

# Utilização de geotecnologias na aferição de evolução topográfica aplicada à exploração de massas minerais

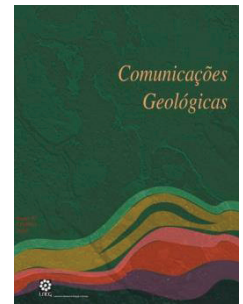
## Geotechnologies on the identification of topographical changes applied on mineral exploration

J. Duarte<sup>1\*</sup>, M. Cunha<sup>2</sup>, G. Gonçalves<sup>3</sup>, F. Figueiredo<sup>4</sup>

Recebido em 28/02/2018 / Aceite em 16/12/2019

Publicado em agosto de 2020

© 2020 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia IP



Artigo original  
Original article

**Resumo:** A utilização de geotecnologias permite a identificação rápida de áreas com mudança de topografia, quer por escavação ou deposição de resíduos minerais. A avaliação de Modelos Digitais de Superfície (MDS), permite ainda avaliar a evolução do crescimento da vegetação para um dado período de tempo. Este estudo compara, em primeira análise a topografia convencional com o levantamento aerofotogramétrico por Veículo Automático Não Tripulado (VANT) geralmente conhecido por drone, demonstrando as suas vantagens e desvantagens quando aplicados à monitorização de áreas de extração de rochas ornamentais (cálculo de volumes, áreas de exploração e evolução dos trabalhos de exploração).

**Palavras chave:** Geotecnologias, topografia, levantamento aerofotogramétrico por VANT, massas minerais, pedreiras de rochas ornamentais.

**Abstract:** The use of geotechnologies allows the rapid identification of areas with changes on topography, by either excavation or deposition of mineral waste. The evaluation on the digital surface models (MDS) allow also studying vegetation growth in a certain period. This study compares, in the first analysis, the conventional topography with the Automatic Unmanned Vehicle (UAV) photogrammetric survey, showing its advantages and disadvantages when applied to the monitoring of areas of extraction of ornamental rocks (computing of volumes, areas of exploration and evolution of exploration works).

**Keywords:** Geotechnology, topography, UAV photogrammetric surveys, mineral masses, ornamental rocks quarries.

<sup>1</sup> IQGeo – Serviços, Lda. e Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra, Portugal..

<sup>2</sup> GeoSurveys – Consultores em Geofísica, Lda., Rua Narciso Espírito Santo 8, Maianga, 1000 Luanda, Angola.

<sup>3</sup> Departamento de Matemáticas, Universidade de Coimbra e INESC, Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra, Portugal.

<sup>4</sup> Centro de Geociências, Centro de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra, Portugal.

\* Autor correspondente/corresponding author: joao.aduarte@iqgeo.pt

### 1. Introdução

A fotogrametria é uma técnica que tem vindo a ser utilizada para na análise de descontinuidades em maciços rochosos (Duarte *et al.*, 2015), havendo para o efeito alguns programas que já permitem determinar a sua geometria e parâmetros geomecânicos sendo já demonstrada a sua eficácia (Gates, 2012; Vasuki *et al.*, 2014).

Com o intuito de avaliar o contributo da aerofotogrametria com drones, como uma metodologia rápida e eficaz para uma avaliação e mapeamento de explorações de rochas ornamentais, este trabalho apresenta uma análise comparativa da restituição tridimensional com fotogrametria ao levantamento topográfico convencional, com identificação das vantagens e desvantagens e dos constrangimentos técnicos de ambos os métodos, determinantes na qualidade dos modelos construídos.

### 2. Localização da área de estudo

A área de estudo situa-se na Região Centro de Portugal, distrito de Santarém, concelho de Ourém, freguesia de Fátima, no Casal Farto (Fig. 1a), pedreira da Filstone S.A. (Fig. 1b).

### 3. Metodologia

Foram aplicadas no mesmo dia, para impedir mudanças topográficas ou morfoestruturais relevantes, ambas as metodologias. Os equipamentos utilizados na fotogrametria estão descritos na tabela 1 e os utilizados para o levantamento topográfico na tabela 2.

Para que fosse possível a restituição fotogramétrica tridimensional, a partir das imagens captadas pela câmara do VANT, o trabalho foi elaborado em três etapas: i) planeamento do voo; ii) execução do voo; iii) processamento fotogramétrico dos Modelos Digitais de Superfície (MDS) e criação de verdadeiro ortofotomapa. A recolha dos pontos de apoio fotogramétrico (GCP – *Ground Control Points*), levantamento topográfico utilizaram os seguintes equipamentos: i) recetor GNSS, Topcon GR-3, de tripla frequência (GPS/GLONASS/Galileo); ii) Estação total – Topocom Gpt 7003. Para traçar os perfis transversais foram modelados o MDS da área total (Fig. 2) e criado um Modelo Digital de Terreno (MDT) dos dados fotogramétricos e topográficos em ambiente CAD (Fig. 3), definiu-se o objecto de estudo (Fig. 4). A conversão do MDS fotogramétrico em MDT foi efetuada utilizando um processo de filtragem, com o objetivo de os objetos acima do solo como blocos, instalações de apoio, árvores, máquinas, pessoas, etc. Após a filtragem temos apenas a superfície do terreno.

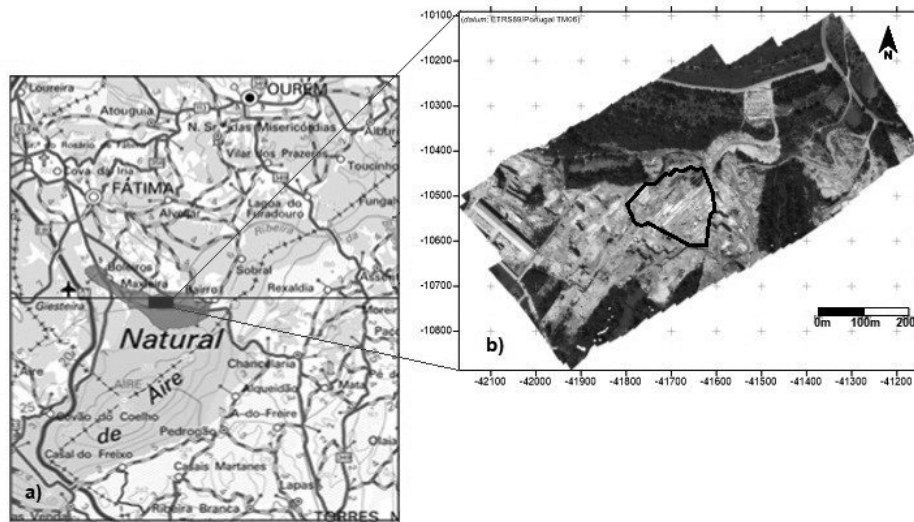


Figura 1. Excerto das Cartas Militares de Portugal Série M888, Folhas 309 – Vila Nova de Ourém e 319 – Minde (Alcanena), à escala 1:25 000, do Instituto Geográfico do Exército. a) localização da área de estudo (Polígono); b) localização da área de estudo no ortofotomapa da área de atividade extrativa, com a delimitação da exploração da Filstone S.A (Polígono).  
 Figure 1. Excerpt from the Portuguese Military Maps Series M888, Sheets 309 - Vila Nova de Ourém and 319 - Minde (Alcanena), at 1: 25,000 scale, from the Army Geographic Institute. a) location of the study area (Polygon); b) location of the study area in the orthophoto map of the area of extractive activity, with the delimitation of the exploration of Filstone S.A (Polygon).

Tabela 1. Características técnicas do VANT utilizado no levantamento.  
 Table 1. Technical characteristics of the UAV used in the survey.

	<b>PLATAFORMA</b>
<b>Tipo de quadro:</b>	Quadricóptero retrátil Tarot Iron Man 650
<b>Motores:</b>	4 T-Motor Navigator MN3110 470KV
<b>Dimensões e peso:</b>	95 cm e 1,5 Kg com todo o equipamento
<b>Modo de voo:</b>	Controlo remoto
<b>Autonomia:</b>	Máximo 18 minutos
	<b>Câmara digital</b>
<b>Suporte:</b>	Walkera g-2D brushless gimbal
<b>Configuração:</b>	GoPro Hero4 Silver
	Sensor: CMOS-12 megapixeis – 1/2,3 polegadas
	Tipo de lente: Lente de vidro, grande angular
	Distância focal: 3 mm (17,2 mm eq. 35 mm)
	f-stop 2.8
	Peso: 2,9 oz (84g)
	<b>Controlo Remoto</b>
<b>Controlador:</b>	DJI Naza V2(GPS)
<b>Comando de voo:</b>	Futaba 8J FHSS - FUTABA
	2-manípulos, 8-canaís, sistema S-FHSS, embutido
	Dupla antena
	Frequência: 2,4 GHz
<b>FPV (First Person View) Tx/Rx:</b>	DJI Video Link 5,8 GHz 500 mw
<b>Monitor:</b>	Lcd de 7”

**4. Resultados**

Obtidas as superfícies (Figs. 5a e b), em análise comparativa às classes de altimetria, é possível verificar as diferenças representadas

em histogramas nas figuras 6a e b. No MDS do levantamento fotogramétrico é possível identificar objetos nos patamares da área de exploração. Já no MDS do levantamento topográfico, a modelação da superfície é plana, sendo na realidade um MDT. É possível

Tabela 2. Sistema equipamento topográfico.

Table 2. System of topographic equipment.

<b>Equipamento de aquisição</b>
GPS – Topocom Gr3 (Fig. 4a)
Estação total – TopocomGpt 7003 (Fig. 4b)
<b>Programa</b>
Alertasoft
<b>Programa de processamento</b>
Sierrasoft

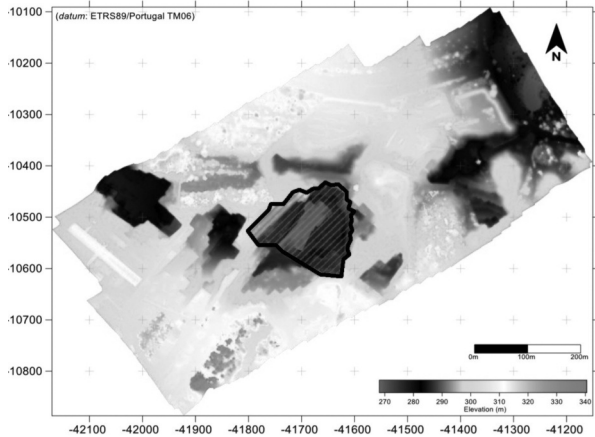


Figura 2. MDS criado a partir da modelação fotogramétrica, com indicação da área em análise (Polígono).

Figure 2. MDS created from photogrammetric modeling, with an indication of the area under analysis (Polygon).

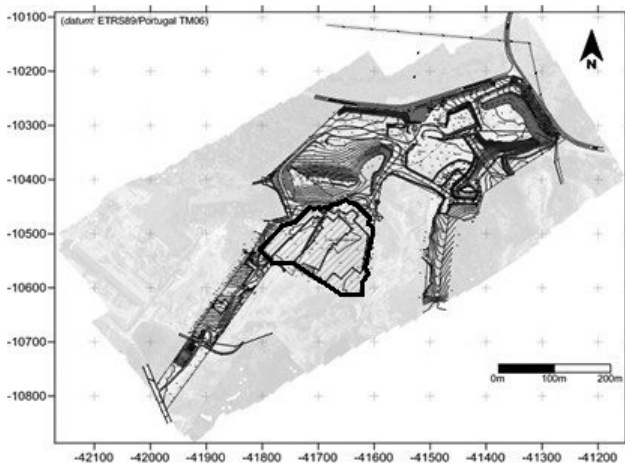


Figura 3. Mapa criado a partir da modelação dos dados topográficos, com indicação da área em análise (Polígono).

Figure 3. Map created from the modeling of topographic data, with an indication of the area under analysis (Polygon).

verificar que as classes mais representativas coincidem em ambos os processos da aquisição, havendo, no entanto, uma variação regular em cada um dos picos, associado à resolução de aquisição. Nas classes intermédias, no caso do levantamento fotogramétrico, é identificado ruído, sendo este interpretado como os objetos identificados (blocos, resíduos, máquinas). As frentes de exploração

(Fig. 7) possuem diferenças em perfil nos dois modelos (Fig. 8). Os círculos a), correspondem à diferença na definição da esquina da parede de exploração. Os círculos b), à diferença que geralmente está associada ao “ruído” causado por objetos. A seta c), indica o local onde esse “ruído” é mínimo, por ser superfície limpa. A análise estatística das diferenças de elevação, do perfil A – B (Fig. 9), demonstra uma diferença vertical modal de 0,032 m, associada à resolução do modelo fotogramétrico. As maiores divergências são associadas às esquinas das paredes de exploração. Foram anotadas as seguintes considerações, como determinantes da qualidade dos dados:

- Baixa amostragem na bordadura da frente de desmonte, efetuada pelo levantamento fotogramétrico. É necessária uma maior sobreposição fotográfica nestas regiões. Uma geometria de aquisição aconselhada será a de dupla malha perpendicular, com sobreposição mínima de 85% horizontal e vertical, câmara com ângulo de 70° com horizontal, altitude média máxima de 50 m acima da base de voo, sendo estes parâmetros dependentes da câmara e objetiva utilizadas (tamanho de sensor, sensibilidade de sensor, velocidade de obturador, distância focal da objetiva), tendo como objetivo uma resolução fotográfica sempre inferior a 3 cm.
- A presença de superfícies sem estarem limpas (máquinas, pilhas de terra, blocos, ...) no levantamento fotogramétrico, que aumentam o “ruído” existente no MDS.

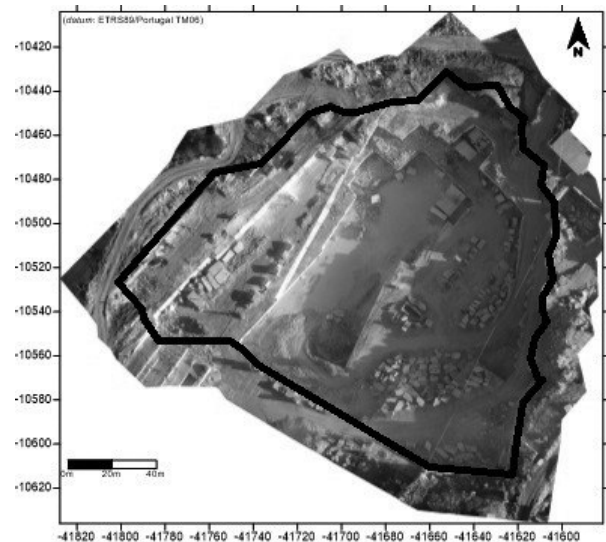


Figura 4. Excerto do ortofotomapa com a delimitação da área a analisar.

Figure 4. Orthophotomap excerpt with the delimitation of the area to be analyzed.

Tabela 3. Comparação da qualidade dos dois métodos para o fim determinado.

Table 3. Comparison of the quality of the two methods for the given purpose.

	Levantamento convencional	Levantamento fotogramétrico	Notas
Precisão de posicionamento	Melhor	Pior	Depende do Sistema utilizado pela fotogrametria (RTK, GNSS, GPS, CGP)
Preservação do detalhe da superfície	Pior	Melhor	Baseia-se na aquisição do topógrafo (levantamento convencional dá arestas vivas e faces nítidas)
Superfície limpa	Melhor	Pior	Quantidade de vegetação e / ou “ruído”, pode ser necessário ter de ser filtrado
Artefactos indesejados	Melhor	Pior	Elementos além do necessário (resultantes da má aquisição, mau planeamento) podem precisar de ser filtrados
Resolução da amostragem	Pior	Melhor	Nuvem de pontos gerada (devido ao número de pontos utilizados no modelo)
Artefactos com volume (máquinas, árvores...)	Melhor	Pior	Outros elementos além do necessário, podem precisar de ser filtrados
Dependência humana na aquisição dos dados	Pior	Melhor	O topógrafo precisa apontar pontos manualmente
Dependência humana no processamento dos dados	Melhor	Pior	Etapas de processamento podem ter que ter controle humano para aumentar a confiabilidade
Tempo de aquisição	Pior	Melhor	Grande área cobertura em minutos com fotogrametria
Tempo de processamento	Melhor	Pior	Fotogrametria precisa de mais etapas de processamento
Ortorectificação e produção de ortofotomapas	Pior	Melhor	Levantamento convencional não possui dados RGB (fotografias)
Outras análises	Pior	Melhor	Fotogrametria permite outras capacidades associadas ao GIS (análise estrutural geológica, mapeamento mineral automático)

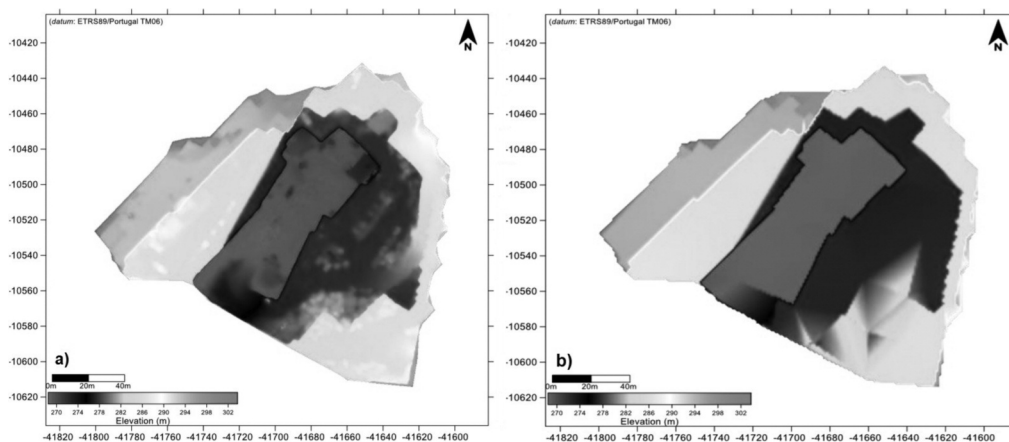


Figura 5. a) MDS criado a partir da fotogrametria da área; b) MDS criado a partir da topografia da área.

Figure 5. a) MDS created from the photogrammetry of the area; b) MDS created from the topography of the area.

- A resolução de amostragem é diferente entre o levantamento convencional e fotogramétrico, denotando-se a dimensão fractal diferente para estudos comparativos e perdem-se pormenores geométricos na baixa resolução de aquisição do levantamento convencional.
- O levantamento fotogramétrico por VANT baseia-se no reconhecimento das características existentes no local de amostragem, o que pode provocar baixa amostragem em áreas texturalmente pobres. Devem-se criar marcas na superfície (alvos, polígonos, pontos).

Na tabela 3 comparam-se os dois métodos utilizados e a sua qualidade para o fim em vista. A utilização do MDS's na comparação tem a ver com o objetivo de avaliar e mapear as explorações de rochas ornamentais em lavra ativa e não calculo de volumes. Esse sim utilizando o MDT.

#### 4. Conclusões

Os levantamentos fotogramétricos revelaram-se eficazes do ponto de vista económico (baixo custo operacional), temporal (tempo de aquisição rápido), resolução, fiabilidade e rigor. Sua utilização,

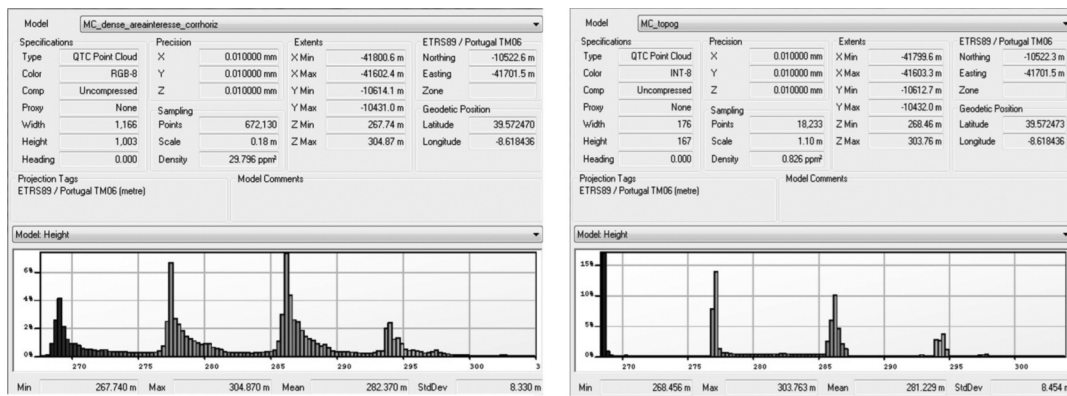


Figura 6. a) histograma dos patamares da fotogrametria (ruído existente), criado no qtbuilder; b) histograma dos patamares da topografia, criado no qtbuilder.  
 Figure 6. a) histogram of photogrammetry levels (existing noise), created in qtbuilder; b) histogram of the topography thresholds created in qtbuilder.

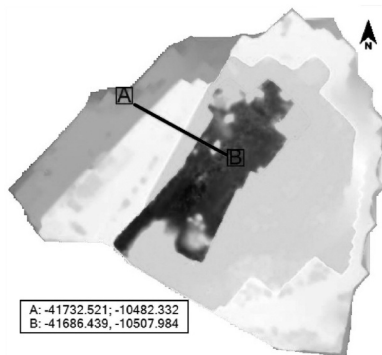


Figura 7. Localização do perfil topográfico utilizado para comparar os MDS's obtidos por fotogrametria e topografia.  
 Figure 7. Location of the topographic profile used to compare the MDS's obtained by photogrammetry and topography.

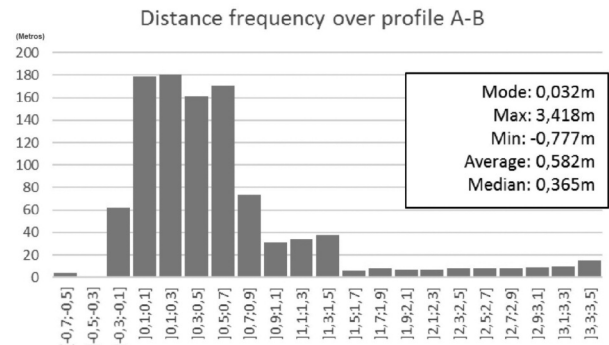


Figura 9. Histograma de diferenças de elevação da fotogrametria em relação à topografia do perfil A – B.  
 Figure 9. Histogram of photogrammetry elevation differences about the topography of profile A – B.

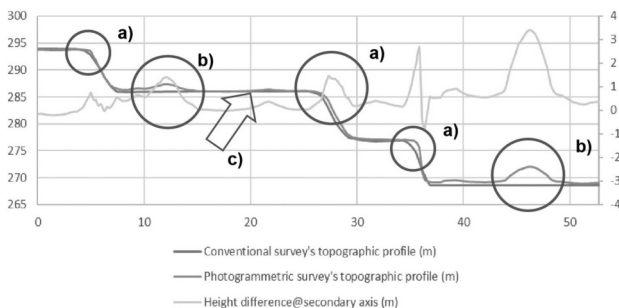


Figura 8. Diferenças altimétricas do perfil A - B.  
 Figure 8. Altimetric differences of profile A - B.

como Detecção Remota ou fotogrametria pode ser útil na aquisição de dados com três objetivos:

1. Complementar os dados de campo relativamente à identificação das estruturas, objetos e desenvolvimento dos trabalhos;
2. Como levantamento topográfico, para o planeamento e otimização da lavra;
3. É também importante, uma vez que reduz o tempo de trabalho de campo e facilita o acesso aos dados em zonas mais remotas.

Outra das vantagens tem a ver com o número de pontos utilizados por cada um dos métodos para a elaboração dos modelos. A fotogrametria utiliza 99,5% de pontos a mais que a topografia, que se traduz numa maior qualidade e rigor das superfícies, diminuindo assim o erro associado à interpolação entre pontos. O maior número de pontos cria

um melhor ajuste e posicionamento das fotos do par estereográfico, melhorando a qualidade de construção do modelo.

### Agradecimentos

À Filstone S.A. por disponibilizar meios e recursos. À Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), através da atribuição da bolsa de investigação SFRH / BDE / 51635 / 2011, financiada pelo POPH – QREN, Fundo Social Europeu e fundos nacionais do MEC. Agradecemos o apoio financeiro da FCT-MEC através de fundos nacionais e, quando aplicável, co-financiado pelo FEDER no âmbito da parceria PT2020, através dos projetos de investigação UID/Multi/00073/2013 do Centro de Geociências e UID/MULTI/00308/2013.

### Referências

Duarte, J., Gonçalves, G., Duarte, D., Figueiredo, F., Mira, M., 2015. Comparison of 3D point clouds obtained by photogrammetric VANTs and TLS to determine the attitude of dolerite outcrops discontinuities. *Geophysical Research Abstracts*, **17**, EGU2015–6630, 2015. EGU General Assembly 2015.

Gates, W. C. B., Haneberg, W. C., 2012. Comparison of Standard Structural Mapping Results to 3–D Photogrammetric Model Results: Boundary Transformer Banks Rockfall Mitigation Project, Metaline Falls, Washington. *46<sup>th</sup> US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, American Rock Mechanics Association*.

Vasuki, Y., Holden, E. J., Kovesi, P., Mickelthwaite, S., 2014. Semi-automatic mapping of geological Structures using VANT–based photogrammetric data: An image analysis approach. *Computers & Geosciences*, **69**: 22-32.