruturas mais observadas são as de compressão miocénica (Ribeiro et al., 1979).

A compressão **Pirenaica** resultou da colisão entre a Ibéria (solidária com a Placa Africana) e a Placa Euroasiática a partir do campaniano inferior. Desta imensa compressão e como o próprio nome indica, resultaram os Pirenéus, após subducção incipiente no Golfo da Biscaia, bem como outras numerosas estruturas que afetaram sobretudo o Maciço Hespérico durante o Paleogénico (Pinheiro *et al.*, 1996; Galdeano, 2000; Rosenbaum *et al.*, 2002; Liesa & Simón, 2009).

A Fase **Bética** resultou do amalgamento da Ibéria com a Euroásia no final do Oligocénico, a fronteira de placas com maior atividade transferiu-se para sul, ativando movimentações sinistrogira (para a esquerda) na fronteira Açores – Gibraltar, levando à formação da Cadeia Bética no sul de Espanha, bem como diversas outras estruturas como resultado da transmissão das tensões compressivas de sul para o norte na Placa Ibérica (Pinheiro *et al.*, 1996; Morales, Serrano, Jabaloy *et al.*, 1999; Galdeano, 2000; Andeweg, 2002; Jabaloy *et al.*, 2002; Liesa & Simón, 2009).

Sendo assim, de um modo geral, as estruturas béticas no território português estão traduzidas pela reativação cavalgante ou transgressiva dos acidentes tardi-variscos e mesozoicos, pela formação de dobramentos de grande amplitude, pela criação de bacias na frente de cavalgamentos e pela reativação das estruturas salinas (Carvalho, 2013). A cadeia montanhosa da Arrábida é o resultado mais expressivo da transmissão dessa compressão intraplaca (Ribeiro *et al.*, 1979; Kullberg, Kullberg & Terrinha, 2000).

2.2.1.3 - Paleotensões

Desde o final do cretácico a microplaca ibérica tem vindo a ser sujeita a um regime tectónico generalizadamente compressivo. Este regime depende da combinação e modo de transmissão intraplaca de três forças principais, as resultantes da convergência a norte com a placa Euroasiática, as resultantes da convergência a sul com a Placa Africana e as resultantes da expansão oceânica atlântica (*ridge push* atlântico) (Andeweg, 2002; Cloetingh *et al.*, 2002; Liesa & Simón, 2009).

Relativamente à bacia lusitaniana no território português os dados relativos aos campos de tensão durante o cenozoico são bastante escassos, contudo a partir de inúmeras direções preferenciais de compressões determinadas ao longo dos anos para Ibéria, Liesa &

Simón, 2009, admitem que elas resultam de três campos compressivos intraplaca principais e independentes, mas que se sobrepõem no espaço e no tempo:

- NE-SW – é a tensão de âmbito mais regional na Ibéria e terá prevalecido essencialmente do Eocénico ao Oligocénico superior. Resulta da combinação do *ridge push* atlântico com as tensões transmitidas a partir de norte por efeito da convergência com a Europa.

- NNE-SSW – desde o Oligocénico superior ao final do Miocénico e correlaciona-se com o envolvimento do soco na convergência pirenaica, assumindo o *ridge push* atlântico um papel secundário.

- WNW-ESE a NW-SE – desde o Eocénico ao Miocénico inferior. Sempre relacionada com o *ridge push* atlântico e sua combinação inicial com a convergência na margem oriental da Ibéria nos estádios originais da orogenia (convergência WNW-ESE) e, posteriormente, com a tensão transmitida de sul devido à convergência com a Placa Africana, inicialmente segundo NNW-SSE.

Em Portugal, estes campos de tensão, na região correspondente à BL, durante o cenozoico são escassos. Como já referido, a génese das principais bacias cenozoicas estará associada a compressões orientadas NE-SW, a partir do Eocénico médio. Particularmente para a Bacia do Baixo Tejo, Barbosa, 1995, admite que a sua evolução terá decorrido sob influência de tectónica compressiva orientada segundo N-S, do Oligocénico superior ao início do Miocénico superior e, posteriormente, segundo NNW-SSE.

Outros autores basearam-se em estilólitos, que são estruturas diagenéticas (ou seja, que se formam após a sedimentação, já no interior das sequências rochosas) muito características de ocorrer sobretudo em rochas sedimentares como resultado de dissolução por pressão direccionada, também referida pelo termo anglo-saxónico "stress" (Heald, 1955), estruturas estas, também foram observadas em alguns calcários de Casal Farto.

Os critérios cinemáticos de planos de falhas e respetivas relações de corte, também suportam a teoria de alguns autores para determinar os campos de tensão cenozoico no território português (Carvalho, 2013).

2.2.2 – Morfologia

No MCE distinguem-se três unidades morfoestruturais elevadas, nomeadamente, a Serra dos Candeeiros, o Planalto de Santo António e o Planalto de São Mamede (figura 6).

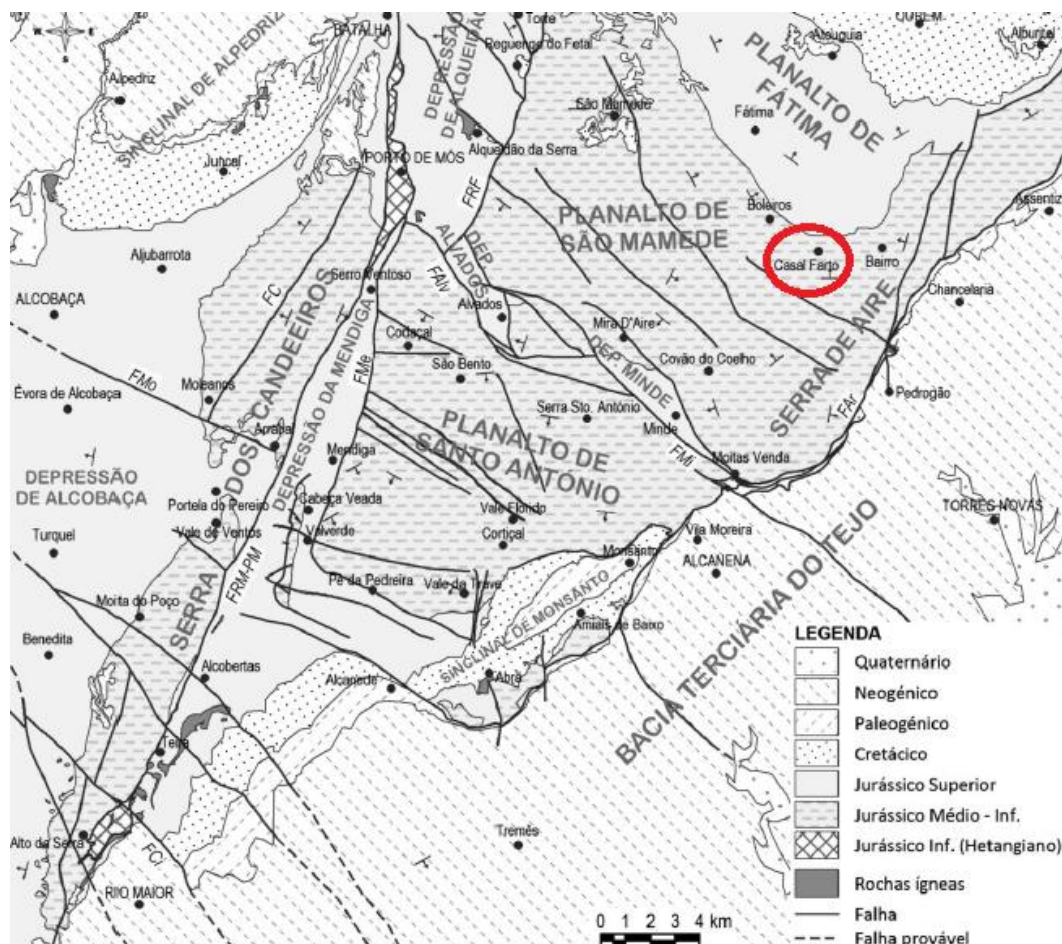


Figura 6 -- Carta geológica simplificada do MCE com definição das principais unidades morfoestruturais (FAR- Falha do Arrife, FAIV- Falha de Alvados, FC- Falha dos Candeeiros, FCI- Falha do Cidral, FME- Falha da Mendiga, FMI- Falha de Minde, FMO- Falha de Moleanos, FRF- Falha de Reguengo do Fetal e FRM-PM- Falha de Rio Maior – Porto de Mós; geologia adaptada da Carta Geológica de Portugal à escala 1/50000 (retirado de Carvalho, 2013).

Considera-se neste trabalho que o Planalto de São Mamede engloba a chamada Plataforma de Fátima, definida por Martins, 1949, e que a Serra de Aire constitui um prolongamento ainda mais elevado desse planalto para sudeste, local aonde se localiza a nossa área-alvo de estudo. Estas unidades morfoestruturais estão separadas por zonas deprimidas associadas a importantes acidentes tectónicos:

- A depressão da Mendiga (associada às falhas da Mendiga e de Rio Maior – Porto de Mós) e sua continuação para norte, pela Depressão de Alqueidão (associada à Falha de

Reguengo do Fetal), separam a Serra dos Candeeiros do Planalto de Santo António e do Planalto de São Mamede, respetivamente (Carvalho, 2013).

- As depressões de Alvados e de Minde, associadas ao sistema de Falhas de Alvados – Minde, separam o Planalto de Santo António do Planalto de São Mamede e da Serra de Aire (Carvalho, 2013).

2.2.3 – Falhas Principais

A relação entre a morfologia do MCE e as suas estruturas está muito correlacionado, assim sendo, e também segundo Carvalho, 2013, pode-se dizer que existem três direções preferenciais da orientação das falhas:

-Os acidentes NNE-SSW são os mais frequentes e integram 4 grandes falhas: a Falha dos Candeeiros que limita a Serra com o mesmo nome a Oeste, a Falha de Rio Maior – Porto de Mós que limita essa Serra do lado oriental, o sistema constituído pela Falha da Mendiga (no bordo ocidental do Planalto de Sto. António) e pela Falha de Reguengo do Fetal (no bordo ocidental do Planalto de São Mamede) (Kullberg, 2000; Manuppella, Antunes, Almeida *et al.*, 2000).

- No que respeita aos acidentes tectónicos NW-SE, eles estão fundamentalmente representados pelo sistema de falhas escalonadas de Alvados e Minde as quais estão interligadas na região de Alvados, limitando uma zona deprimida. À semelhança das anteriores, terão funcionado como falhas normais durante o período distensivo Mesozoico. A sua atividade terá conduzido à estruturação em *roll over* do bloco a teto, ou seja, o atual Planalto de São Mamede (Ribeiro *et al.*, 1996b; Manuppella *et al.*, 2000). NW-SE é também a direção mais representativa neste estudo, e isto também pode ser explicado pela localização do núcleo de extração da Filstone, em Casal Farto (figura 6).

-Quanto à direção NE-SW, ela está sobretudo representada pela Falha do Arrife. Esta falha constitui parte do bordo oriental da BL. Durante a compressão miocénica foi reativada em cavalgamento vergente para SE, com descolamento nos depósitos evaporíticos, sem que tenha havido recuperação total da extensão (Ribeiro *et al.*, 1990; Ribeiro *et al.*, 1996b; Manuppella *et al.*, 2000; Kullberg *et al.*, 2013).

2.2.4 – Litoestratigrafia

A rocha carbonatada encontrada em Casal Farto, o Calcário, é datado como sendo do Jurássico Médio mais concretamente do Batoniano.

Assim sendo, estaríamos na presença de duas formações diferentes ou intercalações das mesmas, a **Formação de Serra de Aire**, e a **Formação de Santo António-Candeeiros**, mais concretamente do Membro Pé da Pedreira (figura 8).

Na **Formação de Serra de Aire**, calcula-se uma espessura de cerca de 400m. Nos primeiros 50m, ou seja, na base desta formação, caracteriza-se pela ocorrência, em geral de sequências cíclicas de calcários e calcários dolomíticos micríticos, cremes e rosados em camadas decimétricas. Na camada inferior/intermédia (>150m), corresponde a calcários micríticos compactos, fenestrados ou oncolíticos, de cores claras, integrando “mudstones” e “Wacke-stone”. Na parte superior (>150m), predominam as litofácies lagunares sobre as peritidais, torna-se assim mais comum a presença de calcários micríticosossilíferos, ou seja, calcários biomicríticos ou pelmicríticos, de cor clara (brancos, cremes, acinzentados) (Azerêdo, 2007).

No Membro Pé da Pedreira, da **Formação de Santo António-Candeeiros**, estima-se uma espessura a rondar os 200m. Na base desta formação, na zona de Pé da Pedreira, na zona Oeste da serra, os depósitos constituem uma unidade lenticular biselando de oeste para leste, no seio dos calcários micríticos da Formação de Serra de Aire, com os quais localmente se interdigitam (Carvalho, 1995) como mostra a figura 7. Estes Calcários apresentam-se como sendo oo/bio/intra/pelsparites “grainstone” a “rudstone”, raramente “pack-grainstones” definem geralmente camadas de espessuras métricas, às vezes intercaladas por níveis descontínuos menos espessos de biopelintramicroites “packstone”. São também característicos desta unidade frequentes níveis de granulometria grosseira, muito rica em bioclastos (Azerêdo, 2007).

Assim, pode-se concluir que no Membro Pé da Pedreira da **Formação de Santo António-Candeeiros** os calcários foram formados em condições de alta energia, gerados em paleoambiente de ilhas-barreira, já na **Formação de Serra de Aire** os calcários presentes formaram-se em ambiente lagunar e pserimareal, nas áreas protegidas antebarrreira (Azerêdo, 2007).

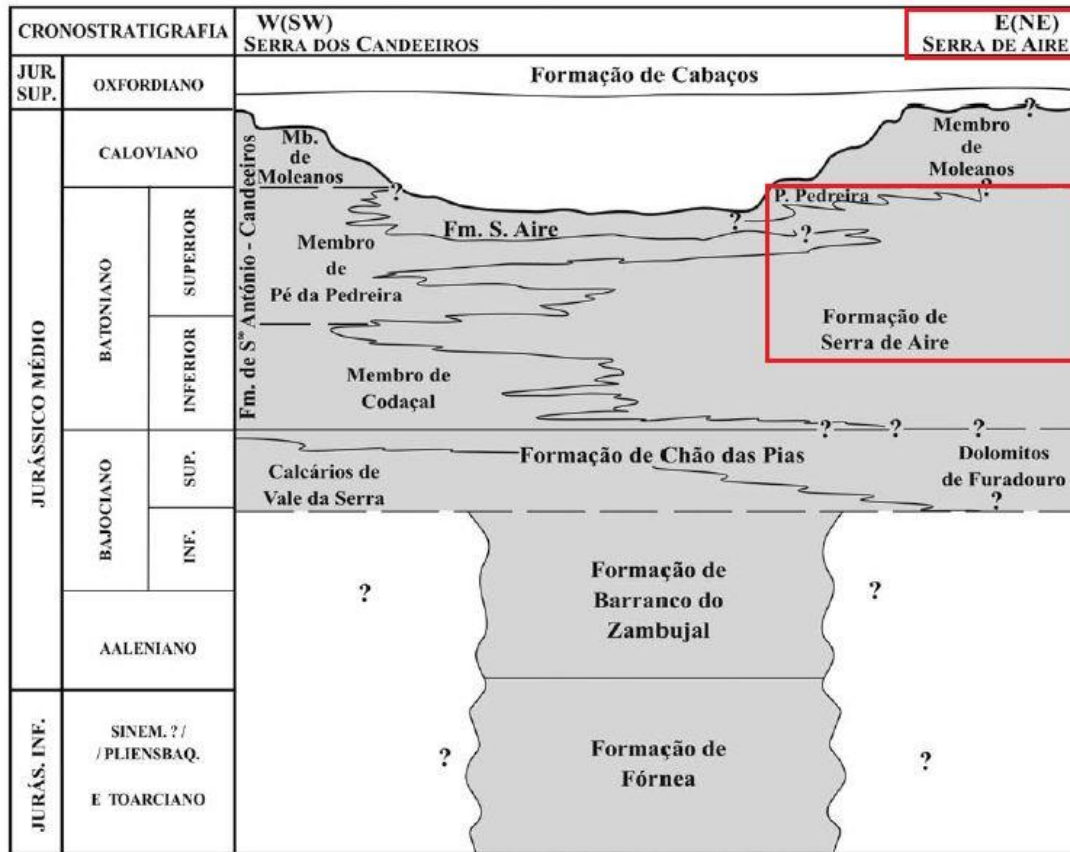


Figura 7 - Unidades litoestratigráficas do Jurássico Inferior e Médio do Maciço Calcário Estremenho (adaptado de Azerêdo, 2007).-

FORMAÇÕES (presente trabalho e <i>AZERÊDO et al., 2003</i>)	MEMBROS (presente trabalho)	Correspondência com MANUPPELLA (1998, 1999) e MANUPPELLA et al. (2000)
	Membro de Moleanos	Calcários de Moleanos
Formação de Santo António-Candeeiros	Membro de Pé da Pedreira	Calcários de Pé da Pedreira + Calcários oolíticos de Reguengo do Fetal + Calcários oolíticos de Fátima
	Membro de Codaçal	Calcários bioclásticos de Codaçal
Formação de Serra de Aire		Calcários micríticos de Serra de Aire
Formação de Chão das Pias	Dolomitos de Furadouro	Dolomitos de Furadouro + Calcários e dolomitos de Montinhoso
	Calcários de Vale da Serra	Calcários de Chão das Pias + Calcários de Vale da Serra
Formação de Barranco do Zambujal		Calcários margosos e margas de Zambujal
Formação de Fórnea		Margas e calcários margosos de Fórnea

Figura 8 - Correspondência entre as unidades litoestratigráficas propostas neste trabalho, em Azerêdo et al. (2003) e na cartografia mais recente da região do Maciço Calcário Estremenho (adaptado de Azerêdo, 2007).

2.2.5 – Hidrogeologia

A carsificação desta região é intensa, apesar de corresponder a um carso jovem. Contudo, ainda conserva vestígios de um regime de erosão ante-cársica e que em muitos lugares apresenta ainda os depósitos detríticos que cobriam a superfície infracretácica (Manuppella et al., 1985). O Carso desenvolveu-se por fases, relacionadas com os períodos cenozóicos de estabilidade, permitindo assim a formação de níveis de aplanção à superfície e o desenvolvimento de redes de galerias subterrâneas escalonadas por andares (Manuppella et al., 1985).

As estruturas cársicas presentes são muito variadas e das mais espetaculares do país. Nelas se incluem: megalapiás, lapiás de diversos tipos, dolinas e mais raramente uvalas, algares e redes de galerias subterrâneas (Manuppella et al., 1985).

Relativamente ao comportamento do aquífero, é um sistema muito complexo, caracterizado pela existência de um número reduzido de nascentes perenes e várias nascentes temporárias com caudais elevados, mas com variações muito acentuadas ao longo

do tempo. Os vários subsistemas constituintes delimitantes, coincidem com as morfoestruturais que dividem o MCE, já anteriormente referidas neste trabalho (figura 6).

Quanto à nossa área de estudo, está situada no sector do Planalto de S. Mamede e Serra de Aire, sendo que este é essencialmente drenado pelas nascentes dos rios Lis e Almonda. Outras nascentes menos importantes, temporárias ou permanentes, situam-se no bordo de NE, destacando-se a Nascente de Bezelga. A nascente do Almonda, designada originalmente por Olho de Moinho da Fonte, é a mais importante (Almeida et al., 2000).

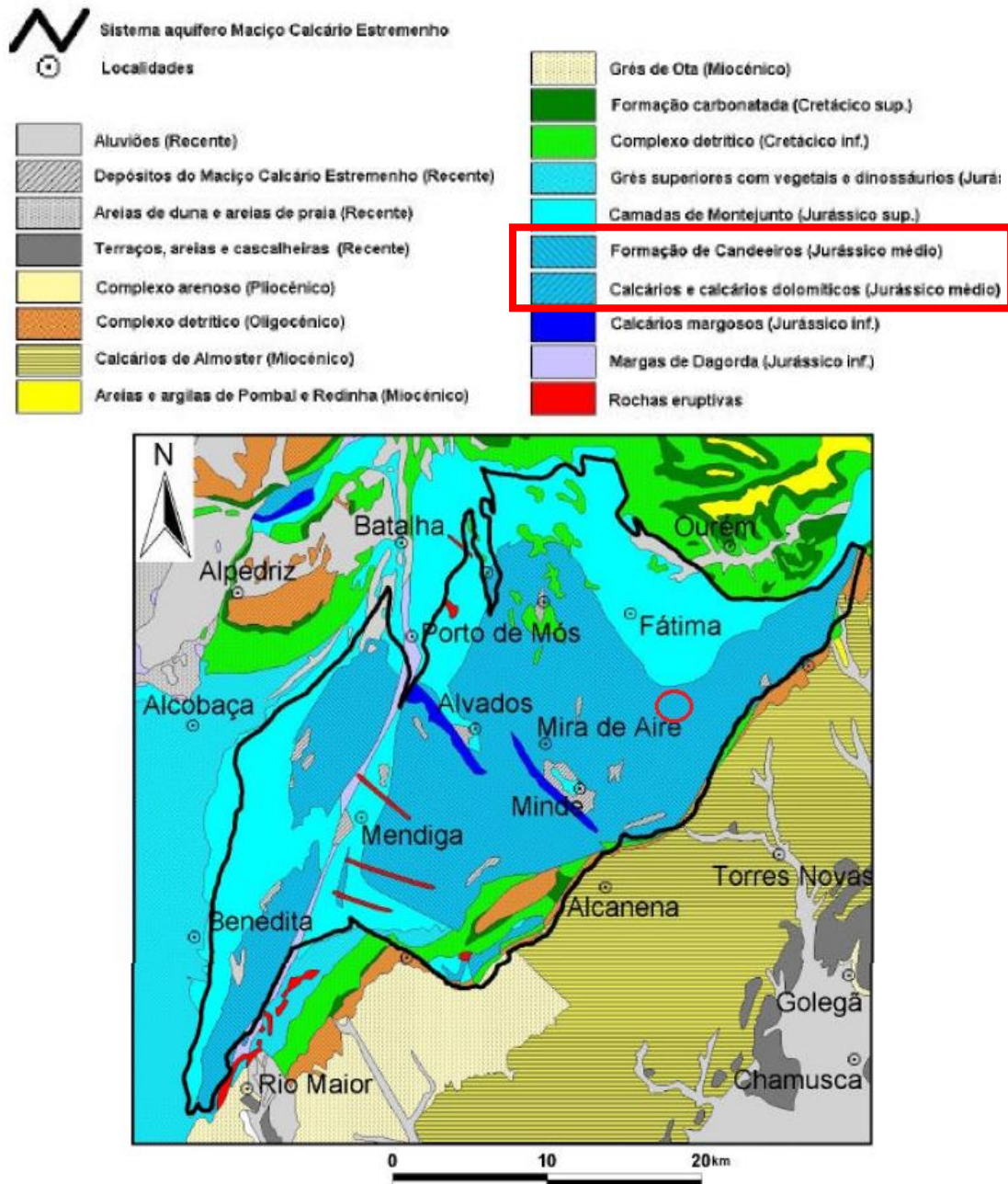


Figura 9 - Enquadramento litoestratigráfico do sistema aquífero (adaptado de Almeida et al., 2000).

CAPÍTULO 3 – MÉTODOS E METODOLOGIA

Relativamente à metodologia e métodos, dividiu-se o trabalho em duas fases distintas, que se acabam por correlacionar, inicialmente um trabalho de campo “in situ”, que consistiu em retirar a atitude das descontinuidades, bem como as fotografias para a modelação e posteriormente um trabalho de gabinete mais direcionado para uso de programas informáticos, da qual usou-se esses mesmo modelos para retirar as atitudes.

Por fim comparou-se os dados pelos dois métodos distintos, efetuando-se assim a sua caracterização estrutural (figura 10).

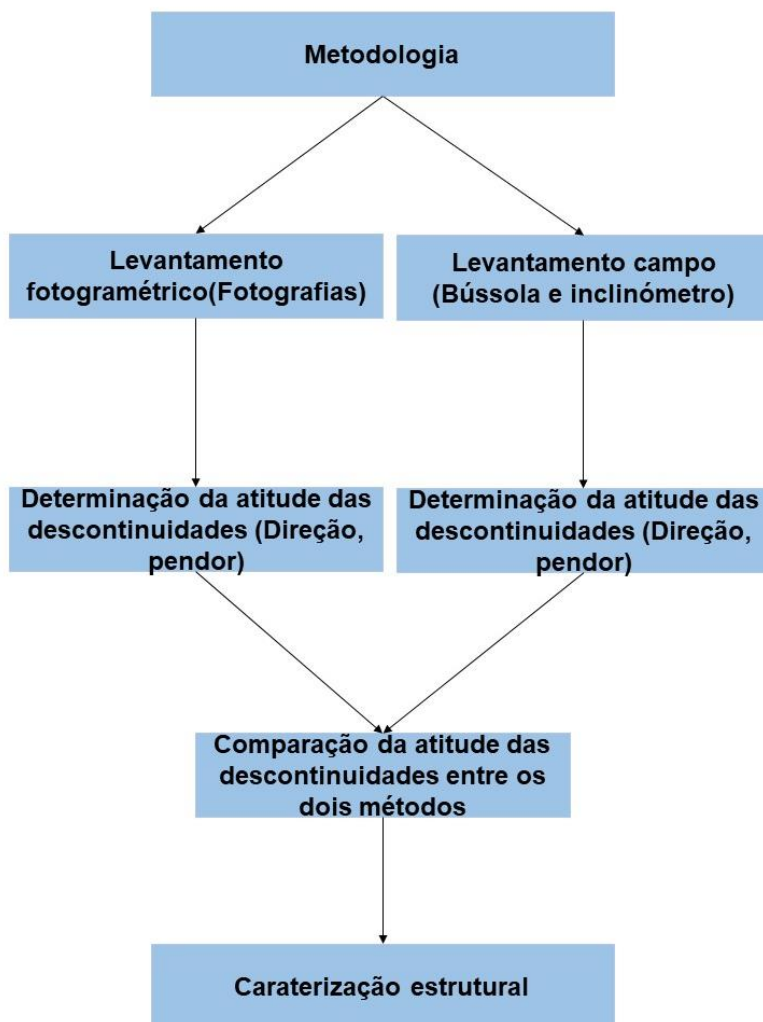


Figura 10 - Fluxograma da metodologia (adaptado de Duarte,2018).

3.1 - Trabalho de Campo

Nesta primeira fase de trabalho, através de conversações com o Engenheiro Delfim da Filstone e com o orientador João Marques Duarte, foi determinado quais frentes de desmonte iriam ser alvo do estudo da fotogrametria, optou-se pelas três frentes de maior realce de exploração, que se situavam no piso 4 da pedreira. Apesar da maior incisão nestas três faces, foi efetuado um estudo da fracturação em quase toda a pedreira.

Para uma melhor percepção de enquadramento geográfico, dividiu-se as frentes fotogramétricas de maior foco com uma nomenclatura numérica, nomeadamente um, dois e três como mostra a figura 11.



Figura 11 - Localização espacial das três frentes de maior ênfase.

Em cada uma destas “talhadas” (nome característico dado à frente de desmonte), teve-se que efetuar medições do estudo da fracturação e da sua ocorrência (Figura 12). A principal ferramenta utilizada era a bússola com inclinómetro, da qual retirou-se os valores de direção do plano de fracturação e respetivo pendor e sua direção.

Um dos principais entraves para a realização dos modelos com a melhor precisão possível, era a elevada velocidade de extração da empresa, uma vez que estamos a falar de uma das maiores empresas em Portugal a explorar rochas ornamentais o que de certa forma também produz um certo grau de exigência para que tudo isto seja realizado com êxito. O facto de haver sempre máquinas de corte (figura 14), trabalhadores, dumpers, escavadoras, cama de pedra (figura 13). Que ao atravessar de um lado para o outro, não permitiu por vezes que o processo fotogramétrico fosse realizado com a maior das eficiências, principalmente na base das talhadas, o que se traduziu numa qualidade inferior ou mesmo no corte de algumas partes dos modelos, caso que ocorreu e pode ser observado nos três casos, mas principalmente nas talhada 1 e 2.



Figura 12 - A e B: Medições nas descontinuidades observadas em Casal Farto.



Figura 13 - Talhada 2, prestes a tombar, com cama de pedra situado à sua frente.

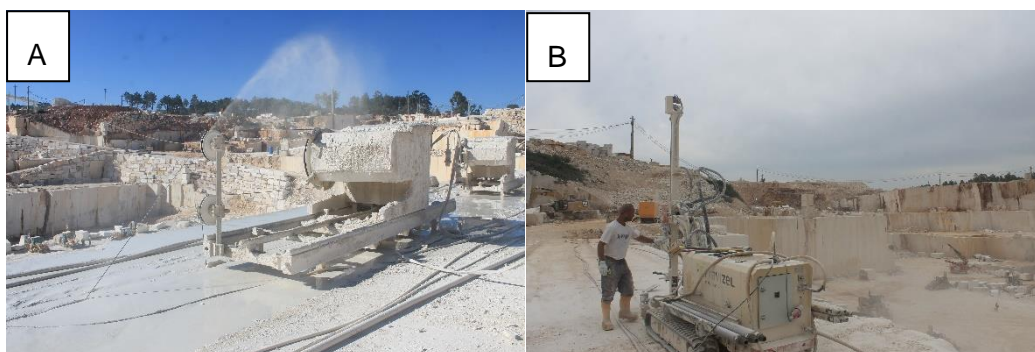


Figura 14 - A e B: Máquinas de fio diamantado usadas essencialmente para cortes verticais.

Para finalizar o trabalho de campo e para o uso da técnica de fotogrametria, procedeu-se à cobertura fotográfica, que irá ser explicada minuciosamente no subcapítulo seguinte.

3.2 – Uso de programas informáticos

3.2.1 - Captação

Um dos objetivos fundamentais desta dissertação, é a aplicação da técnica de fotogrametria, neste caso aplicada à exploração de calcários da Filstone. Uma das ferramentas indispensáveis à realização deste capítulo e o seguinte foi o programa informático Agisoft Photoscan, para além da máquina fotográfica, uma Canon EOS 1100D. O Agisoft Photoscan é um software de processamento de imagem com capacidade para recriar essas mesmas imagens em modelos de três dimensões.

Na figura 15 apresenta-se as especificações utilizadas tanto da câmara como da imagem em si, ao longo deste estudo.

câmara		Imagem	
Fabricante da câmara	Canon	ID de Imagem	
Modelo da câmara	Canon EOS 1100D	Dimensões	4272 x 2848
F-stop	F/14	Largura	4272 pixéis
Tempo de exposição	1/200 seg.	Altura	2848 pixéis
Velocidade ISO	ISO-100	Resolução horizontal	72 ppp
Compensação de exposição	0-passo	Resolução vertical	72 ppp
Distância focal	18 mm	Profundidade de bits	24
Abertura máxima		Compressão	
Modo de medição	Padrão	Unidade de resolução	2
Distância do exposto		Representação de cor	sRGB
Modo flash	Sem flash, obrigatório	Bits comprimidos/pixel	
Energia de flash			
Distância focal de 35mm			

Figura 15 - Configurações fotográficas utilizadas na Canon EOS 1100D.

Como já referido anteriormente, o processo primordial é a cobertura fotográfica, sendo muito relevante que a precisão e qualidade das fotografias sejam de elevada qualidade. Por isso mesmo antes de se efetuar essa recolha fotográfica, procede-se à calibração da câmara. Para a calibração da câmara é necessário abrir um programa apêndice do Agisoft Photoscan, o Agisoft Lens. Neste é necessário abrir uma espécie de “tabuleiro de xadrez “na qual foram capturadas diversas fotografias a esse mesmo xadrez, de diferentes perspetivas. Estas fotografias eram efetuadas de modo a cobrir a imagem de várias perspetivas (figura 16b). As fotos eram depois carregadas no Agisoft Lens, na qual era disponibilizada automaticamente uma lista de parâmetros calibrados da dita câmara. Estes eram depois gravados num formato de ficheiro específico, e depois no Agisoft PhotoScan, e em cada utilização, abria-se esse mesmo ficheiro para calibrar a dita câmara.



Figura 16 - A: Modo incorreto de realizar a calibração; B: Modo correto de realizar a calibração.

No passo seguinte efetua-se a dita tiragem fotográfica, aqui as fotografias têm que ser sequenciais de modo a perfazer a totalidade do talude de diferentes perspetivas figura 17. Convém mencionar que as fotografias terão de manter a mesma distância para o objeto a ser fotografado, para não induzir o programa em erro, uma vez que diferentes profundidades do mesmo objeto, transmitem ao programa diferentes perceções do dimensionamento do mesmo.

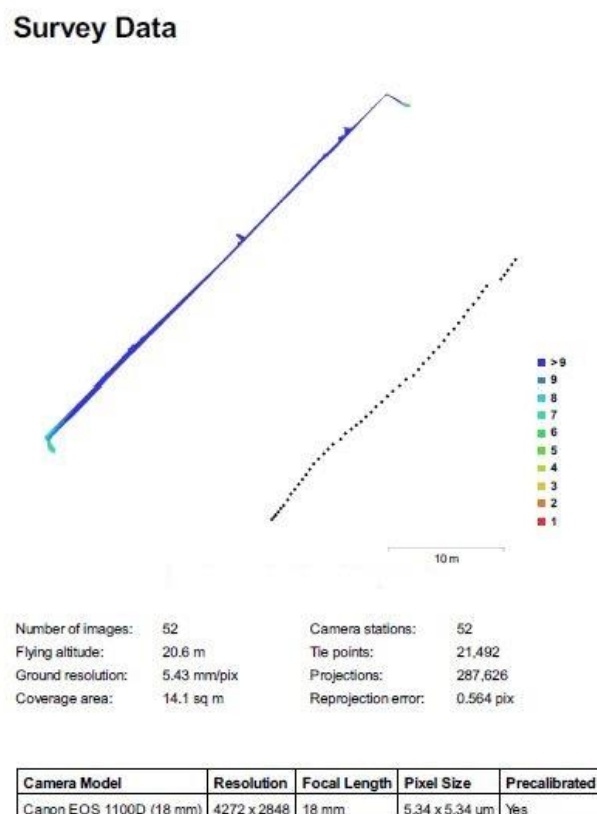


Figura 17 - Localização das câmeras e respetivas características de tiragem.

3.2.2 - Projeção

Após efetuado a captura, passou-se à fase do processamento de dados realizados via informática.

O primeiro passo foi o carregamento das fotos e da calibração da câmara no Agisoft Photoscan, depois, procedeu-se ao primeiro alinhamento das fotos, da qual resultou uma nuvem de pontos dispersa e a respetiva projeção da posição da câmara aquando da fotografia

(figura 18). Na legenda da figura, a azul escuro (>9), os pontos com maior sobreposição, que são identificáveis em mais de 9 fotografias diferentes, e a vermelho (1) os pontos que apenas são detetados numa única fotografia, ou seja, praticamente inexistentes e de grande imprecisão. O que acontece muitas vezes nesta fase, é a existência de pontos vagos, pontos estes resultam da ausência de um padrão observável da sobreposição de imagens, basicamente são pontos esporádicos, o que à posteriori poderá influenciar de forma negativa a precisão da nuvem de pontos e respetivos modelos. Para isso fez-se uma seleção mais pormenorizada destes pontos através duma ferramenta disponível no Agisoft Photoscan, a seleção gradual, na qual definimos valores mínimos de incerteza na projeção, eliminando assim pontos indesejados.



Figura 18 - Nuvem de pontos dispersa de uma frente da talhada 1.

Terminado a primeira projeção da nuvem de pontos, procede-se ao segundo alinhamento, mas com a particularidade de esta ser uma nuvem de pontos densa, ao invés da anterior que era uma nuvem de pontos dispersa. Esta nuvem já possui características visuais mais perto da realidade observada, uma vez que estamos a falar de uma nuvem com aproximadamente 7 milhões de pontos (figura 19), em comparação com a nuvem anterior, a nuvem dispersa, que tinha uma mera quantia de cerca de 21 mil pontos (figura 18).



Figura 19 - Nuvem de pontos densa de uma frente da talhada 1.

3.2.3 - Georreferenciação

Inicialmente projetou-se uma georreferenciação assistida por meio de um GPS diferencial. Este tipo de GPS possui uma precisão de 15 centímetros, enquanto que GPS comuns têm precisões nominais na ordem dos 15 metros.

Derivado da impossibilidade de usar este equipamento, encontrou-se uma outra alternativa. Neste caso, optou-se por pontos de coordenada de uma nuvem de pontos georreferenciada efetuada via drone, previamente encomendada pela Filstone em estudos anteriores.

A estratégia desta georreferenciação era retirar pontos dos vértices de cada talhada, que teria de incluir vértices da base e do topo, de forma a cobrir os três dimensionamentos (x,y,z).

Para retirar as coordenadas dos eixos x e y optou-se pelo programa AutoCad figura 20-B, uma vez que a planta também já estava georreferenciada, mas apenas em 2D. Para retirar as coordenadas do eixo Z, utilizou-se o software Acute3d figura 20-A.

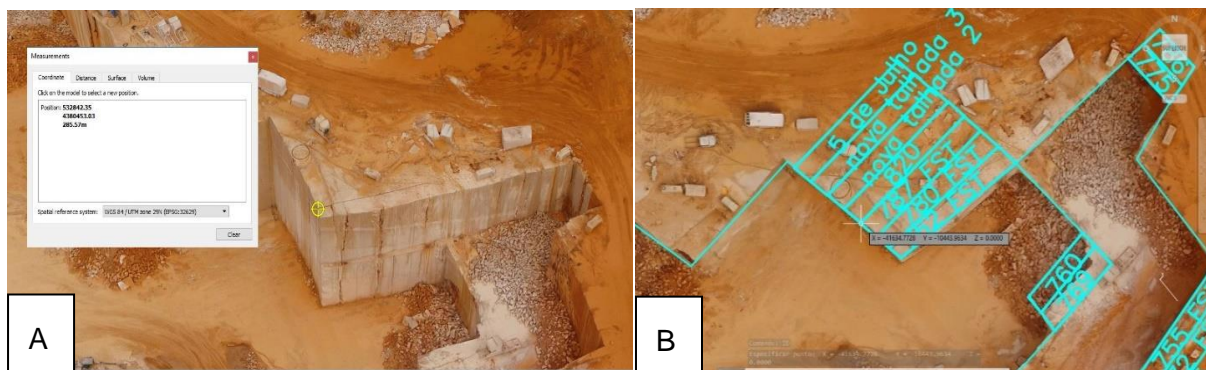


Figura 20 - - A: Coordenadas de Z retiradas do programa informático Acute. B: Cordenadas de X e Y retiradas pelo programa informático AutoCad.

Para a aplicação destes pontos de coordenada regressou-se mais uma vez ao software Agisoft Photoscan.

Para a inserção das coordenadas colocou-se “marcadores” nos respetivos modelos, nos locais de onde se retirou estas mesmas coordenadas, neste caso os vértices, figura 21.

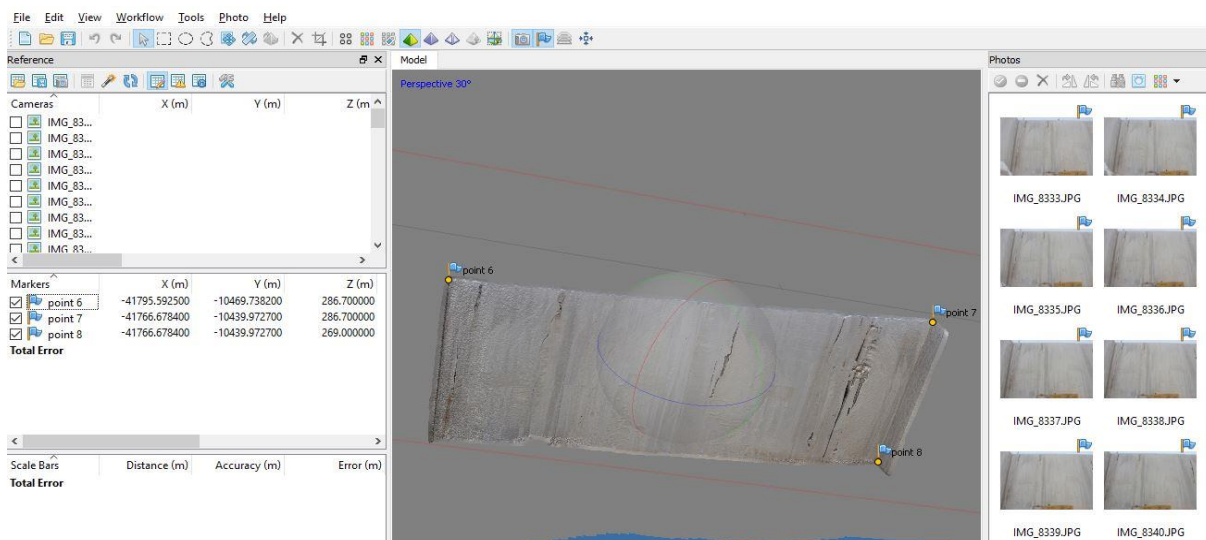


Figura 21 - Colocação de marcadores no programa informático Agisoft Photoscan para a talhada 1.

Com a disponibilização de pelo menos 3 pontos, o programa, por triangulação, conseguiu estimar todos os pontos para esta mesma nuvem, estando assim a georreferenciação efetuada. Para finalizar, exporta-se a nuvem de pontos para um formato de ficheiro específico (Stanford.ply) de forma a poder ser utilizado no passo seguinte. Este formato em comparação com os restantes, mantinha a mesma qualidade exigida, mas

apresentava tamanhos de ficheiros menores, o que facilitava o seu manuseamento no programa informático seguinte.

Todo este processo foi metodicamente efetuado e repetido para a totalidade das frentes de desmonte em estudo.

3.2.4 - Tratamento dos modelos

Depois de concluída a transição de todas as fotos das talhadas para um formato 3D, o próximo passo lógico foi a sua caracterização estrutural (Duarte, 2018).

Para isso utilizou-se um software que permitiu trabalhar nuvens de pontos a 3D, o CloudCompare. Este programa criado em colaboração com as gigantes francesas “Telecom ParisTech” e a “Électricité de France”, começou com uma tese de doutoramento de um francês chamado Daniel Girardeau-Montaut, e permite o processamento de nuvens de pontos 3D, malhas triangulares e imagens calibradas.

O primeiro passo foi carregar todas as nuvens de pontos, de forma a perceber se realmente a georreferenciação estaria bem ordenada pela observação direta das nuvens de pontos. Salienta-se que o programa tem tendência a escalar as coordenadas, uma vez que estas têm dimensões aparentemente demasiado grandes, sendo essencial negar isso ao programa como mostra a figura 22-B.

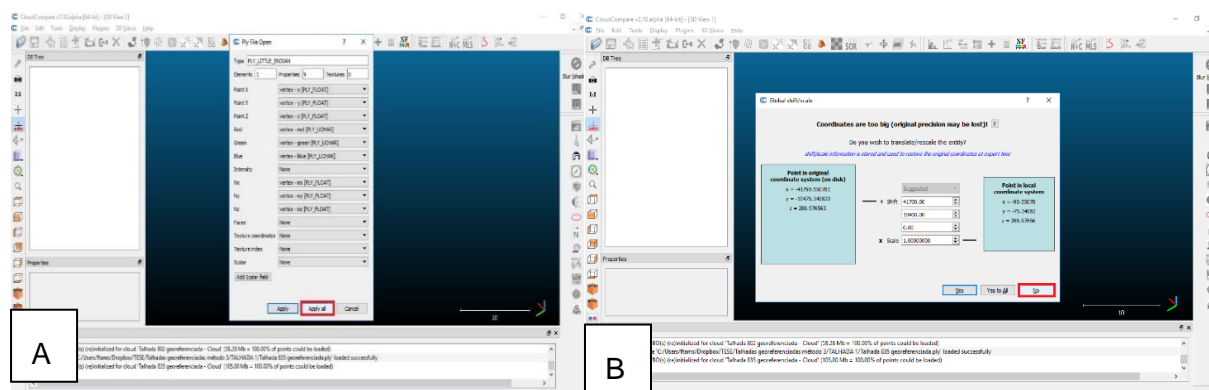


Figura 22 - A: Colocação das características de cor no programa informático CloudCompare. B: Negação ao programa de escalar as coordenadas.

Depois de efetuado o carregamento de todos os modelos, ficamos com o seguinte, como mostra a figura 23.

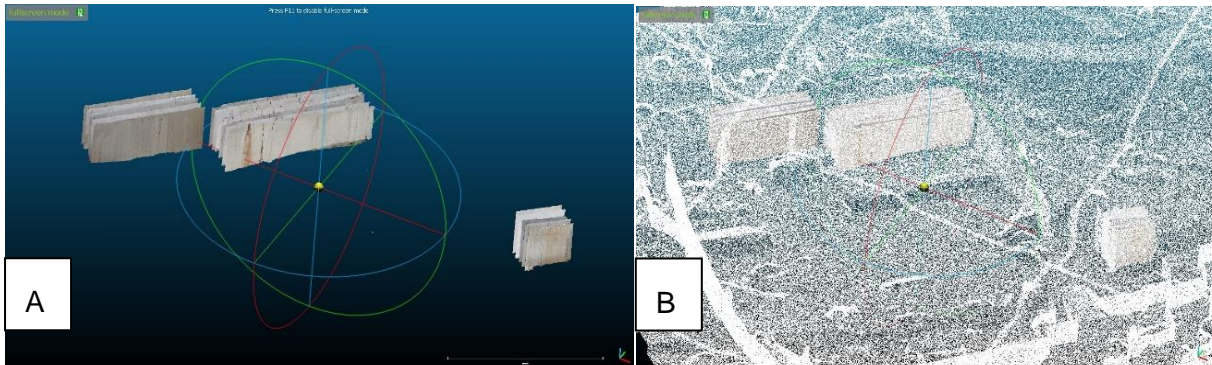


Figura 23 - A: Talhadas alinhadas e georreferenciadas. B: Talhadas Alinhadas e georreferenciadas com a nuvem de pontos geral sobreposta.

Para melhor comparação, na figura 23b, carregou-se também a nuvem de pontos da qual anteriormente retiramos os pontos para a georreferenciação.

De seguida efetua-se as medições das discontinuidades. Como já referenciado anteriormente dividiu-se os diferentes taludes, em Talhada 1, Talhada 2 e Talhada 3, indiferentemente a isto, a metodologia utilizada foi semelhante para os três casos:

1) Carregar todas as talhadas da “1” (exemplo).

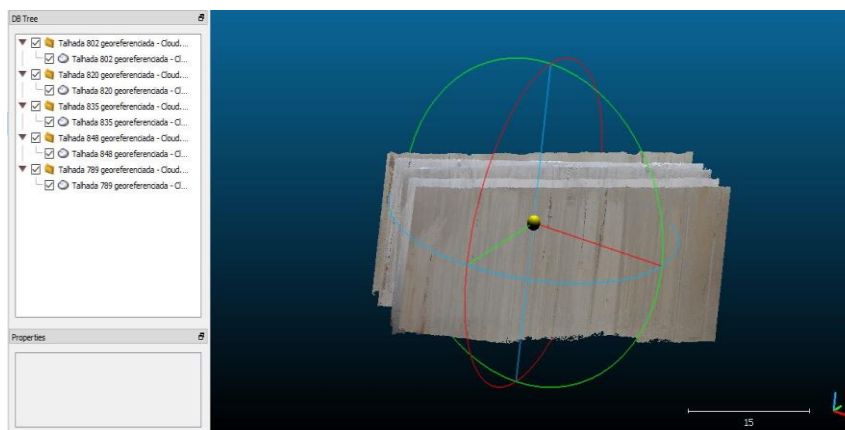


Figura 24 - As cinco frentes da Talhada 1 alinhadas.

- 2) “Merge” das diferentes nuvens de pontos em apenas uma.

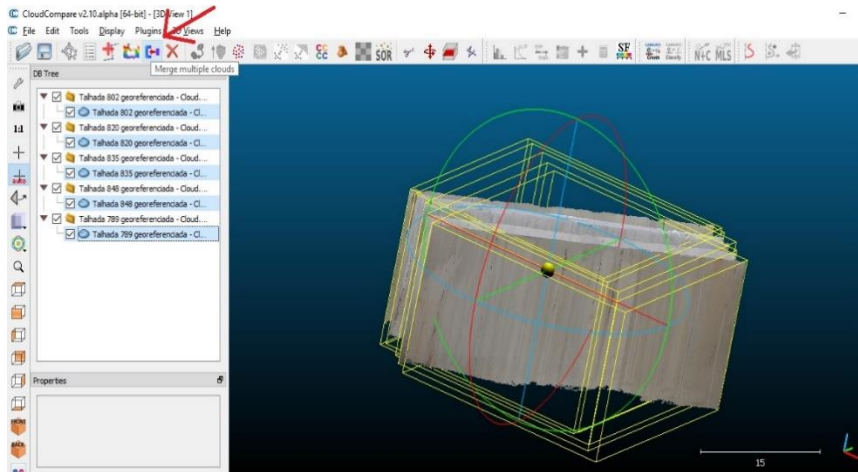


Figura 25 - Frentes numa única nuvem de pontos.

- 3) Seleção da descontinuidade a ser medida e escolha de pelo menos 3 pontos (Point list picking) não colineares da face do plano, em cada talhada que essa mesma descontinuidade atravessa.

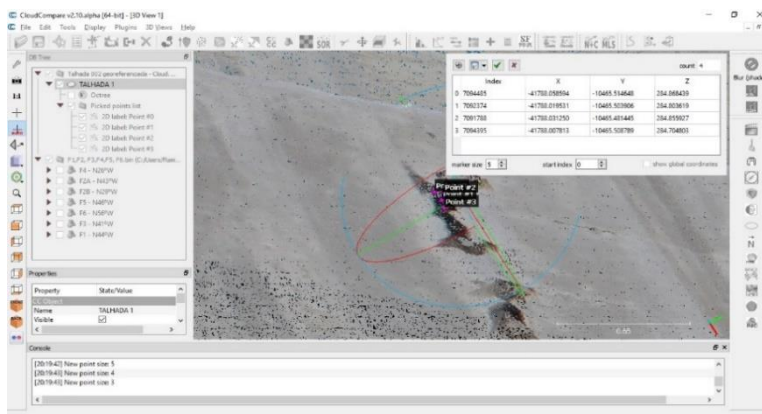


Figura 26 - Seleção de pontos da descontinuidade.

- 4) Com todos os pontos já selecionados, selecionar a opção “new cloud”.

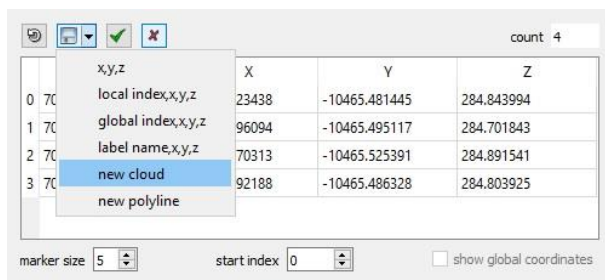


Figura 27 - Materialização da nuvem de pontos da descontinuidade.

- 5) Selecionar a nuvem de pontos anteriormente surgida e determinar o plano da face.

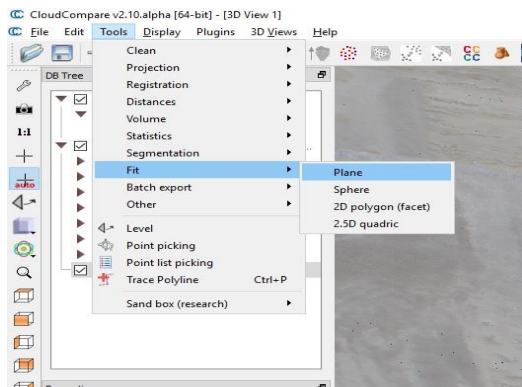


Figura 28 - Materialização do plano das descontinuidades.

- 6) O Produto final, é um plano do qual podemos retirar a respetiva atitude. A sua passagem para uma direção em quadrante, foi feita manualmente e de seguida mudou-se o nome da mesma para essa medição.

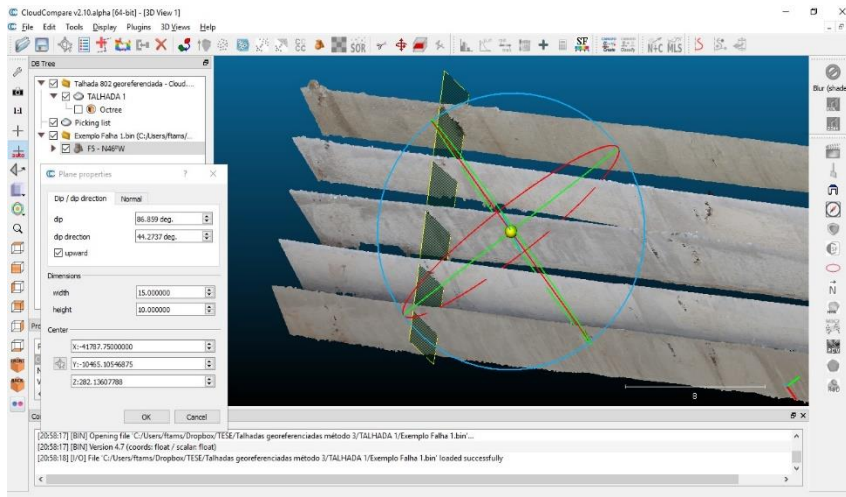


Figura 29 - Descontinuidade retirada da Talhada 1 pelo método fotogramétrico.

- 7) Repetição deste processo para todas as descontinuidades alvo em estudo.

3.3 - Tratamento estatístico das descontinuidades

A forma como o tratamento de dados é realizado é bastante importante, é uma das formas de provar a real eficiência de qualquer método. Nesta dissertação quanto ao estudo estatístico, utilizou-se o Stereonet 10, desenvolvido por Richard Allmendinger's, da Cornell University figura 30.

Este programa permite representar diagramas de rosetas e histogramas através da atitude das descontinuidade estudadas neste estudo. Na figura 30 está representada uma imagem meramente ilustrativa do que esta ferramenta pode realizar.

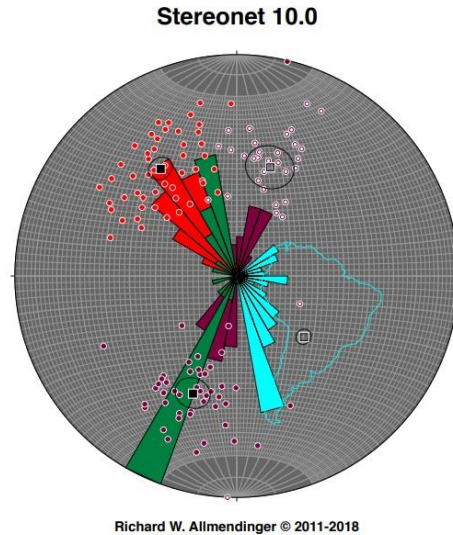


Figura 30 - Imagem ilustrativa da funcionalidade do Stereonet (retirado de Stereonet Help, 2013).

Com a ajuda deste programa informático foi possível esquematizar os resultados obtidos de forma a ter um meio estatístico de comparação entre os métodos efetuados, bem como do estudo geral da fraturação.

CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo irão ser apresentados os resultados obtidos, apresentados na metodologia, bem como a sua discussão. Falaremos inicialmente do método fotogramétrico e depois do método clássico, a bússola.

Na fase seguinte comparou-se os dois métodos, e por fim realizou-se uma apreciação geral de outras medições retiradas ao longo do estudo uma vez que são de alguma forma relevantes para a atividade extrativa. Para a comparação dos dois métodos, realizou-se um estudo estatístico, através de essencialmente diagramas de rosetas. Convém referir que estes dados são meramente estatísticos e não de sentido geológico, representados tanto por vetor médio, como por valores máximos.

4.1 – Fotogrametria

4.1.1 – Talhadas

Relativamente aos modelos propostos obteve-se cinco modelos da Talhada 1, cinco da Talhada 2 e outros cinco da Talhada 3, o que perfaz um total de 15 modelos fotogramétricos. Estes foram retirados sucessivamente, ao longo dos três meses, sendo que a nomenclatura usada pela Filstone é por ordem cronológica de queda da talhada, optou-se também por utilizar essa mesma numeração para este caso de estudo.

4.1.1.1 - Talhada 1

No primeiro caso, a Talhada 1, que fica mais a Oeste foi também a talhada que apresentou um maior rendimento relativamente ao potencial económico (devido ao grande aproveitamento de rocha), pelo menos nestes três meses de estadia.

Obteve-se então 5 modelos (789, 802, 820, 835, 848), sendo que as dimensões médias são 18 metros de altura, 42 metros de comprimento e 2,7m de espessura figura 31. Perfazendo 2041m³ por talude e um total para os cinco modelos de 10205m³ de rocha extraída.

Podemos denotar a fraca qualidade da base dos modelos, já anteriormente referida, bem como de alguma mudança de tonalidade da rocha, que também pode ser explicado pelas condições climáticas, tanto da humidade como exposição solar.

Outra característica também observada, é a presença de descontinuidades com maior abertura nas talhadas mais recentes, nomeadamente na 835 e na 848.

A maior presença de fraturação do lado direito dos modelos poderá ser explicada pela proximidade à Talhada 2, bem como do avanço contínuo para uma zona de maior fracturação que irá ser esmiuçada num subcapítulo mais à frente.

Também a descontinuidade mais evidente do lado esquerdo dos modelos, principalmente no modelo 848, foi uma descontinuidade prevista pela fotogrametria, uma vez que foi possível observar uma convergência de duas descontinuidades que ao fundirem-se formaram uma descontinuidade de maiores dimensões.

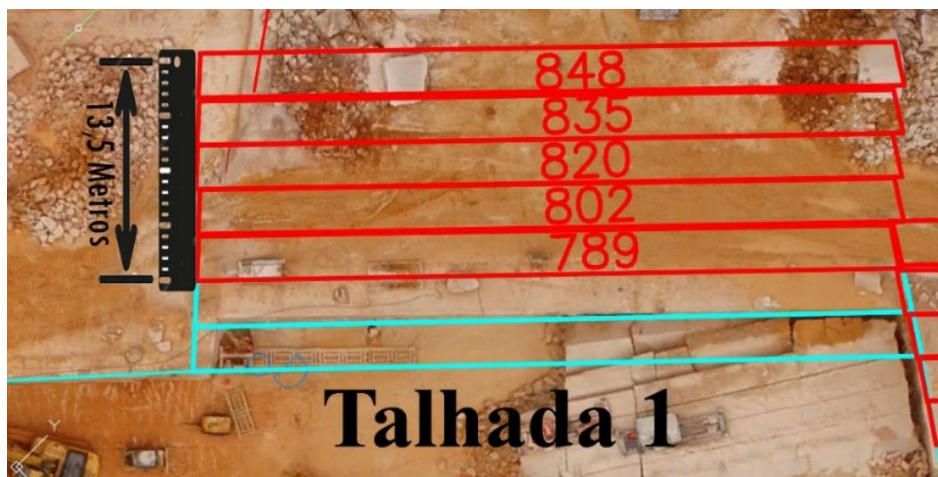


Figura 31 - Vista aérea das frentes alvo relativamente à talhada 1 (adaptado do autocad).

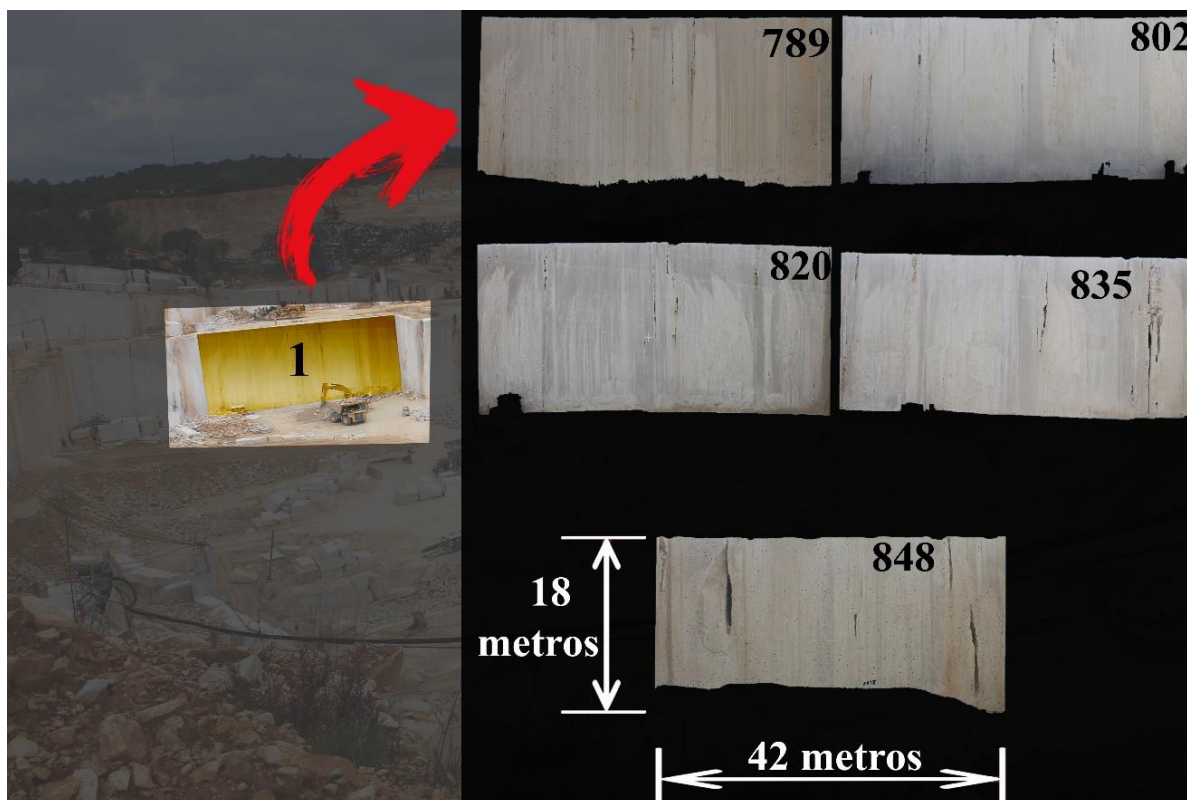


Figura 32 - Modelos resultantes da fotogrametria da talhada 1.

4.1.1.2 - Talhada 2

Já na Talhada 2, a maior das três, apresenta-se com dimensões médias de 18 metros de altura, 55 de comprimento e espessuras de 2.7m, o que dá 2673 m³ por talude e um total para os cinco modelos de 13365 m³ figura 34.

Esta Talhada devido às suas grandes dimensões ainda carece mais do problema da Talhada 1, uma vez que neste caso os trabalhos de furação da rocha e a adição e remoção da cama de pedra eram feitas de forma faseada, ou seja, é como que esta talhada tenha sido fracionada em duas. Este episódio ocorreu já em fase média do nosso estágio, devido à dificuldade de corte e queda desta talhada que tinha tendências a fraturar-se aquando a queda. Apesar disto manteve-se a mesma metodologia e nomenclatura inicialmente registada. Neste caso, a fraturação está quase toda presente no flanco esquerdo dos modelos. Ora isto também pode ser explicado pelo fato desta lateral ser uma das frentes livre, que por motivos de descompressão poderá acentuar estas discontinuidades, para além da proximidade a uma zona de maior fraturação da rocha.

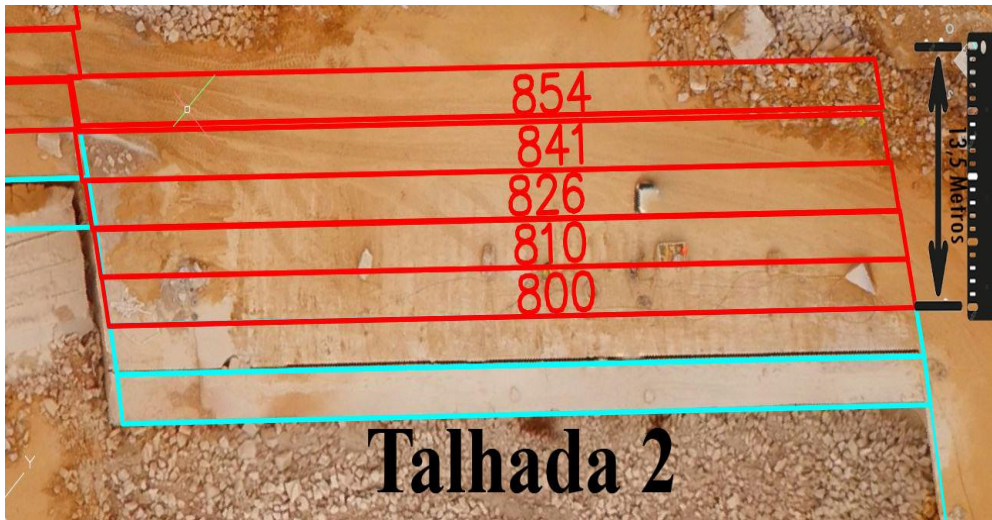


Figura 33 - Vista aérea das frentes alvo relativamente à talhada 2.

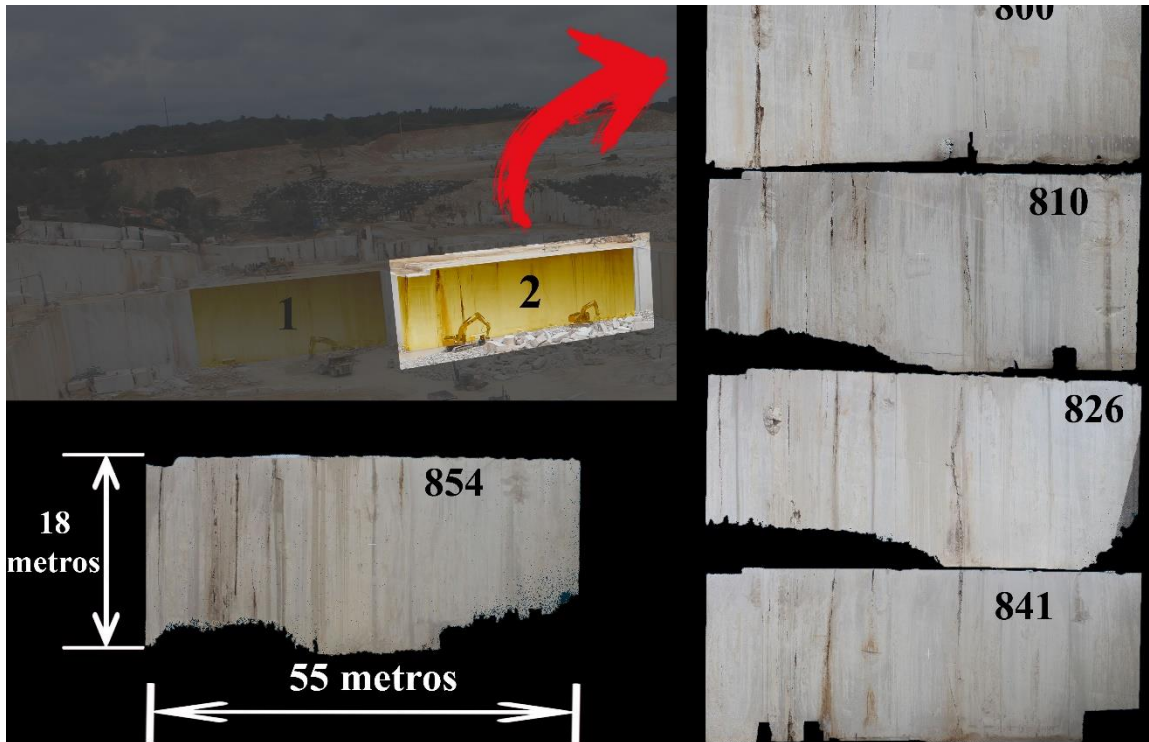


Figura 34 - Modelos resultantes da fotogrametria da talhada 2

4.1.1.3 - Talhada 3

A Talhada 3, é já um pouco diferente dos outros dois casos. Esta encontra-se um pouco distanciada da 1 e da 2, situando-se mais a ESTE que as restantes. Também o tamanho da mesma é bastante díspar, é bastante mais pequena, e apresenta medidas médias de 18 metros de altura, 19 metros de comprimento e 2,7 metros de espessura (figura 36), perfazendo 923m³ por talude e um total para os cinco modelos de 4617m³ de rocha.

Relativamente aos modelos em si, salienta-se nos primeiros três modelos (787,814,852) a presença de umas faixas alaranjadas, que são a resultante da presença de uma matriz silto-argilosa e ferruginosa característica na geologia local. Já nos modelos 839 e 858, é observável uma zona mais escura em forma de “triângulo”, que não é mais que a sombra resultante da luz solar presente no dia da captação das fotos.

Similarmente à Talhada 2, a zona esquerda dos modelos, também se apresenta à partida mais fraturada, podendo de igual modo ser derivado de uma das frentes livres ser daquele flanco.

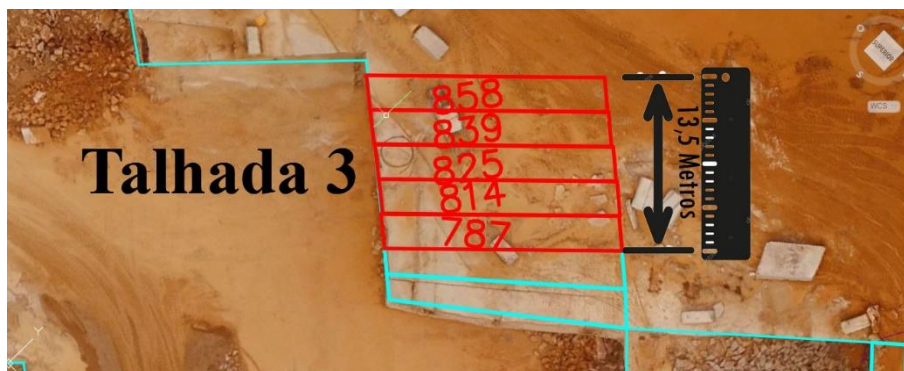


Figura 35 - Vista aérea das frentes alvo relativamente à talhada 3.

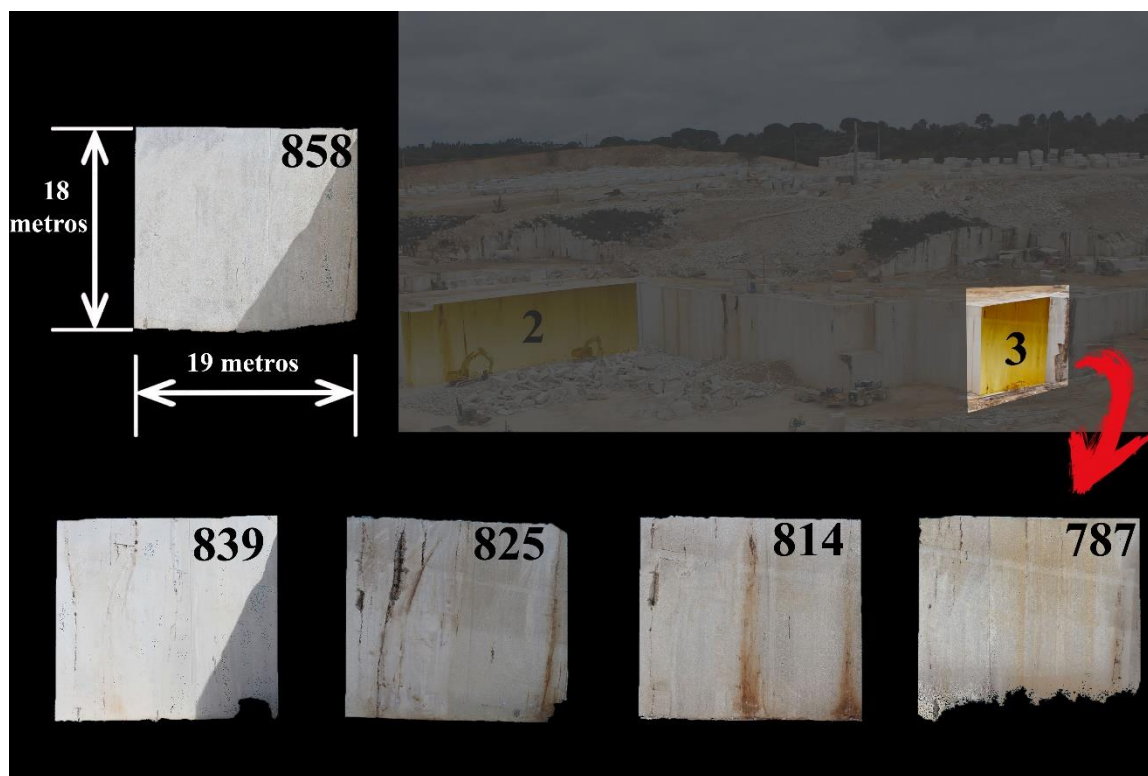


Figura 36 - Modelos resultantes da fotogrametria da talhada 3.

4.2. – Orientações das descontinuidades

Apesar do que aparenta ser um número reduzido de medições para cada talhada, convém referir que estas zonas da pedreira são especialmente boas pela fraca ocorrência de fraturação. Estas, na sua maioria apresentam-se com pendores subverticais, e por isso na maioria dos casos apenas se colocou a direção do plano.

No caso da Filstone e da maioria das empresas extrativas de rocha ornamental, procura-se que o avanço da pedreira seja perpendicular às suas descontinuidades, de forma a facilitar o corte, bem como todo o aproveitamento em geral. Efetuou-se medições, e foi determinado que o avanço da pedreira, rondaria o valor de $N45^{\circ}E$. Com este valor, concluiu-se que a direção ideal para as descontinuidades seria por volta de $N45^{\circ}W$, de maneira a paralelizar as diferentes descontinuidades da talhada como mostra a figura 37.

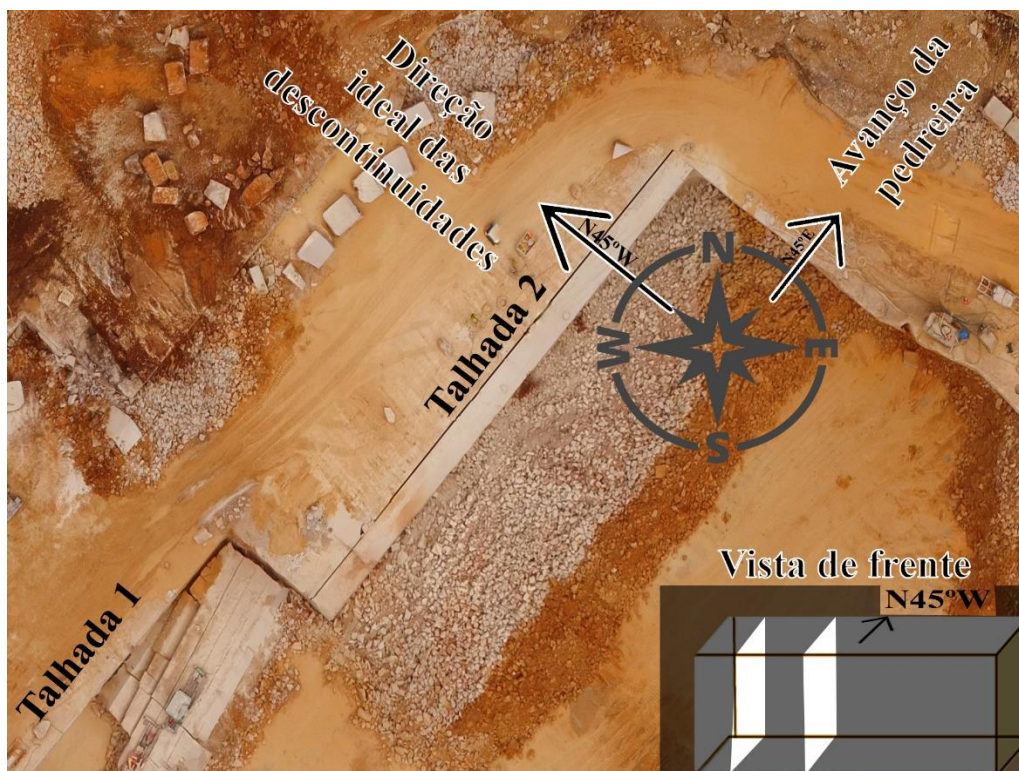


Figura 37 - Imagem representativa do avanço da pedreira.

Desta forma procurou-se determinar as famílias de descontinuidades pelos dois métodos, correlacionando a direção ideal, N45°W, com o diagrama de rosetas de cada uma das frentes. A cor verde é representativa da família de descontinuidades dita “ideal” uma vez que é a família que se apresenta mais perto da direção ideal. Assim, ficamos com as seguintes cores e respetivas descontinuidades:

Tabela 1 - Famílias de descontinuidades.

NOMENCLATURA	INTERVALO DE ATITUDE
AZUL TURQUESA	N25°W-N33°W
COR-DE-ROSA	N34°W-N40°W
VERDE	N41°W-N°48W
AMARELO	N49°W-N54°W

CINZENTO	N55°W-N65°W
VERMELHO	N65°W-N75°W

4.2.1 – Método fotogramétrico

As atitudes obtidas por este método, são o fruto de uma série de agregações, que culminaram em 3 meses de dados recolhidos, e de 15 frentes de desmonte analisadas.

O procedimento aqui apresentado foi único e exclusivamente efetuado por meio fotogramétrico.

4.2.1.1 - Talhada 1

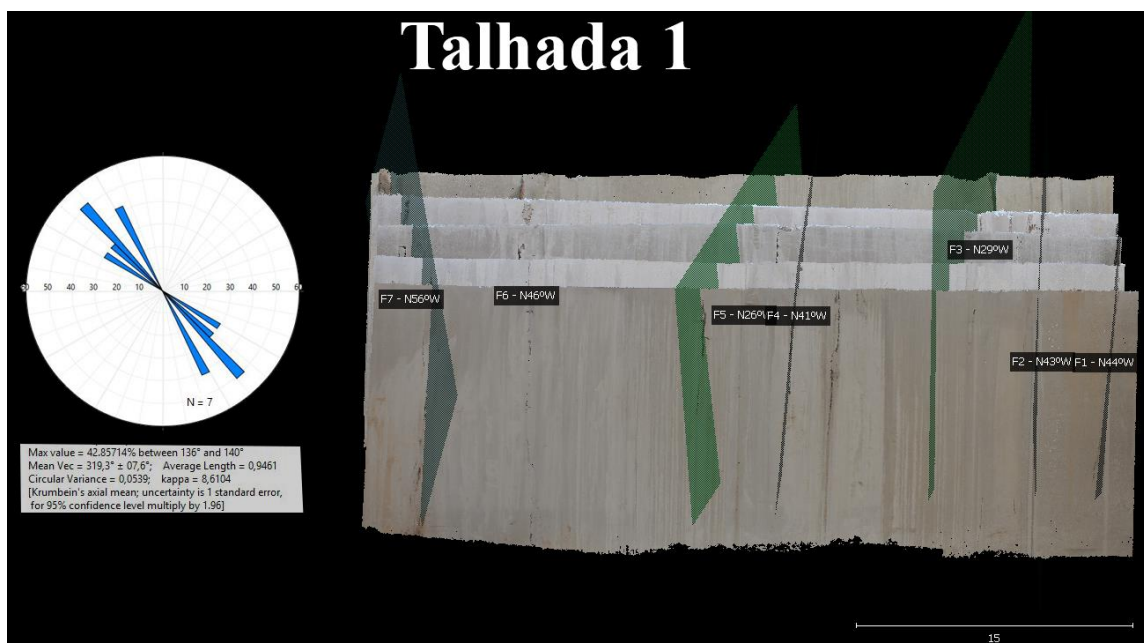


Figura 38 - Descontinuidades extraídas da fotogrametria relativamente à talhada 1.

Os cinco modelos da Talhada 1, foram devidamente georreferenciados e posicionados com as respetivas medições executadas, pelo método anteriormente mencionado no capítulo 3, e estão representados na figura 38. Na tabela 2 estão registadas as atitudes retiradas da figura 38.

Tabela 2 – Famílias de descontinuidades observadas na talhada 1.

NOMENCLATURA DA DESCONTINUIDADE OBSERVADO NA FIGURA 38	DIREÇÃO DA DESCONTINUIDADE
F1	N44°W
F2	N43°W
F3	N29°W
F5	N41°W
F5	N26°W
F6	N46°W
F7	N56°W

No geral apresentam-se com um valor máximo de 43% entre N40°W-N44°W e um vetor médio de N41°W. Destas 7 medições efetuadas, dividiu-se a Talhada 1 em três famílias de descontinuidades diferentes, representas pelas três cores diferentes.

4.2.1.2 – Talhada 2

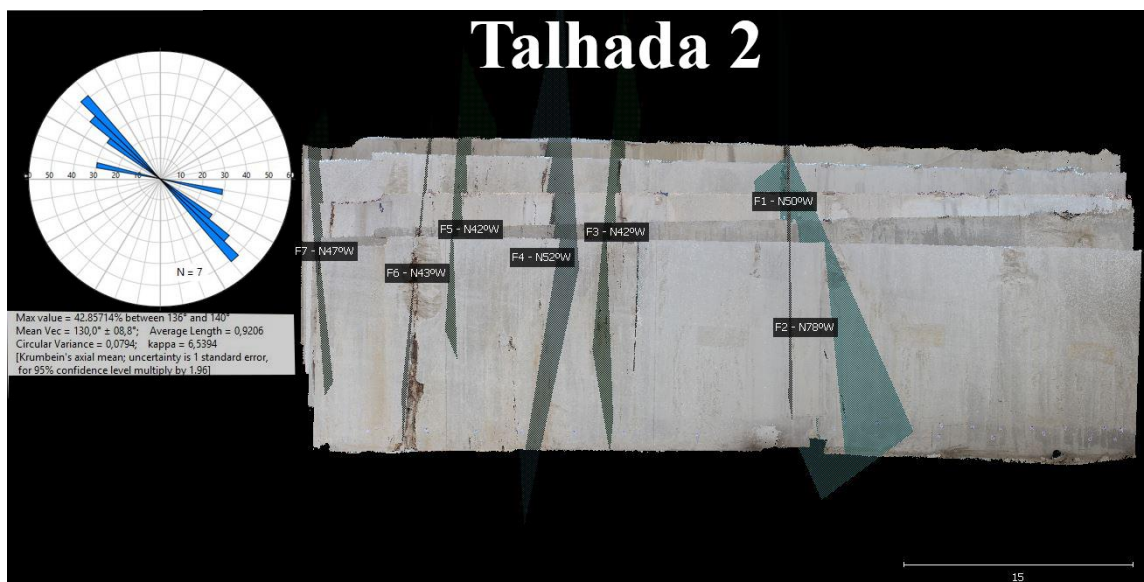


Figura 39 - Descontinuidades extraídas da fotogrametria relativamente à talhada 2.

Os cinco modelos da Talhada 2, foram devidamente georreferenciados e posicionados com as respetivas medições executadas, pela metodologia anteriormente mencionada no capítulo 3, e estão representadas na figura 39. Na tabela 3 estão registadas as atitudes retiradas da figura 39.

Tabela 3 – Famílias de descontinuidades observadas na talhada 2.

NOMENCLATURA DA DESCONTINUIDADE OBSERVADO NA FIGURA 39	DIREÇÃO DA DESCONTINUIDADE
F1	N50°W
F2	N78°W
F3	N42°W
F4	N52°W

F5	N42°W
F6	N43°W
F7	N47°W

Estas apresentam-se também com um valor máximo de 43% entre N40°W-N44°W, mas nesta ocorrência, o vetor médio é de N50°W.

Neste caso a maioria das atitudes estão relativamente próximas umas das outras excetuando a F2, que se apresenta com um valor bastante desigual, o que faz disparar o valor do vetor médio, caso este, que também pode ser observado no diagrama de rosetas da figura 39.

Destas 7 medições efetuadas, dividiu-se a Talhada 2 em três famílias de descontinuidades, que estão representadas pelas três cores distintas.

4.2.1.3 – Talhada 3

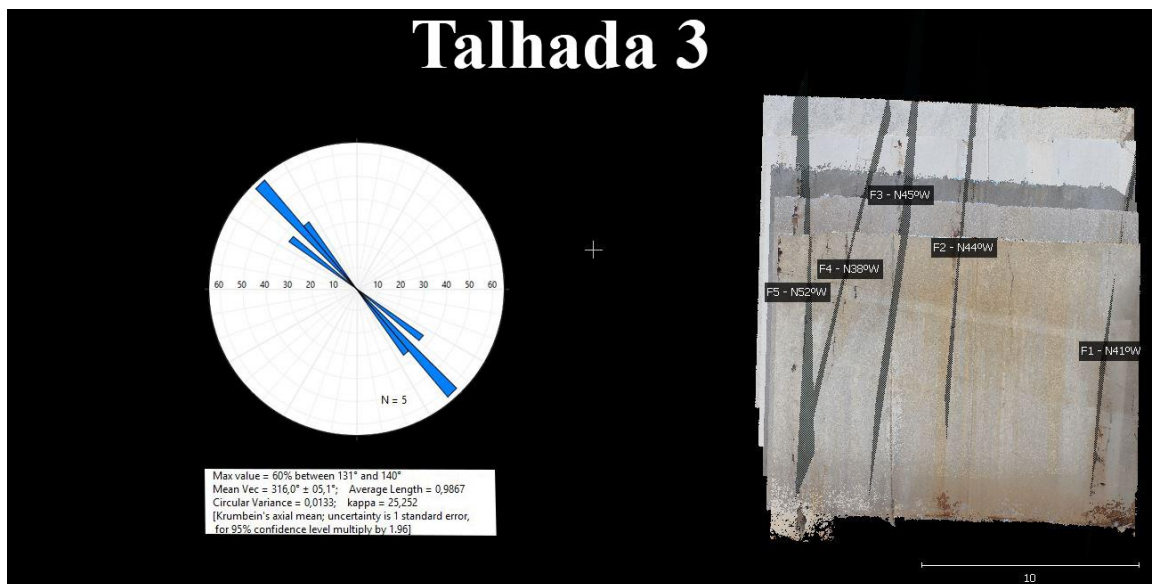


Figura 40 - Descontinuidades extraídas da fotogrametria relativamente à talhada 3.

Os cinco modelos da Talhada 3, foram devidamente georreferenciados e posicionados com as respetivas medições executadas, pela metodologia anteriormente

mencionada no capítulo 3, estão representados na figura 40. Na tabela 4 estão registadas as atitudes retiradas da figura 40.

Tabela 4 – Famílias de descontinuidades observadas na figura 40.

NOMENCLATURA DA DESCONTINUIDADE OBSERVADO NA FIGURA 40	DIREÇÃO DA DESCONTINUIDADE
F1	N41°W
F2	N44°W
F3	N45°W
F4	N38°W
F5	N52°W

Neste caso, as atitudes visualizadas são as mais homogêneas das três talhadas. Apresentam-se com um valor máximo de 60% entre N40°W-N49°W, e um vetor médio de N44°W. Destas 5 medições, dividiu-se em três famílias de descontinuidades, tabela 4.

4.2.2 – Método Clássico

Nesta fase irão ser mencionados os resultados obtidos, com as atitudes retiradas pelo método clássico (bússola).

Estas medições acabam por se apresentar com valores um pouco próximos, uma vez que na maioria dos casos, os planos das descontinuidades, acabam por não ser identificáveis assim tão facilmente. Isto é, as descontinuidades apresentam-se por vezes em locais de difícil acesso e até inacessíveis, ou mesmo pela presença acentuada do pó e lama, resultante do registo contínuo dos trabalhos efetuados na pedreira.

Para uma melhor interpretação e identificação, dividiu-se as atitudes em famílias, que estão representadas pelas seguintes cores e intervalos à margem método anterior:

Tabela 5 - Famílias de descontinuidades para este método.

NOMENCLATURA	INTERVALO DE ATITUDE
AZUL TURQUESA	N25°W-N33°W
COR-DE-ROSA	N34°W-N40°W
VERDE	N41°W-N°48W
AMARELO	N49°W-N54°W
AZUL ESCURO	N55°W-N65°W
VERMELHO	N65°W-N75°W

4.2.2.1 - Talhada 1

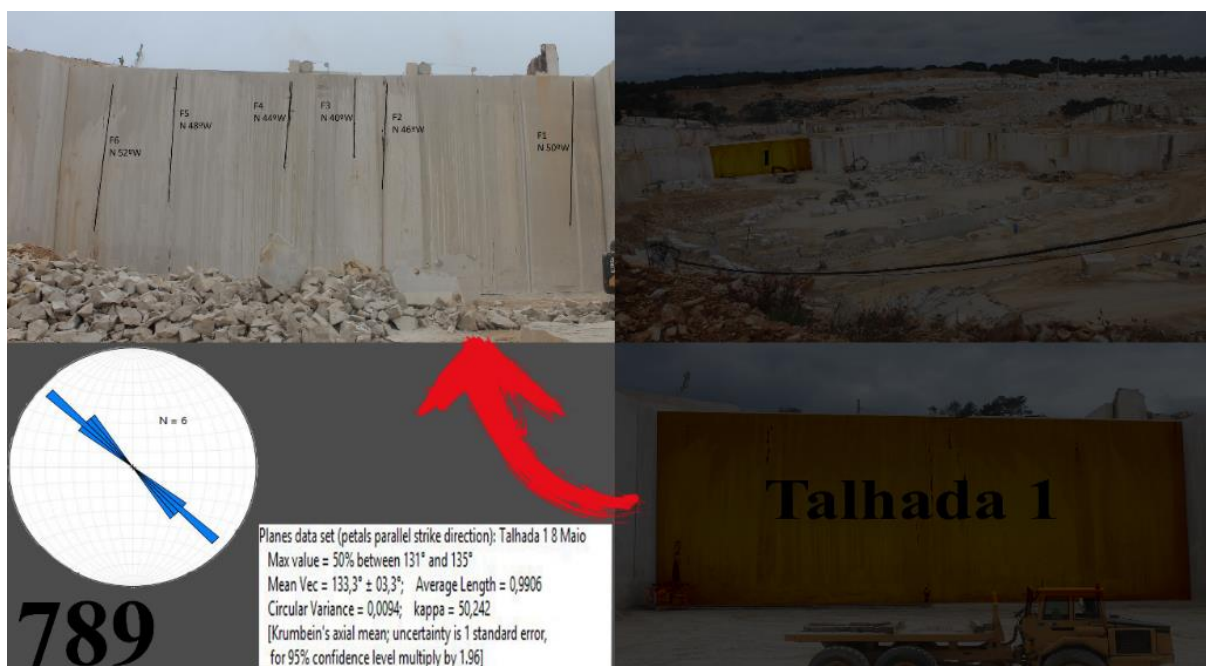


Figura 41 - Medições efetuadas com método clássico na frente 789.

Tabela 6 - Famílias observadas na figura 789.

NOMENCLATURA DA DESCONTINUIDADE DA FIGURA 41	DIREÇÃO DA DESCONTINUIDADE
F1	N50°W
F2	N46°W
F3	N40°W
F4	N44°W
F5	N48°W
F6	N52°W



Figura 42 - Medições efetuadas com método clássico na frente 802.

Tabela 7 - Famílias observadas na frente 802.

NOMENCLATURA DA DESCONTINUIDADE DA FIGURA 42	DIREÇÃO DA DESCONTINUIDADE
F1	N36°W
F2	N40°W
F3	N42°W
F4	N36°W
F5	N38°W
F6	N40°W
F7	N38°W



Figura 43 - Medições efetuadas com método clássico na frente 820.

Tabela 8 - Famílias observadas na frente 820.

NOMENCLATURA DA DESCONTINUIDADE DA FIGURA 43	DIREÇÃO DA DESCONTINUIDADE
F1	N42°W
F2	N40°W
F3	N36°W
F4	N42°W
F5	N42°W
F6	N40°W
F7	N36°W



Figura 44 - Medições efetuadas com método clássico na frente 835.

Tabela 9 - Famílias observadas na frente 835.

NOMENCLATURA DA DESCONTINUIDADE DA FIGURA 44	DIREÇÃO DA DESCONTINUIDADE
F1	N45°W
F2	N36°W
F3	N40°W
F4	N42°W
F5	N40°W
F6	N42°W
F7	N52°W



Figura 45 - Medições efetuadas com método clássico na frente 848.

Tabela 10 - Famílias observadas na frente 848.

NOMENCLATURA DA DESCONTINUIDADE DA FIGURA 45	DIREÇÃO DA DESCONTINUIDADE
F1	N47°W
F2	N43°W
F3	N42°W
F4	N45°W
F5	N49°W
F6	N45°W

4.2.2.2 - Talhada 2



Figura 46 - Medições efetuadas com método clássico na frente 800.

Tabela 11 - Famílias observadas na frente 800.

NOMENCLATURA DA DESCONTINUIDADE DA FIGURA 46	DIREÇÃO DA DESCONTINUIDADE
F1	N52°W
F2	N44°W
F3	N40°W
F4	N48°W
F5	N40°W

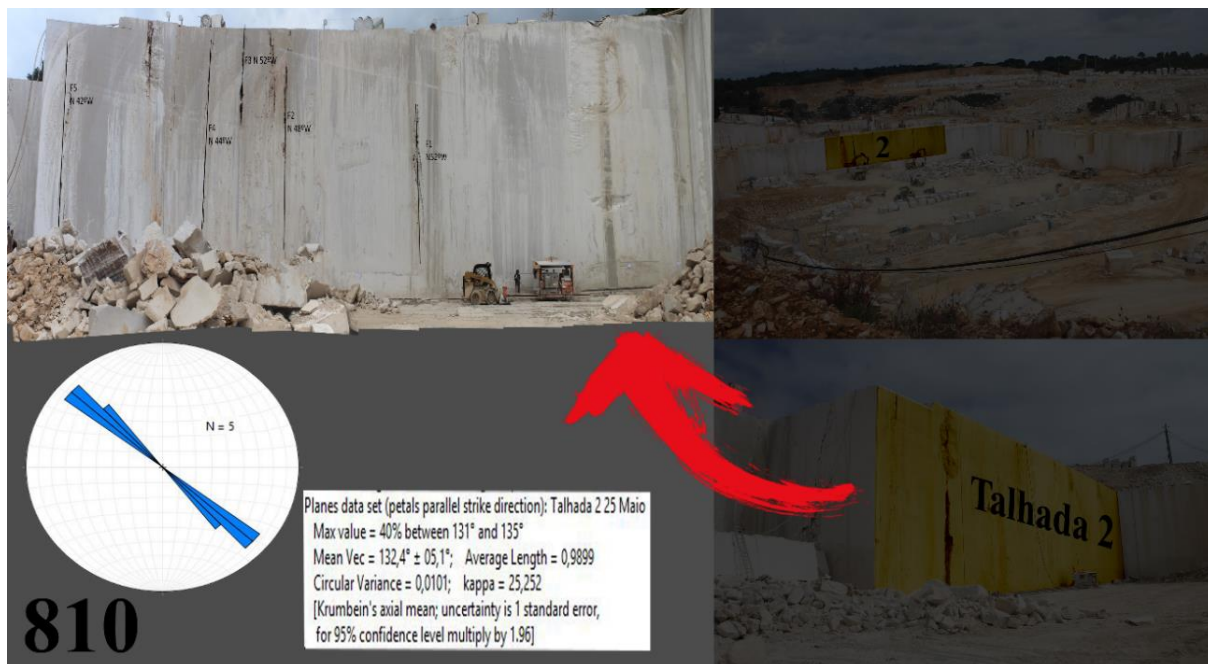


Figura 47 - Medições efetuadas com método clássico na frente 810.

Tabela 12 - Famílias observadas na frente 810.

NOMENCLATURA DA DESCONTINUIDADE DA FIGURA 47	DIREÇÃO DA DESCONTINUIDADE
F1	N52°W
F2	N48°W
F3	N52°W
F4	N44°W
F5	N42°W



Figura 48 - Medições efetuadas com método clássico na frente 826.

Tabela 13 - Famílias observadas na frente 826.

NOMENCLATURA DA DESCONTINUIDADE DA FIGURA 48	DIREÇÃO DA DESCONTINUIDADE
F1	N40°W
F2	N48°W
F3	N52°W
F4	N38°W;80°NE

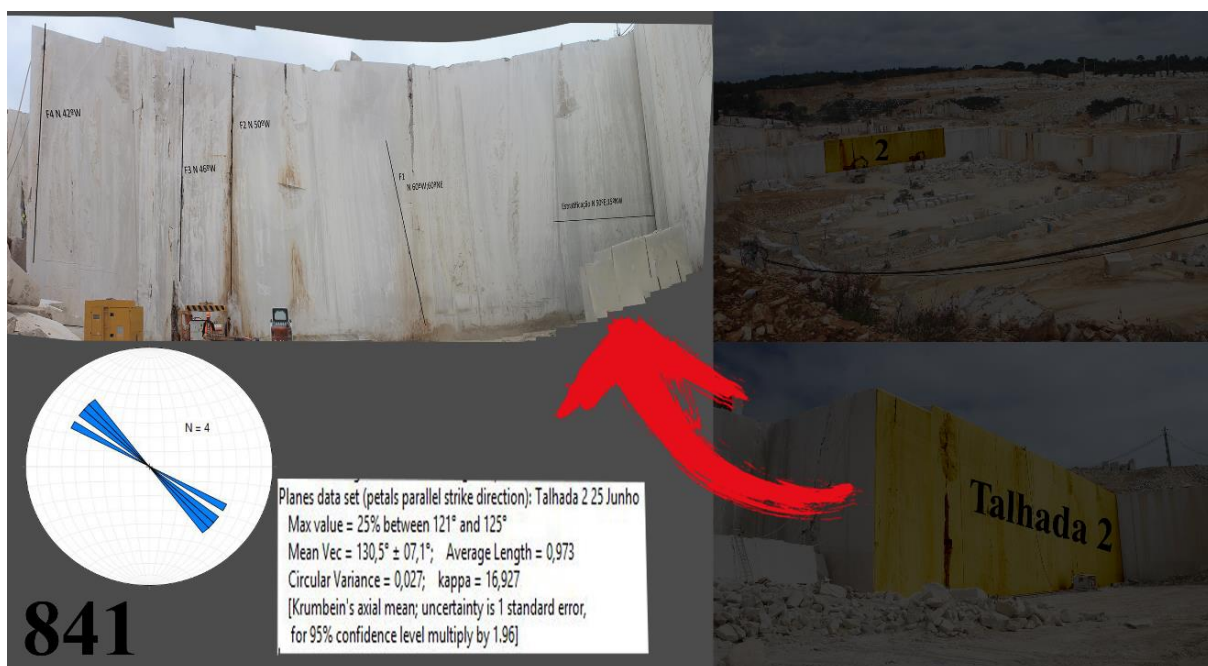


Figura 49 - Medições efetuadas com método clássico na frente 841.

Tabela 14 - Famílias observadas na frente 841.

NOMENCLATURA DA DESCONTINUIDADE DA FIGURA 49	DIREÇÃO DA DESCONTINUIDADE
F1	N60°W;60°NE
F2	N50°W
F3	N46°W
F4	N42°W



Figura 50 - Medições efetuadas com método clássico na frente 854.

Tabela 15 - Famílias observadas na frente 854.

NOMENCLATURA DA

DIREÇÃO DA DESCONTINUIDADE

DESCONTINUIDADE DA FIGURA 50

NOMENCLATURA DA DESCONTINUIDADE DA FIGURA 50	DIREÇÃO DA DESCONTINUIDADE
F1	N50°W
F2	N40°W
F3	N65°W
F4	N54°W
F5	N45°W,58°NE

4.2.2.3 - Talhada 3



Figura 51 - Medições efetuadas com método clássico na frente 814.

Tabela 16 - Famílias observadas na frente 814.

NOMENCLATURA DA DESCONTINUIDADE DA FIGURA 51	DIREÇÃO DA DESCONTINUIDADE
F1	N44°W
F2	N34°W
F3	N38°W
F4	N45°W



Figura 52 - Medições efetuadas com método clássico na frente 814.

Tabela 17 - Famílias observadas na frente 825.

NOMENCLATURA DA DESCONTINUIDADE DA FIGURA 52	DIREÇÃO DA DESCONTINUIDADE
F1	N40°W
F2	N28°W
F3	N40°W
F4	N42°W



Figura 53 - Medições efetuadas com método clássico na frente 839.

Tabela 18 - Famílias observadas na frente 839.

NOMENCLATURA DA DESCONTINUIDADE DA FIGURA 53	DIREÇÃO DA DESCONTINUIDADE
F1	N50°W
F2	N65°W
F3	N40°W
F4	N45°W
F5	N45°W



Figura 54 - Medições efetuadas com método clássico na frente 858.

Tabela 19 - Famílias observadas na frente 858.

NOMENCLATURA DA DESCONTINUIDADE DA FIGURA 54	DIREÇÃO DA DESCONTINUIDADE
F1	N40°W
F2	N50°W
F3	N48°W
F4	N65°W
F5	N40°W

4.3 – Comparação dos dados obtidos pelos dois métodos

Para uma analogia rigorosa, é necessário que os dados dos dois métodos sejam relativos às mesmas descontinuidades.

Relativamente ao método fotogramétrico, o diagrama de rosetas, resulta da medição total de cada Talhada (1, 2 e 3, capítulo 4.1.2), uma vez que a seleção individual do plano das descontinuidades em cada frente de desmonte, não estaria a ser determinada com a precisão necessária exigida. Esta imprecisão deve-se essencialmente ao fato de as descontinuidades não terem um efeito da profundidade a 3D nos modelos, o que causa a falta do dito plano da descontinuidade, pois na maioria dos casos possuem aberturas muito reduzidas, um pouco aquém do que acontece quando são efetuadas as medições com a bússola.

Para o método clássico, conseguiu-se criar dois diagramas de rosetas distintos para cada uma das três talhadas. O primeiro diagrama consiste na seleção das descontinuidades exatamente observadas tanto nos modelos fotogramétricos como na bússola, ou seja, que foram igualmente caracterizadas.

O segundo diagrama é resultante de todas as medições presentes no capítulo 4.2 (Talhada 1; Talhada 2; Talhada 3).

4.3.1 – Talhada 1

Nesta primeira analogia, destaca-se a maior heterogeneidade das atitudes do método fotogramétrico relativamente ao método clássico. No entanto os valores máximos obtidos situam-se no mesmo intervalo, N^o40W-N^o44W, variando apenas o valor máximo de cada um deles, 43% para o método fotogramétrico e 57% para o método clássico, bem como o grau de incerteza que também é superior no método fotogramétrico. Estas variações de incerteza, são explicadas pela própria heterogeneidade das medições para o método fotogramétrico (figura 55).

No método clássico (bússola), o diagrama do somatório de todas as descontinuidades bem como o das descontinuidades em comum, apresentam valores muito parecidos, também derivado da falta da certeza de medição do plano da descontinuidade anteriormente referido, resultando em valores muito próximos (figura 55).

Talhada 1

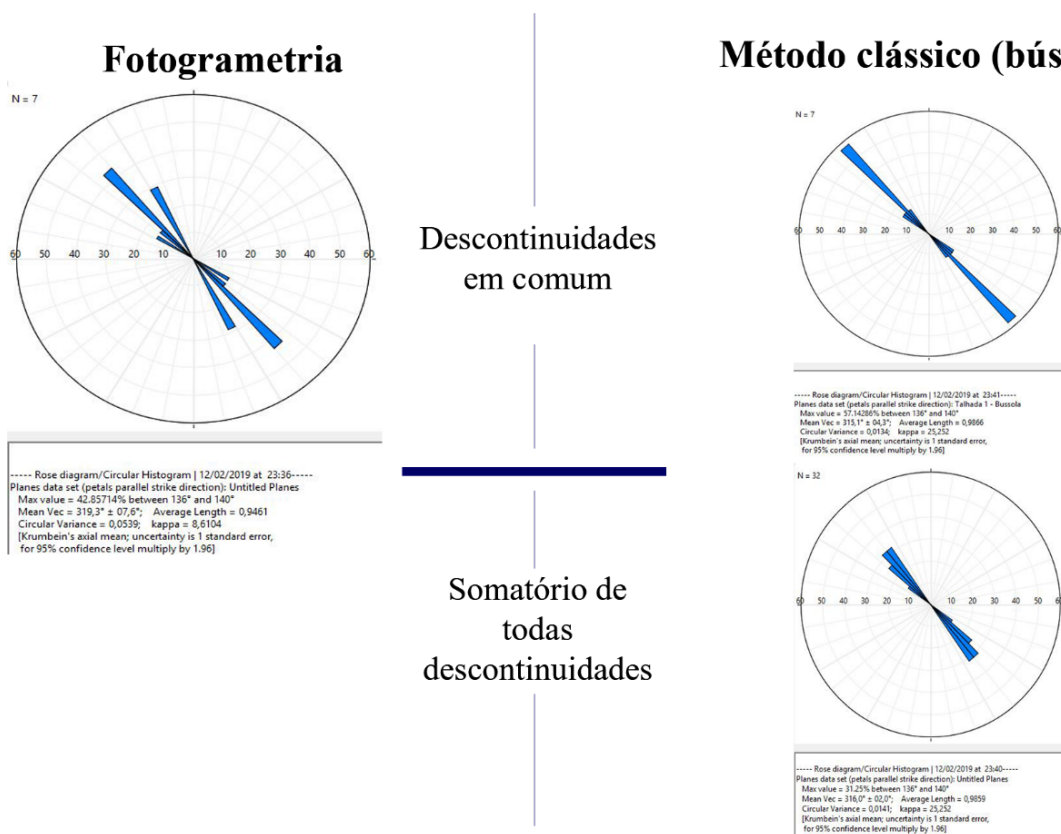


Figura 55 - Comparação estatística entre o método clássico e o método fotogramétrico na talhada 1.

4.3.2 – Talhada 2

No segundo caso de comparação, e apesar de o vetor médio ser exatamente igual nos dois casos, N^o50W, o grau de incerteza acaba também por superior no caso do modelo fotogramétrico uma vez que apresenta uma medição, quase E-W, que num universo de 7 medições acaba por afetar significativamente os dados estatísticos, mas não pode ser menosprezado. A incerteza de 4^o (bússola), para 8^o (fotogrametria), é também visível nos valores máximos obtidos. No caso da fotogrametria o valor máximo é de 43% entre N40^oW e N44^oW, enquanto que no método clássico o valor máximo é também de 43%, mas para medições compreendidas entre N45^oW e N49^oW (Figura 56).

Talhada 2

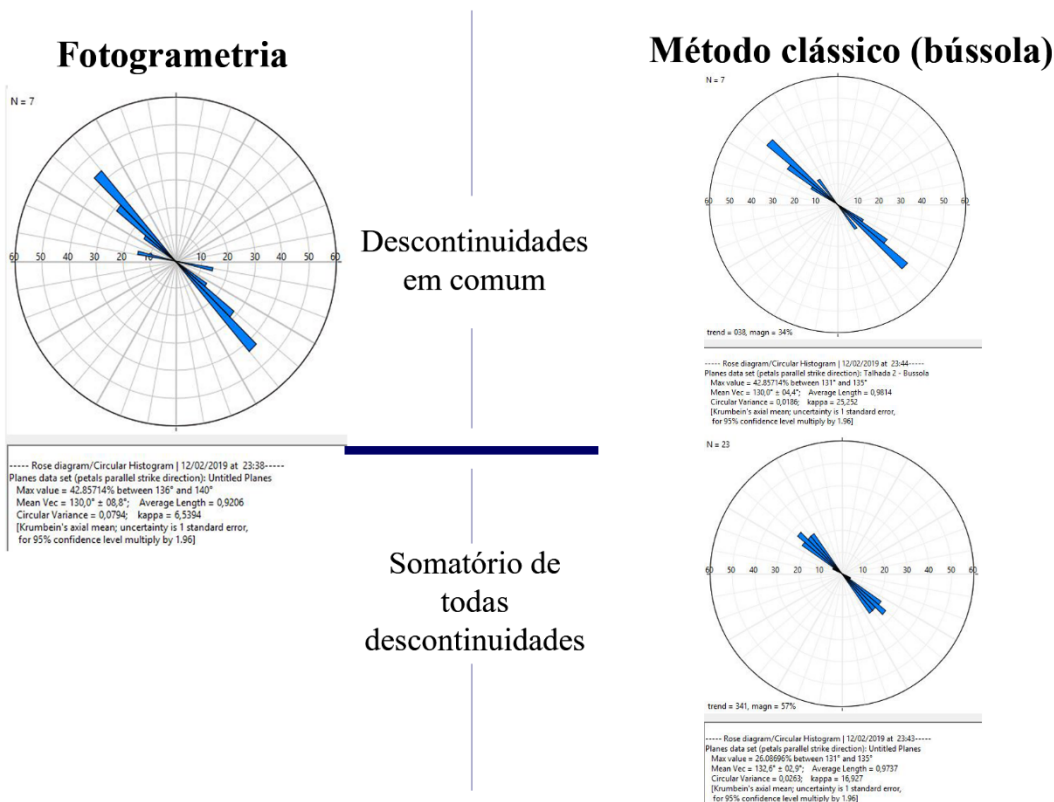


Figura 56 - Comparação estatística entre o método clássico e o método fotogramétrico na talhada 2.

4.3.3 – Talhada 3

No terceiro e último caso de comparação, o valor de incerteza acaba por ser superior no método clássico, contrariamente ao observado nos outros dois casos. Verifica-se um valor máximo de 60%, mas para um intervalo entre N40°W-N49°W e com um erro de 6° aproximadamente (figura 57).

No método fotogramétrico, verifica-se valores máximos de 60% entre atitudes com os valores de N40°W e N44°W com uma incerteza de 5°, ou seja, valores mais próximos do observado nos dois casos anteriores, para a fotogrametria (figura 57).

Talhada 3

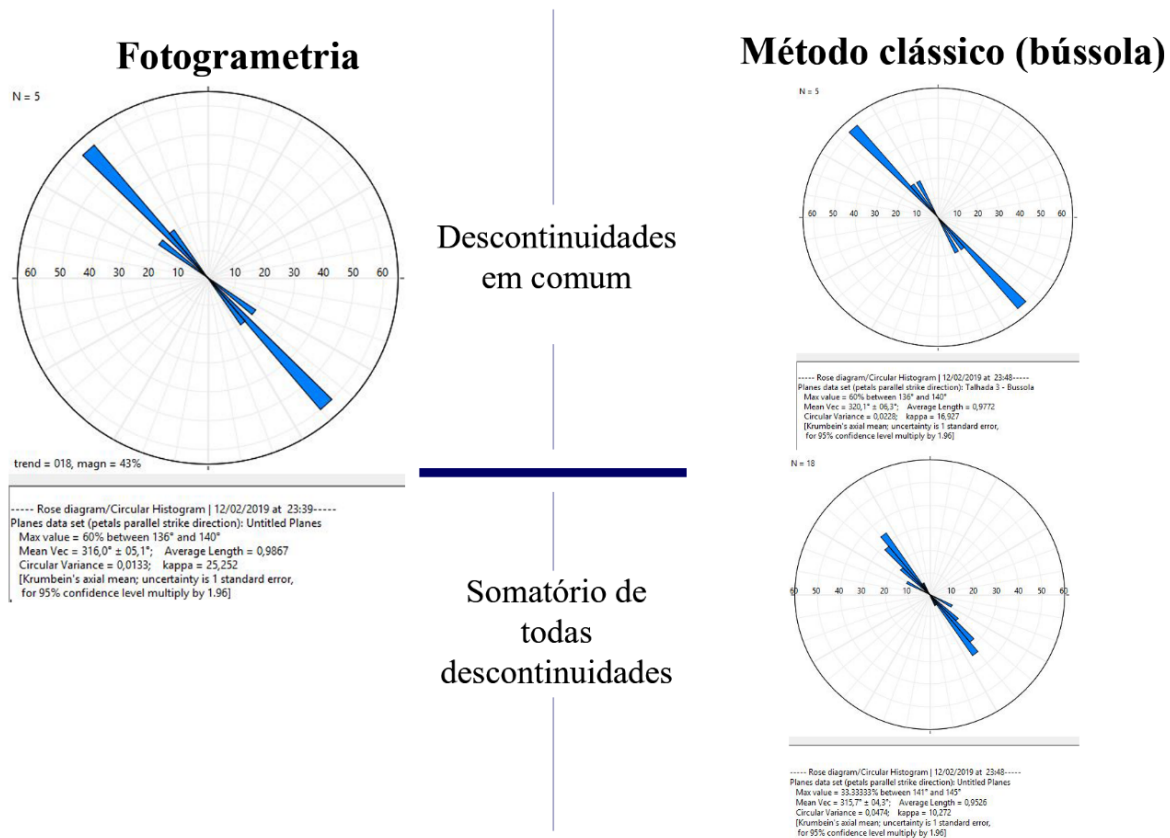


Figura 57 - Comparação estatística entre o método clássico e o método fotogramétrico na talhada 3.

4.3.4 – Dados Totais

De modo a poder-se correlacionar o avanço da exploração com a atitude das descontinuidades, compilou-se os dados das três talhadas pelos dois métodos distintos, estando representados na figura 58.

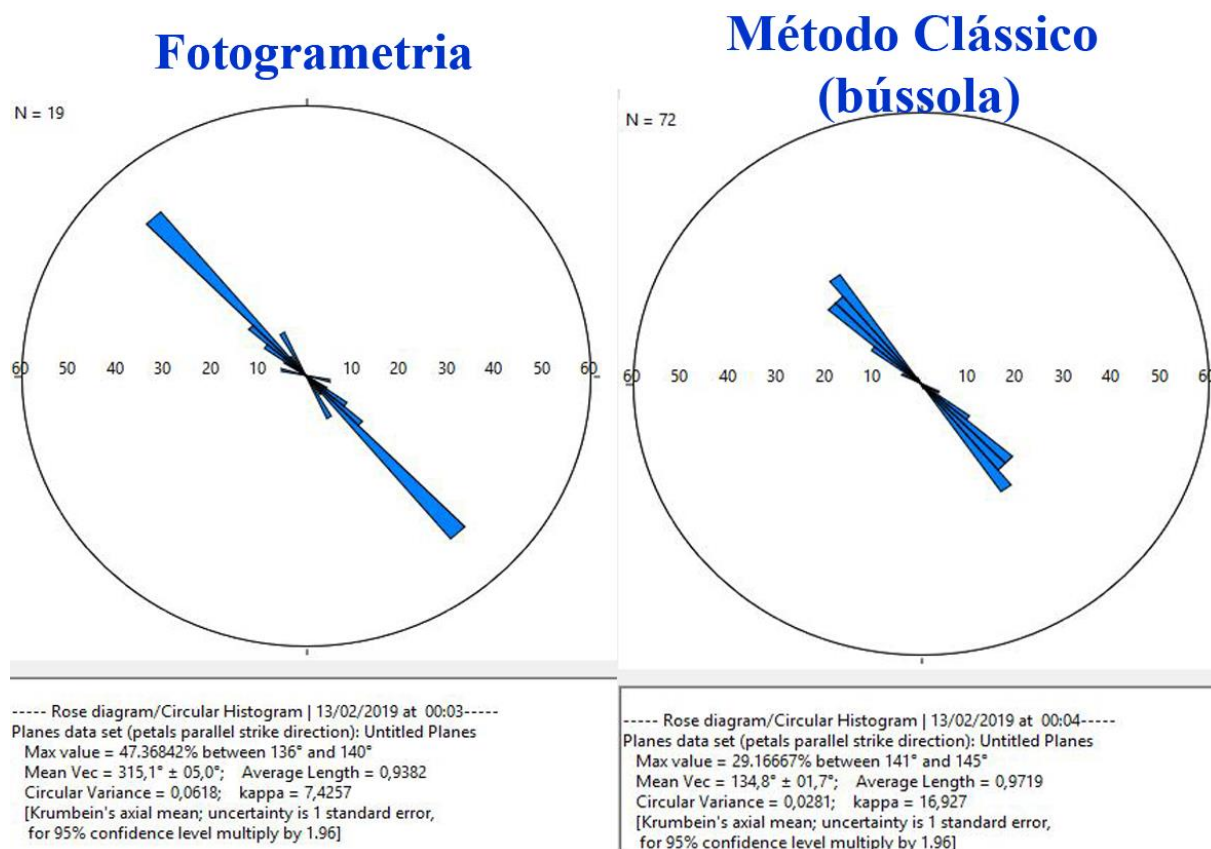


Figura 58 - Comparação estatística I dos dois métodos para a totalidade das talhadas.

Obtiveram-se resultados muito próximos, sendo que até o vetor médio foi idêntico nos dois casos, N45°W.

Quanto aos valores máximos obtidos existe uma ligeira variação. No método fotogramétrico o valor máximo obtido foi na casa dos 47% entre N40°W e N44°W. No método clássico o valor máximo é de cerca 29%, mas para atitudes compreendidas entre N35°W-N39°W. A incerteza associada, é também superior no método fotogramétrico, 5°, para apenas 1,7° do método clássico, devido principalmente ao elevado número de descontinuidades presentes, bem como a maior homogeneidade das mesmas.

Relativamente ao avanço da exploração que ficou definido como N45°E, e a direção ideal das descontinuidades ser de N45°W, pelo vetor médio e pela generalidade dos dados estatísticos, podemos dizer que a pedreira não precisará de uma rotação de ajuste, pelo menos por enquanto, uma vez que este processo é contínuo, sendo necessário estudar as descontinuidades nas proximidades, principalmente nas zonas subsequentes.

4.4 – Outras medições

Com o decorrer do estágio, apercebeu-se a relevância em estudos de caracterização das litologias mais avançadas, como mencionado anteriormente. Assim deu-se maior ênfase às descontinuidades e litologias sobrepostas à talhada 1 e 2, uma vez que estas eram as talhadas de maior rendimento e com mais sobrecarga de trabalhos.

As frentes mais a Este também foram alvo de determinações, mas não tinham a importância e características necessárias exigidas pela Filstone, de maneira que foram um pouco deixadas à parte, como será explicado mais à frente.

As atitudes apresentadas neste subcapítulo foram única e exclusivamente obtidas pelo método clássico (bússola).

4.4.1 - Medições dos pisos superiores das talhadas 1 e 2

O caso “a” é referente a uma frente de desmonte, que geograficamente fica sobreposta à talhada 1 (figura 59). Quando foram efetuadas estas medições, já as primeiras máquinas de corte da frente estariam em funcionamento, uma vez que o avanço rápido do desmonte da Talhada 1 e 2 assim o exigiu. Percebeu-se desde logo que as atitudes expostas nesta frente eram um pouco diferentes das observadas mais abaixo. Esta dissemelhança prendeu-se em valores de mais de 10° para N em relação às abaixo observadas. O vetor médio rondaria N36°W, e a maioria das medições estaria compreendida entre N35°W e N39°W, cerca de 55% (figura 60-A). Já na talhada 1 os valores tanto de vetor médio como das medições em geral rondariam N44°W, o que já é demonstrativo de uma pequena diferença.

Passou-se então ao caso “b” e “c”, de modo a caracterizar também estas frentes e determinar o que poderia estar a causar esta pequena diferenciação. O caso “b” e “c”, duas frentes de desmonte adjacentes, estavam sobrepostas à talhada 2 (figura 59).

O caso “b” apresentava-se com valores muito próximos aos encontrados na talhada subjacente (talhada 2), sendo o valor do vetor médio N45°W (figura 60-b), excetuando o valor

do pendor da estratificação que se apresentava um pouco menor, sendo de apenas 10° (figura 61).



Figura 59 - Localização geográfica das frentes “a”, “b” e “c” e suas respectivas descontinuidades.

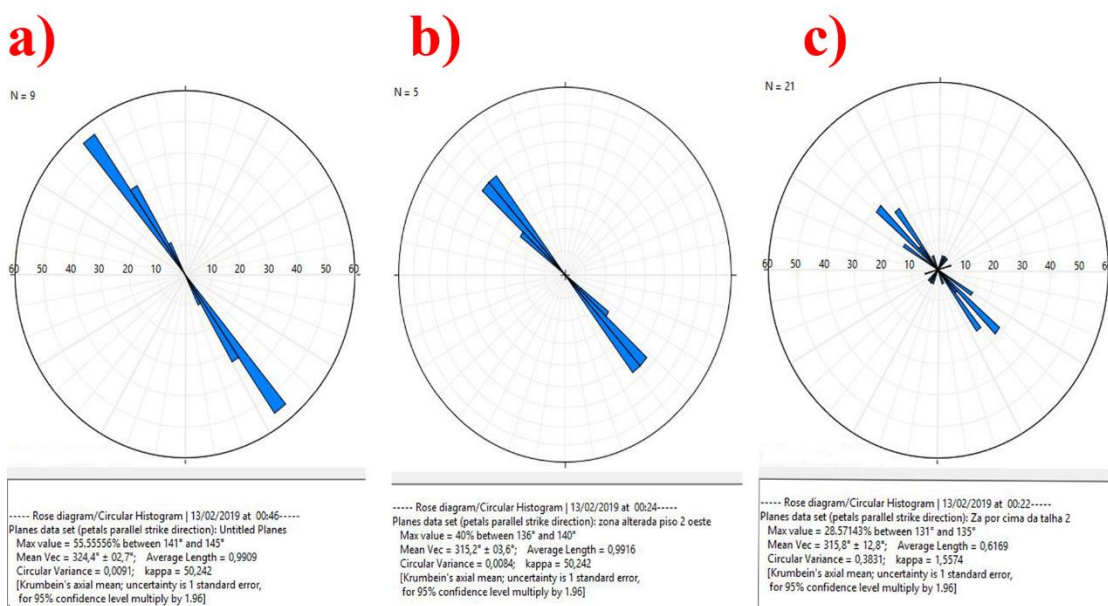


Figura 60 - Dados estatísticos das frentes “a”, “b” e “c”.



Figura 61 - Diferentes estratificações encontradas na pedreira de Casal Farto.

Já no caso “c” encontrou-se uma diversidade de descontinuidades bastante elevada, destacando-se atitudes com direção NE-SW (figura 60-C), as primeiras a serem observadas neste estudo, apesar de ser uma das direções com maior presença no MCE. Também o pendor da estratificação era menor (à semelhança do caso “b”), mas a direção manteve-se semelhante, o que pode indicar a ocorrência de um episódio estrutural que tenha afetado somente o pendor das camadas de estratificação. Na figura 61, pode-se constatar o pendor recorrentemente observada em diversos lugares da pedreira (16°-18°), bem como alguns pendores da estratificação observadas em “b” e “c” com valores entre os 8° e os 10°, também observada em outras pedreiras da região (Duarte, 2018).

Procurou-se perceber a possível causa desta variação e determinou-se a estrutura geológica responsável, uma falha de direção aproximada E-W (figura 62), que atravessa este mesmo maciço, causando esta subsidência.



Figura 62 - Fotografia aérea com a possível falha E-W.

Como no diagrama de rosetas estavam também representadas algumas descontinuidades com direções NE, resultando numa incerteza muito grande, fez-se um teste só com as direções para NW (figura 63). Desta forma determininou-se que a direção média dos planos se situava em $N45^{\circ}W$, ou seja muito idêntico ao encontrado na talhada subjacente (talhada 2).

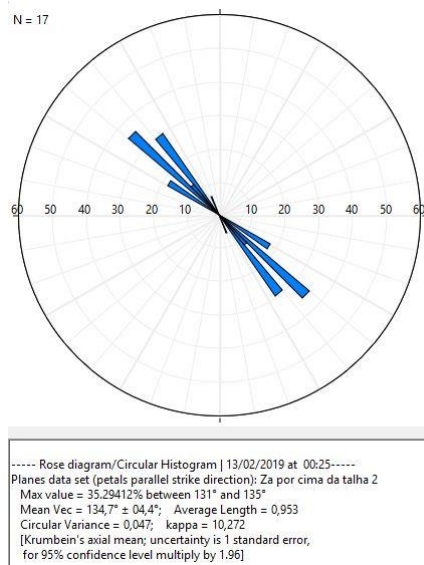


Figura 63 - Dados estatísticos do caso "c" sem a presença das descontinuidades de direção NE.

Convém mencionar que estas zonas estando numa cota superior, encontram-se muito mais fraturadas, o que pode não ocorrer com a mesma frequência em profundidade, uma vez que a fraturação tem tendência a diminuir com a mesma. Esta fraturação muito presente, também resulta em maior quantidade de intrusões de material silto-argiloso. Assim sendo, num futuro próximo, os obstáculos poderão estar presentes tanto na Talhada 1, com as descontinuidades a se apresentarem com direções mais a N, como na Talhada 2, com o pendor da estratificação de menor ângulo, e com presença de descontinuidades com direção NE-SW.

4.4.2 - Medições efetuados mais a Este

A maioria das frentes a Este, encontravam-se estagnadas já há algum tempo, à exceção da frente “c”, “g” e “e” (figura 64), que estariam em processos de extração para chegar a outras litologias de melhor qualidade. As características observadas, coloração e fraturação, foram os fatores principais para esta paragem.



Figura 64 - Localização geográfica na pedreira das diferentes frentes alvo de estudo.



Figura 65 - Frentes "a" e "b" e respectivas descontinuidades

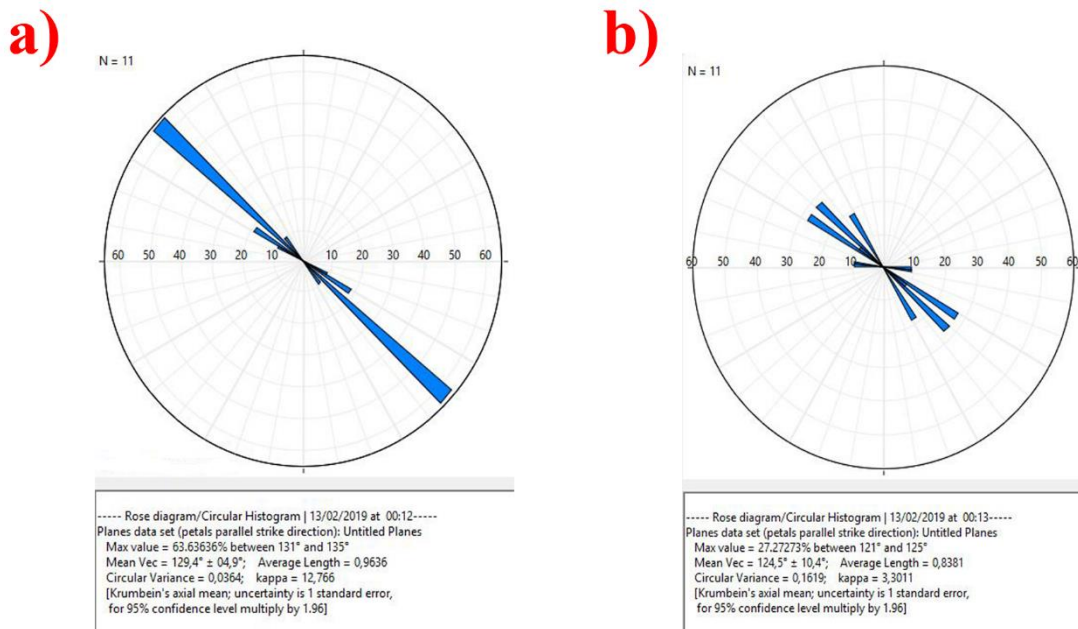


Figura 66 - Dados estatísticos dos casos "a" e "b".

Nas frentes “a” e “b”, a presença de uma coloração azul, nomeadamente em forma de “manchas” (figura 65), tornou de certa forma estas litologias, de pouco potencial comercial. Estas manchas já teriam sido abordadas em trabalhos anteriores (Santos, 2017), e devem-se à presença de compostos orgânicos dispersos no interior da rocha e consequentemente, que as causas da descoloração se deveriam a processos de oxidação por contato com a atmosfera.

As atitudes das descontinuidades aqui presentes também eram distintas, com a direção a tender mais para W. O vetor médio da frente “a”, N51°W, e da frente “b”, N56°W demonstra isso mesmo (figura 66).

A frentes “c” e “d”, apesar das descontinuidade se apresentarem com valores idênticos ao encontrado nas talhadas de maior ênfase (Talhada 1,2 e 3), encontram-se muito fraturadas e com muita intrusão de material silto-argiloso (figura 67). A frente “c” (figura 67-C), estaria a ser alvo de extração mas com o objetivo de alcançar outras litologias mais profundas, enquanto que frente “e” era uma das “pontes”, e a sua parte superior servia como um dos caminhos de acesso a outros locais da pedreira, sendo essencial, neste momento a sua intacta permanência (figura 67-E).



Figura 67 - Frentes "c" "d" e "e" e respetivas descontinuidades.

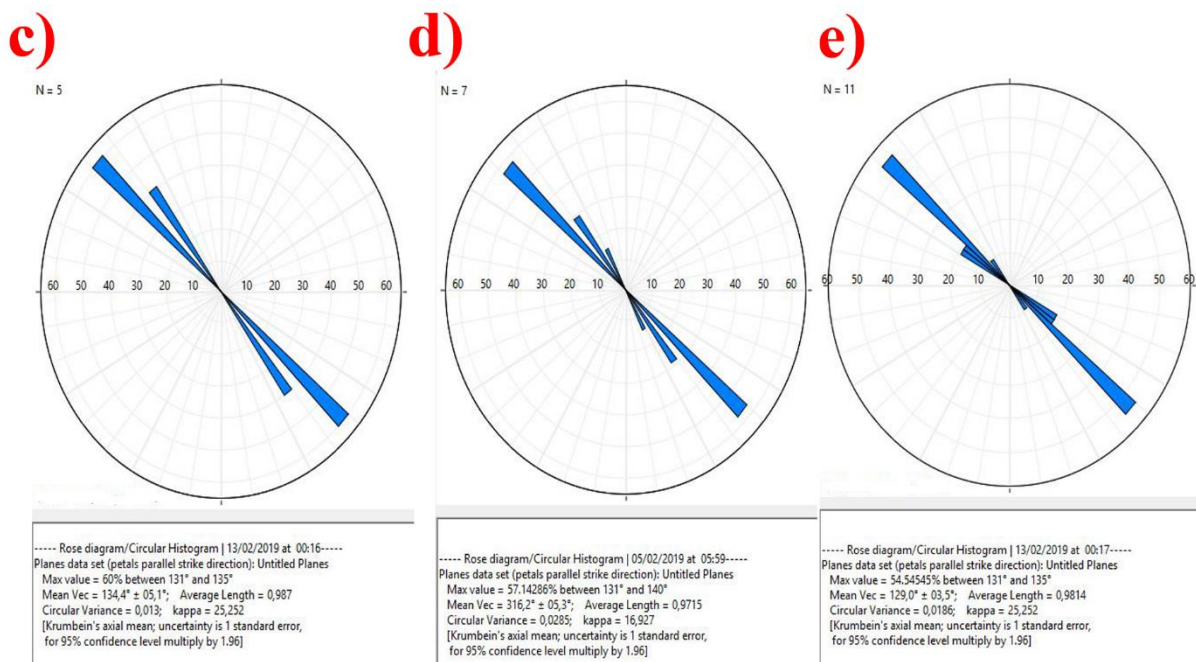


Figura 68 - Dados estatísticos dos casos "c" "d" e "e".



Figura 69 - Frentes "f" e "g" e respetivas atitudes.

A frente "f", apresenta-se com muita fraturação, sendo que esta zona da pedra estaria a ser alvo de trabalhos de escavação e remoção de material terroso (figura 69-F) aquém do objetivo da frente "c".

A frente "g", foi uma das frentes que foi alvo de extração (figura 69-G). Apresenta-se com caraterísticas estruturais muito idênticas à talhada 3, uma vez que geograficamente fica oposta a esta. Possui um vetor médio de N40°W, e valores máximos de 60% entre N35°W e N39°W (figura 70-G).

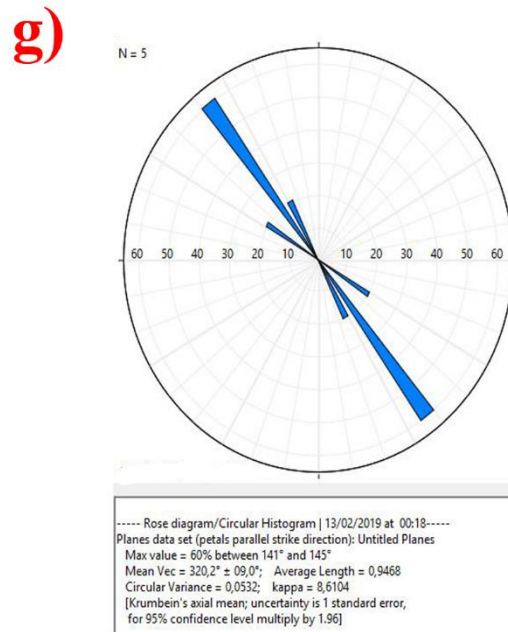
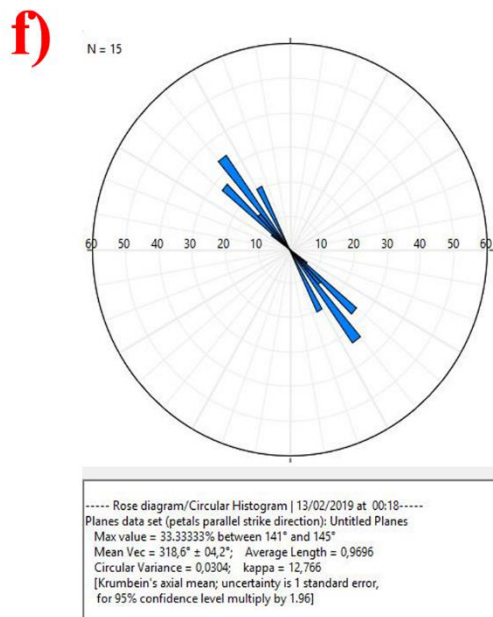


Figura 70 - Dados estatísticos dos casos "f" e "g".

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. – Conclusões

Este trabalho pretende ser um contributo para o conhecimento, interpretação e caracterização dos aspetos geológicas e estruturais existente neste local de extração, referente à empresa Filstone. A permanência em estágio do período de três meses, foi essencial, da qual conseguiu-se perceber todo o processo de trabalhos, bem como da dinâmica de trabalho de equipa, essencial neste setor. Também os obstáculos encontrados fizeram-se sentir, sendo a sua procura e a solução um dos grandes objetivos.

A metodologia inicialmente proposta foi realizada com êxito, e conseguiu-se provar que a técnica de fotogrametria é um método de grande utilidade. A capacidade de obter modelos de alta resolução das frentes de desmonte, bem como de caracterizar e inventariar, permitiu um registo estrutural contínuo mais pormenorizado, sem a necessidade da exposição a situações de risco, ou locais de difícil acesso, pondo a nossa integridade física em causa.

O método clássico, a bússola, foi também um instrumento de ótima relevância, não só pelos dados comparativos, mas também pela facilidade de utilização, complementando-se muito bem com a técnica fotogramétrica.

Nos dois métodos, encontrou-se um obstáculo em comum, na medição momentânea das frentes de desmonte, a incapacidade, por vezes, de detetar os planos de descontinuidade. Isto pode ser colmatado na técnica de fotogrametria, uma vez que a metodologia utilizada para a marcação das descontinuidades, era pelo registo de várias frentes consequentes, de forma a ter uma perceção real da direção das fraturas. A utilização de uma boa máquina fotográfica e em especial de um bom computador, poderia ter influenciado para uma melhor resolução dos modelos. Convém também mencionar que a georreferenciação é um dos processos mais importante na fotogrametria, uma vez que uma georreferenciação mal efetuada ou imprecisa, ludibria totalmente os nossos dados.

Os resultados obtidos, permitem preferir, que pela fotogrametria, existiu uma maior heterogeneidade de atitudes, enquanto que pelo método clássico, o intervalo de atitudes era menor. No pior dos casos, esta diferença nunca foi superior a 5º, tornando-se muito relativo a incerteza de qualquer umas das técnicas.

Em jeito de conclusão, é relevante, na sociedade geológica, e em geral, implementar técnicas e metodologias, que se complementem com o nosso sentido crítico. A tecnologia,

facilita a obtenção e a interpretação de dados (por exemplo, através do drone em locais de difícil acesso).

Todo este processo culmina num objetivo final, um maior rendimento e um menor impacto ambiental possível.

5.2. – Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, seria importante realizar estudos mais exaustivos e contínuos, que permitam recolher mais dados e assim serem mais fidedignos. Bem como da correlação entre a estrutura local e a sua relação com a estrutura de âmbito regional.

A utilização desta técnica em outro tipo de pedreiras com litologias diferentes, como granitos e mármore, ou mesmo para a determinação de zonas instabilidade (ruras em cunha, planares, etc.), tanto de pedreiras, como em maciços rochosos (como por exemplo arribas), através do estudo das descontinuidades, de forma a mitigar uma potencial situação de risco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agisoft, L. L. C. (2014). *Agisoft PhotoScan user manual: professional edition*.
- Allmendinger, R. W., Cardozo, N., and Fisher, D., (2012) *Structural geology algorithms: Vectors and tensors in structural geology*. Cambridge University.
- Almeida, C. Mendonca, J.J.L. Jesus, M.R. Gomes A.J. (2000) *Sistemas Aquíferos de Portugal*. Instituto da Água; Centro de Geologia.
- Andeweg, B. (2002). *Cenozoic tectonic evolution of the Iberian Peninsula: causes and effects of changing stress fields*. PhD Thesis, Amsterdam University, Amsterdam.
- Azerêdo, A. C. (2007). *Formalização da litoestratigrafia do Jurássico Inferior e Médio do Maciço Calcário Estremenho (Bacia Lusitânica)*. Comunicações Geológicas.
- Azerêdo, A. C., Duarte, L. V., Henriques, M. H. & Manuppella, G. (2003) – *Da dinâmica continental no Triássico aos Mares do Jurássico Inferior e Médio*. Cadernos de Geologia de Portugal, Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa
- Cardozo, N., and Allmendinger, R.W., 2013, *Spherical projections with OSXStereonet: Computers & Geosciences*, v. 51, p. 193 – 205, doi: 10.1016/j.cageo.2012.07.021.
- Carvalho, J. M. F., (2013) – *Tectónica e caracterização da fraturação do Maciço Calcário Estremenho, Bacia Lusitânica. Contributo para a prospeção de rochas ornamentais e ordenamento da atividade extrativa*. Tese de Doutoramento, Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da universidade de Lisboa, 443 pp.
- Cloetingh, S.; Burov, E.; Beekman, F.; Andeweg, B.; Andriessen, P. A. M.; Garcia-Castellanos, D.; de Vicente, G. & Vegas, R. (2002). *Lithospheric folding in Iberia*. *Tectonics*, 21 (5), 1041.
- Crispim, J. (1995). *Dinâmica cársica e implicações ambientais nas depressões de Alvados e Minde*. Tese de doutoramento, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Cunha, P. P. & Pena dos Reis, R. (1995). *Cretaceous sedimentary and tectonic evolution of the northern sector of the Lusitanian Basin (Portugal)*. *Cretaceous Research*, 16 (2-3), 155-170.
- Deweza, T. J., Girardeau-Montaut, D., Allanic, C., & Rohmer, J. (2016). *FACETS: A CLOUDCOMPARE PLUGIN TO EXTRACT GEOLOGICAL PLANES FROM UNSTRUCTURED 3D POINT CLOUDS*. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 41.
- Duarte, J., A., M. (2018). *CONTRIBUTOS PARA A CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS COM POTENCIAL PARA A EXTRAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS CARBONATADAS. Análise integrada de dados fotogramétricos, geológicos e geofísicos para caracterização de maciços rochosos carbonatados*. (Tese de Doutoramento). Universidade de Coimbra, Portugal.
- Duarte, J.; Santarém Andrade, P. & Saraiva, A. (2010). *Caraterização das descontinuidades e de situações de instabilidade de uma pedreira de calcário ornamental localizada em Valinha de Fátima*. VIII Congresso Nacional de Geologia, 20. Universidade do Minho, Braga: e-Terra - Revista Electrónica de Ciências da Terra.
- Fernandes, Fabiana Santos (2010) *Aplicação de fotogrametria terrestre digital na análise de descontinuidades em maciços rochosos: exame comparativo com técnicas tradicionais* [online]. São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2010.
- Galdeano, C. S. (2000). *Evolution of Iberia during the Cenozoic with special emphasis on the formation of the Betic Cordillera and its relation with the western Mediterranean*. *Ciências da Terra*, 14, 9-24.
- Girardeau-Montaut, D. (2011). Cloudcompare-open source project. *OpenSource Project*.
- Heald, M. T. (1955). *Stylolites in sandstones*. *The Journal of Geology*, 63(2), 101-114.
- Jabaloy, A.; Galindo-Zaldívar, J. & González-Lodeiro, F. (2002). *Palaeostress evolution of the Iberian Peninsula (Late Carboniferous to present-day)*. *Tectonophysics*, 357 (1-4), 159-186.

- Kullberg, J. C. (2000). *Evolução Tectónica Mesozóica da Bacia Lusitaniana*. Tese de Doutoramento, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Kullberg, J. C.; Rocha, R. B.; Soares, A. F.; Rey, J.; Terrinha, P. & Callapez, P. (2006). *A Bacia Lusitaniana: estratigrafia, paleogeografia e tectónica*. In: Dias, R.; Araújo, A.; Terrinha, P. et al. (Editors), *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria* (pp. 317-368). Évora: Universidade de Évora.
- Kullberg, J. C.; Rocha, R. B.; Soares, A. F.; Rey, J.; Terrinha, P.; Azerêdo, A. C.; Callapez, P.; Duarte, L. V.; Kullberg, M. C.; Martins, L.; Miranda, J. R.; Alves, C.; Mata, J.; Madeira, J.; Mateus, O.; Moreira, M. & Nogueira, C. R. (2013). *A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica*. In: Dias, R.; Araújo, A. A.; Terrinha, P. 436 et al. (Editors), *Geologia de Portugal, Vol. II - Geologia Meso-cenozóica de Portugal* (pp. 798). Lisboa: Escolar Editora.
- Kullberg, M. C. & Kullberg, J. C. (Editors) (2000). *Interpretação tectónica de um conjunto de lineamentos WNW-ESE observados em imagens LANDSAT da Margem Oeste Iberica*. in *Tectónica das regiões de Sintra e Arrábida*. Lisboa: Mem. Geociências, Museu Nac. Hist. Nat. Univ. Lisboa.
- Kullberg, M. C.; Kullberg, J. C. & Terrinha, P. (2000). *Tectónica da Cadeia da Arrábida*, in *Tectónica das regiões de Sintra e Arrábida* (pp. 35-84). Lisboa: Museu Nac. Hist. Nat. Univ. Lisboa.
- Liesa, C. L. & Simón, J. L. (2009). *Evolution of intraplate stress fields under multiple remote compressions: The case of the Iberian Chain (NE Spain)*. *Tectonophysics*, 474 (1-2), 144-159.
- Manuppella, G.; Balacó Moreira, J. C.; Graça e Costa, J. R.; Crispim, J. A. (1985) – *Calcários e Dolomitos do Maciço Calcário Estremenho*. Estudos Notas e Trabalhos, DGGM, T.27, pp. 3-48.
- Manuppella, G.; Antunes, M. T.; Almeida, C.; Azerêdo, A. C.; Barbosa, B.; Cardoso, J. L.; Crispim, J. A.; Duarte, L. V.; Martins, L. T.; Ramalho, M. M.; Santos, V. F. & Terrinha, P. (2000). *Notícia Explicativa da Folha 27-A, Vila Nova de Ourém, 2ª edição* ed. Lisboa: Instituto Geológico e Mineiro.
- Martins, A. F. (1949). *Maciço Calcário Estremenho. Contribuição para um Estudo de Geografia Física*. Tese de Doutoramento em Ciências Geográficas, Universidade de Coimbra.
- Montenat, C. & Guéry, F. (1984). *L'intrusion diapirique de Caldas da Rainha et l'halocinèse jurassique sur la marge portugaise*. *Comptes Rendus - Academie des Sciences de Paris, Serie II: Sciences de la Terre et des Planetes*
- Montenat, C.; Guery, F.; Jamet, M. & Berthou, P. Y. (1988). *Mesozoic evolution of the Lusitanian basin: comparison with the adjacent margin*. In: Boilot, G. & Winterer, E. L. (Editors), *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results* (pp. 757-775).
- Morales, J.; Serrano, I.; Jabaloy, A.; Galindo-Zaldivar, J.; Zhao, D.; Torcal, F.; Vidal, F. & Lodeiro, F. G. (1999). *Active continental subduction beneath the Betic Cordillera and the Alboran Sea*. *Geology*, 27 (8), 735-738.
- Pena dos Reis, R. & Pimentel, N. (2010). *Field Trip Guide Book - Lusitanian Basin (Portugal)*. II Central & North Atlantic Conjugate Margins conference. Lisbon: Impressões e Soluções, Laboratório de imagem, Lda.
- Pinheiro, L. M.; Wilson, R. C. L.; Pena Dos Reis, R.; Whitmarsh, R. B. & Ribeiro, A. (1996). *The western iberia margin: a geophysical and geological overview*. In: Pinheiro, L. M.; Wilson, R. C. L.; Pena Dos Reis, R. et al. (Editors), *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*
- Rasmussen, E.; Lomholt, S.; Andersen, C. & Vejbæk, O. V. (1998). *Aspects of the structural evolution of the Lusitanian Basin in Portugal and the shelf and slope area offshore Portugal*. *Tectonophysics*, 300 (1-4), 199-225.
- Ribeiro, A.; Antunes, M. T.; Ferreira, M. P.; Rocha, R. B.; Soares, A. F.; Zbyszewski, G.; Moitinho de Almeida, F.; Carvalho, D. & Monteiro, J. H. (1979). *Introduction à la géologie générale du Portugal*. Serviços Geológicos de Portugal.
- Ribeiro, A.; Kullberg, M. C.; Kullberg, J. C.; Manuppella, G. & Phipps, S. (1990). *A review of Alpine tectonics in Portugal: foreland detachment in basement and cover rocks*. *Tectonophysics*, 184 (3-4), 357-366.

- Ribeiro, A.; Silva, J. B.; Cabral, J.; Dias, R.; Fonseca, P.; Kullberg, M. C.; Terrinha, P. & Kullberg, J. C. (1996b). *Tectonics of the Lusitanian Basin. Final Report*. ICTE/GG/GeoFCUL, Proj. MILUPOBAS, Contract No. JOU2-CT94-0348, Lisboa.
- Rocha, R. B.; Marques, B. L.; Kullberg, J. C.; Caetano, P. C.; Lopes, C.; Soares, A. F.; V., D. L.; Marques, J. F. & Gomes, C. R. (1996). *The 1st and 2nd rifting phases of the Lusitanian Basin: stratigraphy, sequence analysis and sedimentary evolution*, C E C. Project MILUPOBAS, Contract nº JOU2-CT94-0348, Lisbon.
- Rosenbaum, G.; Lister, G. S. & Duboz, C. (2002). *Relative motions of Africa, Iberia and Europe during Alpine orogeny*. *Tectonophysics*, 359 (1-2), 117-129.
- Santos, M., (2017), *Mecanismos de descoloração dos calcários "azuis" do Maciço Calcário Estremenho*. Tese de mestrado em Geologia Económica, Especialização em Prospecção Mineral. Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Soares, A. F. & Duarte, L. V. P. (1995). *A Organização da Bacia Lusitaniana. O Ciclo Trias-Caloviano e o Espectro das Influências Tectónicas e Eustáticas*. IV Congresso Nacional de Geologia. Porto: Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, Memórias nº 4.
- Sobreiro, M.J.; Vieira. (2001) – Comportamento Mundial do Sector das Rochas Ornamentais em 2000. Boletim de Minas, Vol, 38, N, ° 4, outubro – dezembro, 2001. Lisboa.
- Stapel, G.; Cloetingh, S. & Pronk, B. (1996). *Quantitative subsidence analysis of the Mesozoic evolution of the Lusitanian basin (western Iberian margin)*. *Tectonophysics*, 266 (1-4), 493-507.
- Viana, Camila Duélis (2015). *Análise estrutural de descontinuidades baseada em técnicas de structure from motion: aplicação em mina a céu aberto* [online]. São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2015. Dissertação de Mestrado em Geotectônica. [acesso 2016-03-10]. Disponível em: [inferioreshttp://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44141/tde-08072015-150656/superiores](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44141/tde-08072015-150656/superiores).
- Willis, M. G. (1988). *The tectonic history of the Lusitanian Basin of Portugal*. PhD Thesis, Open University.
- Wilson, R. C. L. (1988). *Mesozoic development of the Lusitanian Basin, Portugal*. *Revista de la Sociedad Geologica de España*, 1 (3-4), 395-406.
- Wilson, R. C. L.; Hiscott, R. N.; Willis, M. G. & Gradstein, F. M. (1989). *The Lusitanian Basin of west-central Portugal: Mesozoic and Tertiary tectonic, stratigraphic, and subsidence history*. In: Tankard, A. J. & Balkwill, H. R. (Editors), *Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic margins* (pp. 341-361): AAPG Memoir.