

## Extração automática de parâmetros de olival através de dados de alta resolução adquiridos por veículos aéreos não tripulados

Pedro MARQUES<sup>1</sup>, Luís PÁDUA<sup>1</sup>, Margarida REIS<sup>1</sup>, Anabela FERNANDES-SILVA<sup>1,2</sup> e Joaquim João SOUSA<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real

<sup>2</sup> Centro de Investigação e Tecnologias Agroambientais e Biológicas (CITAB), Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real

<sup>3</sup> Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência (INESC TEC), Porto

(pedro.marques@utad.pt; luispadua@utad.pt; mreis@utad.pt; anaaf@utad.pt; jjsousa@utad.pt)

**Palavras-chave:** veículos aéreos não tripulados, olea europea, processamento fotogramétrico, processamento digital de imagem, deteção e extração automática de parâmetros

### Resumo:

A flexibilidade e a eficiência dos veículos aéreos não tripulados (VANT), fazem destes uma alternativa às plataformas de deteção remota tradicionais. Consequentemente, dados de diferentes sensores, processados com recurso a *software* fotogramétrico, permitem a criação de modelos orto-retificados. Assim, os VANT revelam ser vantajosos na realização de voos onde a necessidade de aquisição de dados, num certo período temporal, é crucial para a aferição do estado de culturas agrícolas. Neste estudo, avalia-se a utilização de um VANT de baixo custo, na realização de voos num olival para extração de parâmetros de interesse, através de dados RGB e multiespectrais. Como caso de estudo, foi selecionado um olival, composto por 437 oliveiras, localizado em Lamas de Orelhão, concelho de Mirandela. Do processamento fotogramétrico, foram gerados mosaicos orto-retificados, modelos digitais de elevação (MDE) e índices de vegetação. Os MDE de cada voo foram usados para a criação de dois modelos de altura do copado que, posteriormente, foram utilizados para a extração automática do número de oliveiras e dos seus parâmetros, como o diâmetro e a altura da copa. Os valores estimados foram validados, através de medidas de campo, tendo-se obtido melhores resultados com os dados RGB. Demonstra-se, assim, que a utilização de um VANT de baixo-custo, aliado ao processamento digital de imagem, apresenta-se como uma alternativa viável com elevada relação custo-benefício para a deteção automática de oliveiras e extração, também automática, dos parâmetros mais relevantes.

## 1. Introdução

A determinação da altura e do diâmetro da copa das árvores, é de grande importância, por razões biológicas e comerciais (Panagiotidis *et al.*, 2017), estando, estes parâmetros, relacionados com a produtividade das culturas e com os recursos hídricos necessários ao seu desenvolvimento. A obtenção destes valores pode ser conseguida recorrendo a dados de deteção remota (Zhen *et al.*, 2016), sendo que, de entre estes, as imagens aéreas de grande resolução, obtidas por VANT, pela sua disponibilidade temporal e pela flexibilidade das plataformas de aquisição, permitindo transportar diferentes sensores (Pádua *et al.*, 2017), constituem uma oportunidade única de obter os parâmetros das árvores com elevada precisão, de forma automática. No que concerne à obtenção de dados em olivais, com recurso a plataformas de deteção remota, foram efetuados diferentes estudos com diferentes propósitos e com recurso a dados obtidos com diferentes sensores. Entre estes, destacam-se estudos relacionados com a deteção de doenças (Calderón *et al.*, 2013), o mapeamento do *stress* hídrico (Berni *et al.*, 2009), a avaliação de componentes de balanço energético (Ortega-Farías *et al.*, 2016), a avaliação da biomassa, resultante da poda, recorrendo a dados LIDAR (Estornell *et al.*, 2015) e a determinação de parâmetros dendrométricos (Díaz-Varela *et al.*, 2015).

Nesta comunicação, pretende-se demonstrar a aplicabilidade de um VANT de baixo custo, equipado com uma câmara multiespectral e uma câmara RGB, com o intuito de efetuar o mapeamento de um olival e extrair, automaticamente, os parâmetros das oliveiras, nomeadamente, o número de oliveiras presentes numa determinada área, a sua altura e o diâmetro das suas copas. A este propósito, Gatzliolis *et al.*, (2015) exploraram a utilização de um VANT, equipado com uma câmara RGB, para gerar modelos tridimensionais e, conseqüentemente, obter informações de árvores, ou pequenos grupos de árvores, sendo que os resultados obtidos demonstraram ser equiparáveis aos valores obtidos por estações terrestres de LIDAR. Contudo, esta abordagem exige um número elevado de imagens, em diferentes perspetivas, por árvore, limitando, assim, a realização de voos automáticos. Em (Hadas *et al.*, 2017) foi proposto um método para extração automática de parâmetros dendrométricos de oliveiras, utilizando uma aeronave equipada com um Airborne Laser Scanner (ALS) a uma altura de voo de 1500 m. Estimaram-se a altura da árvore, o diâmetro (médio, menor e maior) e a altura da base da copa. Quando estes valores foram comparados com os parâmetros de 26 árvores, medidas no terreno, obteve-se um coeficiente de determinação,  $R^2$ , de 0.53, em relação à altura das árvores (raiz do erro quadrático médio - RMSE de 0.77 m), de 0.45, para a altura da base da copa (RMSE de 0.46 m), de 0.86, para o diâmetro mais longo (RMSE de 0.65 m) e de 0.89, para o diâmetro mais curto (RMSE de 0.40 m). Noutro estudo, Zarco-Tejada *et al.*, (2014) avaliaram a extração de alturas, através deste tipo de dados, sendo que foi obtido um valor de  $R^2 = 0.89$  e um RMSE de 39 cm, num total de 152 oliveiras avaliadas, tendo sido, também, testados diferentes resoluções espaciais. Assim, ficou comprovado que o uso de VANT e de sensores de aquisição de imagem podem ser usados como uma alternativa válida a outros sensores com um custo mais elevado como LIDAR e o ALS, sendo também uma forma mais eficiente e menos trabalhosa, quando comparados com medições de campo.

## 2. Materiais e métodos

Nesta secção realiza-se a caracterização do olival estudado e apresenta-se a metodologia utilizada na aquisição de dados de campo. Finalmente, descreve-se o processamento fotogramétrico e apresenta-se a metodologia utilizada para a extração automática de parâmetros das oliveiras.

### 2.1 Caracterização da área de estudo

O olival estudado situa-se na freguesia de Lamas de Orelhão, concelho de Mirandela (41°25'32.2"N; 7°17'16.8"W), possui uma área de, aproximadamente, 2 ha, sendo constituído por um total de 437 oliveiras Cv. Verdeal, plantadas em filas, com espaçamento de seis por sete metros (Figura 1), sendo esta parcela tratada de forma biológica.



Figura 1 - Vista aérea do olival estudado.

## 2.2 Aquisição de dados

A aquisição de imagens aéreas foi realizada através do VANT DJI Phantom 4 (DJI, Shenzhen, China). Este VANT, de baixo custo, é constituído por quatro rotores com capacidade para realizar diferentes tipos de voos automáticos, através de um conjunto de *waypoints* definidos pelo operador. Para aquisição de imagens RGB, o VANT tem disponível uma câmara de 12.4 megapixéis, estando esta montada num *gimbal* eletrónico de três eixos, para estabilização da imagem. Para georreferenciação das imagens adquiridas e para o posicionamento do VANT, está disponível um recetor GNSS (*Global Navigation Satellite System*).

O VANT foi modificado para suportar um sensor multiespectral, neste caso, o sensor Parrot SEQUOIA (Parrot, Paris, França) que, para além de aquisição de imagem RGB de 16 megapixéis, suporta a aquisição de imagem em diferentes partes do espectro eletromagnético. Isto é conseguido através de uma matriz de quatro câmaras de 1.2 megapixéis, sendo que cada uma delas é responsável pela aquisição de uma banda específica: verde (550 nm), vermelho (660 nm), *rededge* (735 nm) e infravermelho próximo (790 nm). Está, ainda, incluído um sensor de medição de radiação solar para calibração radiométrica das imagens, montado na parte superior do VANT.

Neste estudo foi utilizada a aplicação DroneDeploy (Drone Deploy, São Francisco, USA) para planeamento e execução da missão e do próprio voo. Esta aplicação permite ao utilizador definir uma área de interesse, através de um polígono, suportando voos em grelha simples e em grelha dupla com diferentes configurações em termos de percentagem de sobreposição longitudinal e lateral entre imagens, altura de voo, ângulo da câmara e velocidade do VANT.

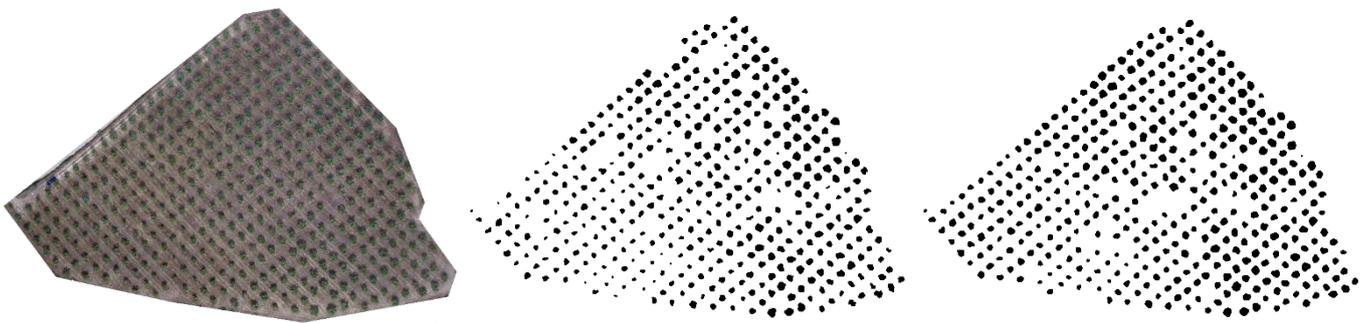
A aquisição das imagens utilizadas neste estudo realizou-se no dia 1 de junho de 2018. Foram realizados dois voos: o primeiro para aquisição de imagens multiespectrais, tendo sido obtidas 944 imagens (4x236); no segundo voo recorreu-se apenas à câmara RGB do VANT resultando num total de 50 imagens. Em ambos os voos seguiram a mesma trajetória e a sobreposição longitudinal entre as imagens adquiridas foi de 80%, já a sobreposição lateral foi de 70%.

## 2.3 Processamento fotogramétrico

As imagens de alta resolução adquiridas pelo VANT foram utilizadas para gerar mosaicos orto-retificados, modelos digitais de superfície (MDS) e modelos digitais de terreno (MDT). Por sua vez, estes produtos, resultantes do processamento fotogramétrico, foram utilizados para criar mapas de índices de vegetação. Recorreu-se ao *software* Pix4Dmapper Pro (Pix4D SA, Lausanne, Suíça), que, usando algoritmos de *structure from motion* (SfM), transforma as imagens adquiridas em nuvens de pontos com elevada densidade. A nuvem densa de pontos foi interpolada para gerar os resultados orto-retificados, de forma automática, através da utilização de um algoritmo baseado no inverso da potência das distâncias e filtros de remoção de ruído. O MDT é gerado através de uma máscara baseada no MDS para classificação do terreno. Além dos resultados obtidos deste processamento, foi ainda gerado o modelo de altura do copado (MAC), subtraindo o MDT ao MDS, em que valores próximos de zero representam solo e os restantes a altura dos objetos acima do solo.

## 2.4 Processamento digital de imagem

Após o processamento fotogramétrico, e consequente obtenção dos resultados orto-retificados do olival e do MAC, é necessário recorrer a técnicas de processamento digital de imagem, de modo a segmentar a imagem em duas classes: pixéis contendo oliveira e pixéis não contendo oliveira. Este processo é conseguido através da avaliação do MAC, onde são admitidos apenas valores acima de 1 metro, removendo-se, desta forma, o solo e toda a vegetação rasteira, presente no olival. Nesta fase é criada uma imagem binária, sendo submetida a um conjunto de operações morfológicas, de abertura e de fecho, de modo a tornar os grupos de pixéis mais uniformes e a remover potencial ruído. São também aplicadas operações morfológicas de preenchimento de buracos, com o intuito de preencher pequenas falhas presentes em algumas copas, e operações de remoção de pequenos objetos de modo a remover o ruído da imagem binária. Assim, a imagem binária final (Figura 2), resultante de todos os processos mencionados anteriormente, é utilizada para extrair os parâmetros relacionados com as oliveiras, como altura e o diâmetro da copa.



**Figura 2** - Segmentação da parcela. À esquerda está ilustrado o mosaico RGB do olival, ao centro, a imagem binária final resultante do MAC multispectral, e, à direita, a imagem binária final, resultante do MAC RGB. Nas imagens binárias, o preto representa as oliveiras.

## 3. Resultados e discussão

Nesta secção são apresentados os resultados (número de árvores detetadas, altura e diâmetro da copa) provenientes da utilização dos dois tipos de dados (RGB e multispectral), sendo estes validados por comparação com medições de campo. Para efeito de validação, foram avaliados vários parâmetros como  $R^2$ , de modo a medir a proporção de variabilidade entre os valores obtidos com dados do VANT com os valores medidos no terreno em 16 oliveiras, RMSE e o RMSE relativo (RRMSE), com o intuito de calcular as diferenças entre estes valores.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \mu_D)^2}{\sum_{i=1}^n D_i^2} \quad (1)$$

O coeficiente de determinação, foi calculado através da Equação (1), onde  $D_i$  representa a diferença entre o valor estimado e o valor correspondente, observado no campo, para cada oliveira ( $i$ ),  $\mu_D$  representa o valor médio de  $D$  e  $n$  o total de oliveiras analisado. O valor de RRMSE foi obtido através da divisão do valor de RMSE (Equação (2)) sobre o valor médio do parâmetro em avaliação.

$$RMSE = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (D_i)^2} \quad (2)$$

### 3.1 Número de árvores detetadas

Em relação ao número de oliveiras detetadas, através do MAC resultante das imagens RGB, num total de 437 oliveiras, foram extraídas, com sucesso, 418 árvores, obtendo-se, assim, uma taxa de acerto de 96%. Por outro lado, o MAC, resultante das imagens multispectrais, detetou com sucesso 415 oliveiras, correspondendo a uma taxa de acerto de 95%. As falhas em ambos

os MAC, devem-se ao facto de o modelo de elevação possuir alguns erros na criação da nuvem de pontos durante o processamento fotogramétrico, resultando em oliveiras sem pontos estimados. A

Figura 3 ilustra as falhas mencionadas anteriormente, onde é visível que apenas uma oliveira não foi detetada em ambos os MAC.

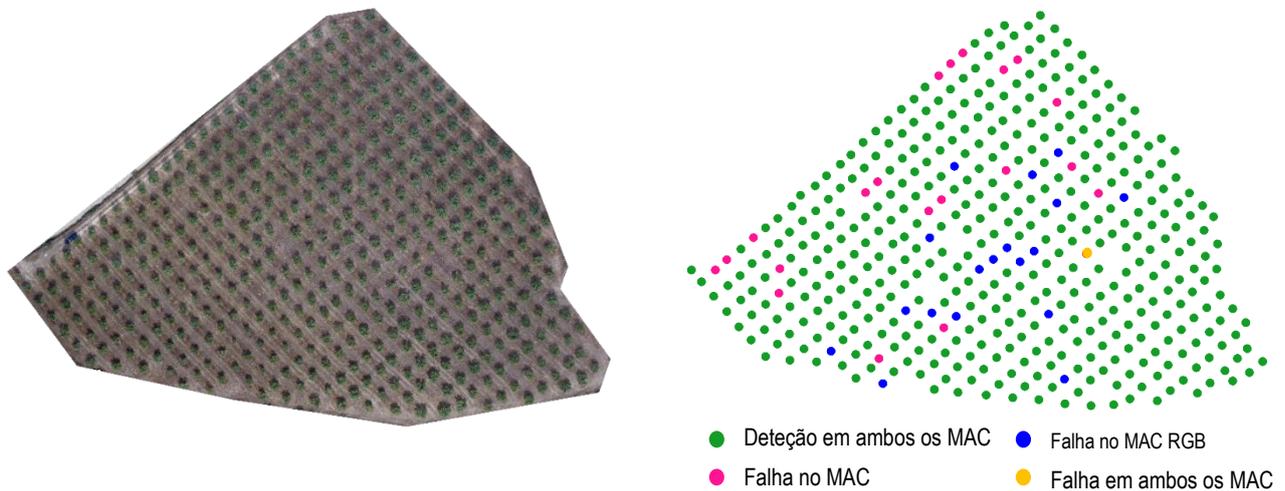


Figura 3 – Detecção de oliveiras nos MAC RGB e multiespectral. À esquerda está ilustrado o mosaico RGB do olival e, à direita, estão representadas por cores, o desempenho de cada modelo.

### 3.2 Estimativa do diâmetro da copa

Para estimar o diâmetro da copa de cada oliveira, foi calculado, de forma automática, o comprimento do eixo principal de cada conjunto de pixels brancos, presentes na imagem binária, sendo este valor, em pixels, multiplicado pela dimensão correspondente no terreno (GSD – Ground Sample Distance). Na Figura 4 estão apresentadas as correlações entre os valores do diâmetro estimado e observado, usando ambos os MAC (RGB e multiespectral), estando também identificado o coeficiente de determinação obtido.

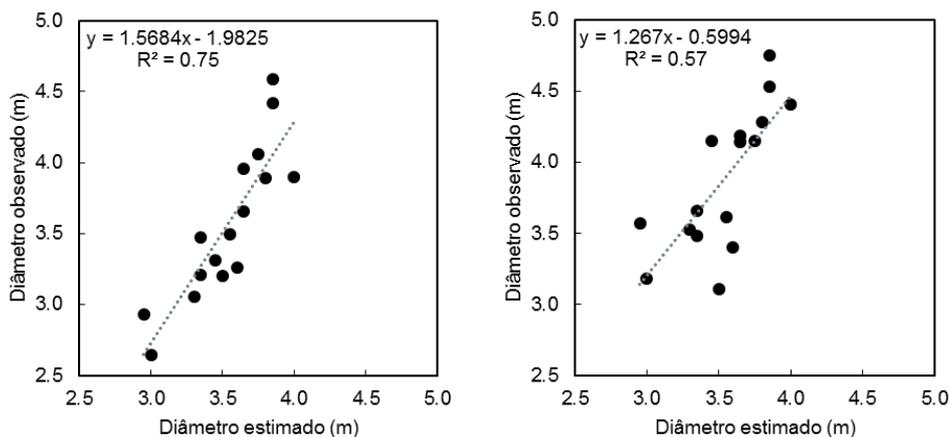


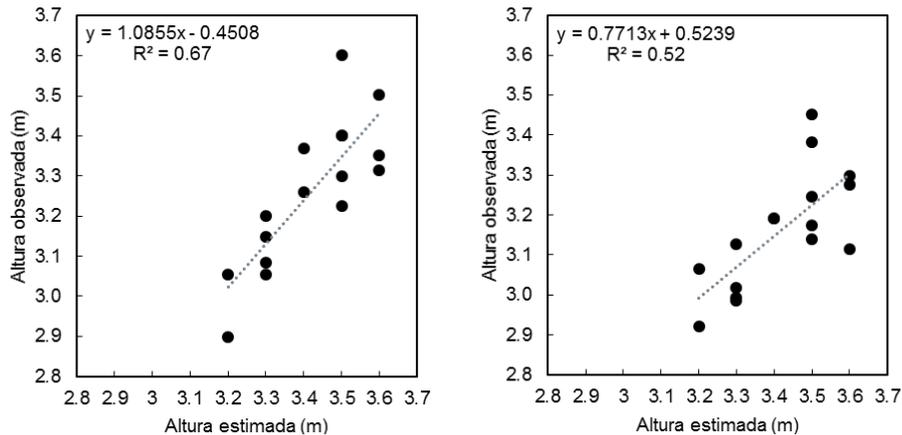
Figura 4 - Resultados da validação realizada para o diâmetro das oliveiras. À esquerda, estão representados os resultados obtidos pelo MAC gerado com os dados RGB e, à direita, os resultados obtidos através da utilização do MAC gerado através dos dados multiespectrais

Através dos resultados apresentados na Figura 4, é possível aferir que, em relação à estimativa do diâmetro da copa, o MAC do mosaico RGB obteve melhor precisão do que o MAC do mosaico multiespectral. Enquanto que o MAC do mosaico RGB obteve

um  $R^2 = 0.75$ , com RMSE de 31 cm e RRMSE de 9%, o MAC do mosaico multiespectral obteve um  $R^2 = 0.57$ , com RMSE de 47 cm e RRMSE de 13%.

### 3.3 Estimativa da altura individual das árvores

Para estimar a altura individual das oliveiras, cada grupo de pixels na imagem binária, foi sobreposto no seu respetivo MAC e, através desta interseção, determinou-se o máximo da região. Na Figura 5, apresenta-se a linha de tendência que ilustra a variabilidade entre as alturas estimadas pelos diferentes MAC e os respetivos valores medidos no campo.



**Figura 5** - Resultados da validação realizada para altura das oliveiras. À esquerda, estão representados os resultados obtidos pelo MAC gerado com os dados RGB e, à direita, os resultados obtidos para este parâmetro no MAC gerado através dos dados multiespectrais

Através da análise aos resultados ilustrados na Figura 5, é possível afirmar que, mais uma vez, os dados obtidos através de MAC de imagens RGB apresenta um melhor desempenho do que os dados obtidos através de MAC de imagens multiespectrais. Enquanto que as alturas estimadas através do MAC RGB obteve um valor  $R^2 = 0.67$ , com um RMSE de 19 cm e com RRMSE de 6%, as mesmas obtidas, já através do MAC multiespectral, apresentaram um  $R^2 = 0.52$ , RMSE de 28 cm e RRMSE de 8%.

Este resultado é explicável pela melhor resolução do sensor RGB, quando comparado com o sensor multiespectral. De facto, a mais-valia das imagens multiespectrais, nomeadamente as imagens das bandas *rededge* e infravermelho próximo, mesmo sendo de menor resolução, só se farão sentir quando usadas para detetar vegetação recorrendo, por exemplo, a índices de vegetação, o que não aconteceu na metodologia desenvolvida e aplicada neste estudo. Esta é, aliás, uma das características a relevar nesta metodologia, pois permite recorrer, exclusivamente, a equipamento e sensores de baixo-custo.

### 3.4 Índice de vegetação

Apesar dos dados multiespectrais, quando comparado com dados RGB, apresentarem um pior desempenho na extração de parâmetros como altura e diâmetro de copas, têm a vantagem de permitirem a criação de mapas que permitem aferir da condição geral da vegetação. Isto deve-se ao facto de os sensores multiespectrais operarem em regiões do espectro eletromagnético em que a refletância das plantas aumenta consideravelmente. Assim, o recurso a índices de vegetação, permitem a estimativa de parâmetros como o índice de área foliar, a percentagem de cobertura vegetal, o teor de clorofila, a biomassa verde, a fotossíntese, o *stress* hídrico de vegetação e a radiação fotossinteticamente ativa absorvida (Baret & Guyot, 1991). Neste estudo foi utilizado o índice de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* - Rouse *et al.*, 1974), que varia entre -1 e 1, onde valores inferiores e próximo a zero não representam vegetação, estando, este índice, relacionado com a atividade fotossintética e vigor vegetativo (Figura 6).

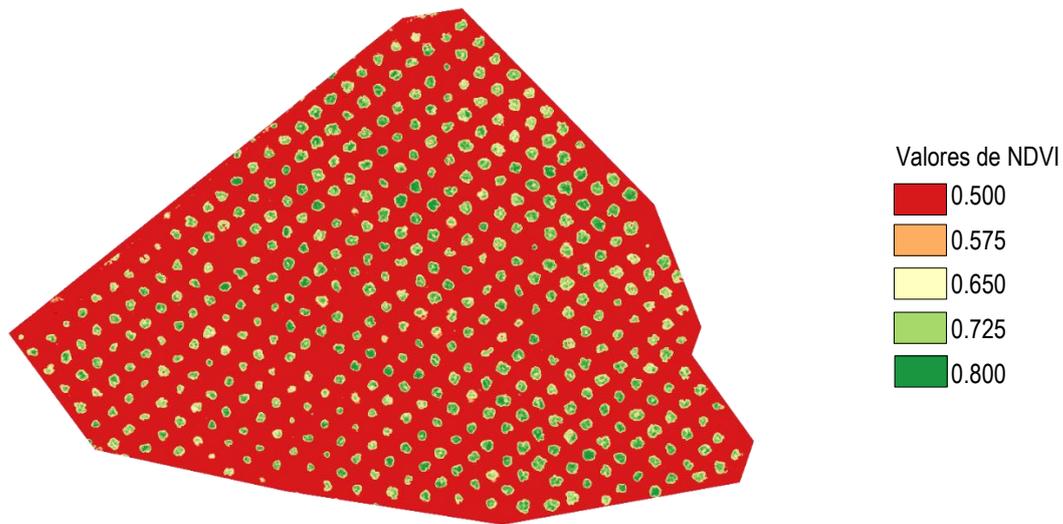


Figura 6 - Mapa NDVI do olival em estudo.

Através deste mapa, é possível efetuar uma análise geral da condição do olival, onde é visível a atividade fotossintética das oliveiras, sendo que oliveiras com valores de NDVI mais baixos pode ser indicativo da presença de problemas fitossanitários como pragas, doença ou défices nutricionais. O potencial deste tipo de dados permite que sejam realizadas operações de inspeção de campo de forma mais célere e realizar tratamentos variáveis no terreno.

#### 4. Conclusão

Nesta comunicação apresenta-se um método de extração de parâmetros do olival, nomeadamente a altura e o diâmetro do copado de árvores individuais, através de processamento fotogramétrico de imagens aéreas de elevada resolução e de técnicas de processamento digital de imagem. Estabelece-se uma comparação entre os parâmetros extraídos de dois MAC distintos: RGB e multiespectral, tendo sido, os valores estimados pelo método, validados com medições de campo. Com a realização deste estudo, foi possível concluir que, para extração dos parâmetros de oliveiras, o MAC obtido através dos dados RGB apresenta um melhor desempenho, quando comparado com o MAC resultante dos dados multiespectrais. Esta diferença está relacionada com a superior resolução do sensor RGB (12.4 megapixéis) quando comparado com o sensor multiespectral (1.2 megapixéis), mas também com o facto de o método apresentado, no que respeita à determinação destes parâmetros, não recorrer a índices de vegetação.

Como trabalho futuro pretende-se avaliar o efeito que o número de imagens adquiridas a uma determinada altura de voo, realizado com uma configuração em grelha simples ou de grelha dupla, pode causar na qualidade dos resultados finais para ser possível minimizar os erros obtidos e, ao mesmo tempo, otimizar a extração de parâmetros de olivais, cruciais para aferir a evolução, ao longo do tempo. A estimativa de outros parâmetros, como a altura da base da copa e a validação do índice de área foliar, através dos dados multiespectrais, podem ser utilizados como *inputs* para a criação de modelos de estimativa de produção.

#### Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pelo Fundo Europeu Agrícola de Desenvolvimento Rural (FEADER) e pelo Estado Português no âmbito da Ação 1.1 «Grupos Operacionais», integrada na Medida 1, «Inovação» do PDR 2020 – Programa de Desenvolvimento Rural do Continente, como parte do projeto GO- Grupo Operacional Olivicultura e Azeite- SustentOlive: Melhoria das práticas de rega e fertilização nas explorações olivícolas em Trás-os-Montes para a sustentabilidade do olival e suportado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) através do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização - COMPETE 2020 sob o Acordo de Parceria PORTUGAL 2020, e através da Agência Nacional de Inovação (ANI), como parte do projeto “PARRA – Plataforma integrAdA de monitoRização e avaliação da doença da flavescência douRada na vinha” (Nº 3447).

## Referências Bibliográficas

- Baret, F., & Guyot, G. (1991). Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*, 35(2–3), 161–173.
- Berni, J. A. J., Zarco-Tejada, P. J., Sepulcre-Cantó, G., Fereres, E., & Villalobos, F. (2009). Mapping canopy conductance and CWSI in olive orchards using high resolution thermal remote sensing imagery. *Remote Sensing of Environment*, 113(11), 2380–2388.
- Calderón, R., Navas-Cortés, J. A., Lucena, C., & Zarco-Tejada, P. J. (2013). High-resolution airborne hyperspectral and thermal imagery for early detection of Verticillium wilt of olive using fluorescence, temperature and narrow-band spectral indices. *Remote Sensing of Environment*, 139(Supplement C), 231–245.
- Díaz-Varela, R. A., de la Rosa, R., León, L., & Zarco-Tejada, P. J. (2015). High-Resolution Airborne UAV Imagery to Assess Olive Tree Crown Parameters Using 3D Photo Reconstruction: Application in Breeding Trials. *Remote Sensing*, 7(4), 4213–4232.
- Estornell, J., Ruiz, L. A., Velázquez-Martí, B., López-Cortés, I., Salazar, D., & Fernández-Sarria, A. (2015). Estimation of pruning biomass of olive trees using airborne discrete-return LiDAR data. *Biomass and Bioenergy*, 81, 315–321.
- Gatziolis, D., Lienard, J. F., Vogs, A., & Strigul, N. S. (2015). 3D Tree Dimensionality Assessment Using Photogrammetry and Small Unmanned Aerial Vehicles. *PLOS ONE*, 10(9), e0137765.
- Hadas, E., Borkowski, A., Estornell, J., & Tymkow, P. (2017). Automatic estimation of olive tree dendrometric parameters based on airborne laser scanning data using alpha-shape and principal component analysis. *GIScience & Remote Sensing*, 54(6), 898–917.
- Ortega-Farías, S., Ortega-Salazar, S., Poblete, T., Kilic, A., Allen, R., Poblete-Echeverría, C., Ahumada-Orellana, L., Zuñiga, M., Sepúlveda, D. (2016). Estimation of Energy Balance Components over a Drip-Irrigated Olive Orchard Using Thermal and Multispectral Cameras Placed on a Helicopter-Based Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Remote Sensing*, 8(8), 638.
- Pádua, L., Vanko, J., Hruška, J., Adão, T., Sousa, J. J., Peres, E., & Morais, R. (2017). UAS, sensors, and data processing in agroforestry: a review towards practical applications. *International Journal of Remote Sensing*, 38(8–10), 2349–2391.
- Panagiotidis, D., Abdollahnejad, A., Surov, P., & Chiteculo, V. (2017). Determining tree height and crown diameter from high-resolution UAV imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 38(8–10), 2392–2410.
- Rouse, J. W., Jr., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Special Publication*, 351, 309.
- Zarco-Tejada, P. J., Diaz-Varela, R., Angileri, V., & Loudjani, P. (2014). Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. *European Journal of Agronomy*, 55, 89–99.
- Zhen, Z., Quackenbush, L. J., & Zhang, L. (2016). Trends in Automatic Individual Tree Crown Detection and Delineation—Evolution of LiDAR Data. *Remote Sensing*, 8(4), 333.