

Monitorização da amendoeira através de dados espaço-temporais adquiridos por veículo aéreo não tripulado

Almond tree monitoring using spatiotemporal data collected by an unmanned aerial vehicle

Nathalie Guimarães^{1,2,*}, Luís Pádua^{1,2}, Joaquim J. Sousa^{1,3}, Albino Bento⁴ e Pedro Couto^{1,2}

¹University of Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal

²Centre for the Research and Technology of Agro-Environmental and Biological Sciences (CITAB), Vila Real, Portugal

³Centre for Robotics in Industry and Intelligent Systems, INESC-TEC, Porto, Portugal

⁴Centro de Investigação de Montanha (CI MO), Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal

(*E-mail: nsguimaraes@utad.pt)

<https://doi.org/10.19084/rca.31336>

RESUMO

A amendoeira (*Prunus dulcis* (Mill.) D. A. Webb) é uma cultura em expansão em várias regiões do mundo. Em Portugal, esta expansão materializou-se com o aparecimento de novas plantações no País, a intensificação do sistema produtivo e o aumento da área de regadio. Para atender à crescente procura de amêndoas, é essencial investir em tecnologias agrícolas, com vista a aumentar os níveis de produção e realizar a monitorização da cultura. Na última década, o veículo aéreo não tripulado (VANT) surgiu como uma importante ferramenta para as aplicações agrícolas. Neste estudo, propomos um método para monitorizar a cultura da amendoeira, utilizando-se dados espaço-temporais, adquiridos por um sensor multiespectral acoplado a um VANT. Diversos parâmetros estruturais das árvores (número de elementos e a altura da árvore) foram obtidos e analisados durante a época de crescimento, num amendoal tradicional. O Índice de Vegetação (IV) NDVI foi calculado para avaliar o estado vegetativo das amendoeiras através dos dados espaço-temporais. Os resultados dos índices em conjugação com os parâmetros estruturais obtidos, mostraram que houve uma diminuição dos IV ao longo da época de crescimento. Esta diminuição estará ligada ao aumento do “stress” hídrico. Este trabalho mostra a importância do uso dos VANT para monitorização de amendoais.

Palavras-chave: Deteção Remota, Veículos Aéreos Não Tripulados, amendoeiras, monitorização.

ABSTRACT

The almond tree (*Prunus dulcis* (Mill.) D. A. Webb) is a growing crop worldwide. This expansion was manifested in Portugal by the establishment of new plantations, the intensification of the production system, and the growth of irrigated area. To meet demands for almonds, it is essential to invest in agricultural technologies that will improve production and monitor the crop. Unmanned aerial vehicles (UAV) have developed as a significant technology for agricultural applications throughout the past decade. In this study, we suggest a method for monitoring the almond tree crop using spatiotemporal data collected by a multispectral sensor accopled to an unmanned aerial vehicle (UAV). During the growing season, in a traditional almond orchard, certain physical tree parameters (number of trees and crown area) were collected and analyzed. Using spatiotemporal data, vegetation indices (VI) were developed to evaluate the vegetative status of almond trees. In combination with the obtained physical parameters, the results of the indices indicated a decline in VI during the growing season. This decline will be associated with the rise in water stress. This study demonstrates the significance of employing UAVs to monitor almond orchards.

Keywords: Remote Sensing, Unmanned Aerial Vehicles, almond trees, monitoring.

INTRODUÇÃO

A amendoeira, (*Prunus dulcis* (Mill.) D. A. Webb), é uma cultura com elevado valor comercial, devido às suas inúmeras propriedades nutricionais da amêndoa (Martínez-García *et al.*, 2019). Os Estados Unidos da América, nomeadamente a Califórnia, são o maior produtor de amêndoa, correspondendo a cerca de 60 % da produção mundial. A produção mundial de amêndoa tem vindo continuamente a aumentar, principalmente nos países mediterrânicos, tais como Portugal, Espanha, Itália e França, onde o clima quente e seco propicia o desenvolvimento da amêndoa (Rodrigues *et al.*, 2012). Em Portugal, a cultura da amendoeira localiza-se essencialmente nas regiões de Trás-os-Montes, Alentejo e Algarve (Barreira *et al.*, 2010).

Na última década, diversos estudos têm sido realizados no amendoal, recorrendo-se às plataformas de deteção remota (DR). Entre esses, destacam-se os estudos relacionados com a monitorização do “stress” hídrico (Gonzalez-Dugo *et al.*, 2012; Zhao *et al.*, 2017; Gutiérrez-Gordillo *et al.*, 2021). Porém, a maioria desses estudos apresenta análises ao nível da exploração agrícola. Tendo em consideração os princípios associados à agricultura de precisão, os processos de monitorização e medição necessitam de considerar a variabilidade dentro das explorações agrícolas (Daponte *et al.*, 2019). Assim sendo, a análise ao nível da árvore, com base na extração de parâmetros individuais, é crucial para a caracterização e monitorização de pomares de amendoeiras (Torres-Sánchez *et al.*, 2018).

Tendo em consideração os desafios decorrentes das alterações climáticas, a análise e monitorização das culturas ao nível da árvore são fundamentais (Howden *et al.*, 2007). Neste contexto, pretendemos apresentar uma metodologia para a extração de parâmetros estruturais ao nível da árvore (altura das árvores, número de árvores, área da copa), bem como efetuar a computação do índice de vegetação (NDVI), essencial para a monitorização do amendoal, utilizando-se os dados multiespectrais adquiridos por VANT. Como caso de estudo, foram efetuados diversos voos com o VANT, num pomar de amendoeiras, em quatro épocas distintas, ao longo de dois anos (2021 e 2022). Os voos foram efetuados durante o Verão, uma vez que, desta forma tornou-se possível efetuar um acompanhamento mais conciso dos níveis de stress hídrico no amendoal.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo e aquisição de dados com VANT

A recolha de dados foi efetuada num amendoal de sequeiro (Figura 1), com cerca de 0,50 hectares, da cultivar ‘Lauranne’, localizado em São Salvador, Bragança, Portugal (41°25'55.7"N, 7°08'06.7"W, 342 m altitude).

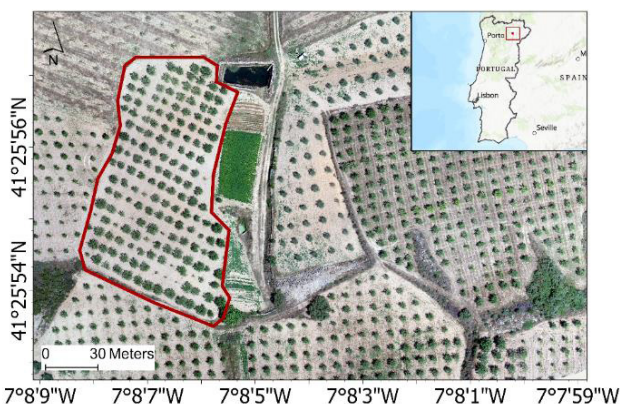


Figura 1 - Vista aérea do amendoal de sequeiro (41°25'55.7"N, 7°08'06.7"W, 342 m altitude).

Os dados do VANT foram adquiridos através de um multi-rotor Phantom 4 (DJI, Shenzhen, China). Para captar as imagens RGB georreferenciadas, a câmara foi equipada com um sensor CMOS (resolução de 12,4 MP) assente num estabilizador de três eixos. As imagens multiespectrais foram capturadas com a câmara Parrot SEQUOIA (Parrot SA, Paris, França), a qual é composta por quatro sensores que permitem capturar quatro bandas distintas, com uma resolução de 1,2 MP: verde, 550 nm (largura de banda de 40 nm); vermelho, 660 nm (largura de banda de 40 nm); red edge, 735 nm (largura de banda de 10 nm) e infravermelho próximo, 790 nm (largura de banda de 40 nm). Os dados de irradiação são obtidos durante o voo e os dados de refletância são recolhidos através de um alvo de calibração radiométrica.

Os voos foram efetuados durante a época estival, mais propriamente, a 29 de junho e a 5 de agosto de 2021, bem como a 4 de julho e 18 de agosto de 2022. Este período caracteriza-se por um clima quente e

seco, com baixos valores de precipitação (Cordeiro e Monteiro, 2002).

A altura de voo foi de 60 metros, com uma sobreposição longitudinal das imagens de 80 % e uma sobreposição lateral de 70 %.

Processamento de dados

O processamento de dados baseou-se em três etapas principais (figura 2): (1) processamento fotogramétrico; (2) segmentação da copa das árvores; e (3) extração de parâmetros por árvore.

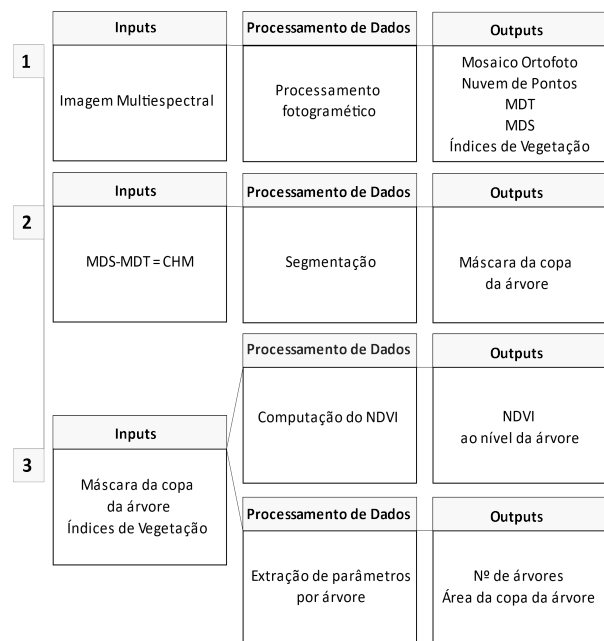


Figura 2 - Etapas do processamento de dados. (1) Processamento fotogramétrico; (2) segmentação da copa das árvores; e (3) extração de parâmetros por árvore.

O processamento fotogramétrico foi efetuado através do software Pix4Dmapper Pro (Pix4D SA, Lausanne, Suíça). Este software foi utilizado no processamento das imagens RGB e multiespectrais. Como resultado do processamento, foram gerados: o ortofoto mosaico, o Modelo Digital de Terreno (MDT), o Modelo Digital de Superfície (MDS) e os índices de vegetação. Os dados foram devidamente alinhados durante o processamento fotogramétrico, utilizando-se os pontos em comum

encontrados nas imagens dos sensores. O modelo de altura da copa (MHC) foi calculado através do MDS e o MDT.

O MHC foi utilizado como entrada no processo de detecção e segmentação da copa das árvores. No processo de segmentação foi aplicado um limiar de 0,5 m, valor este que se revelou eficaz, uma vez que eliminou completamente a vegetação rasteira existente, bem como as sombras projetadas pelas copas das árvores. Deste procedimento resultou uma máscara binária que foi, posteriormente, vetorizada para se obter os polígonos para cada copa de árvore detetada.

No último procedimento de processamento de dados, as copas das árvores segmentadas foram usadas para obter o valor médio de NDVI para cada copa e para extrair outros parâmetros como: altura da árvore (derivada de MHC) e o número de árvores.

RESULTADOS

Tendo em consideração o processamento de dados efetuado, foi possível obter o valor médio do NDVI, calculado para cada copa das árvores em 29 de

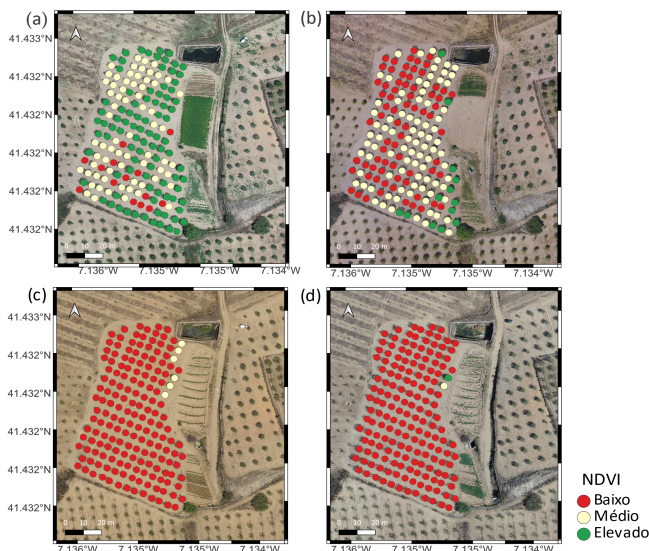


Figura 3 - Resultados do processamento de dados. NDVI médio por árvore em (a) 29/06/2021, (b) 05/08/2021, (c) 04/07/2022, e (d) 18/08/2022.

junho de 2021 (Figura 3a), 5 de agosto de 2021 (Figura 3b), 4 de julho de 2022 (Figura 3c) e 18 de agosto de 2022 (Figura 3d).

De acordo com os resultados apresentados na Figura 3, é possível constatar-se que houve uma diminuição dos valores do NDVI de 29/06/2021 (a) para 05/08/2021, uma vez que a 05/08/2021 já se refletia a influência da diminuição da precipitação (Figura 4) registada de junho a agosto de 2021.

Tendo em consideração as quatro datas de recolha de dados, verifica-se que houve uma regressão progressiva ao longo do tempo dos valores do NDVI médio, a qual está associada ao aumento do “stress” hídrico verificado no ano de 2022. Ao analisar-se a Figura 4, é evidente a redução nos valores de precipitação, entre o ano de 2021 e 2022, visto que de janeiro até agosto de 2021 registaram-se, aproximadamente, 584 mm de precipitação, enquanto em 2022 esse valor foi de apenas 174 mm.

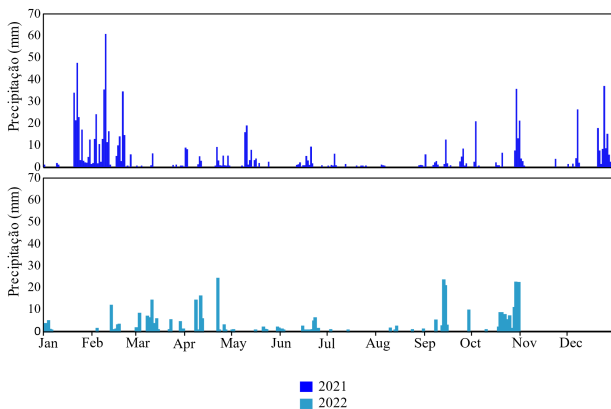


Figura 4 - Dados de Precipitação (mm) diários de 2021 e 2022.

No que diz respeito aos valores obtidos na extração de parâmetros, foram detetadas 173 árvores. Em relação à altura das árvores, de acordo com a Figura 5, 53 árvores têm valores abaixo dos 2,65 metros, 60 árvores têm valores de altura entre 2,65 e 3,01 metros e 60 árvores apresentam valores entre 3,01 e 4,67 metros.

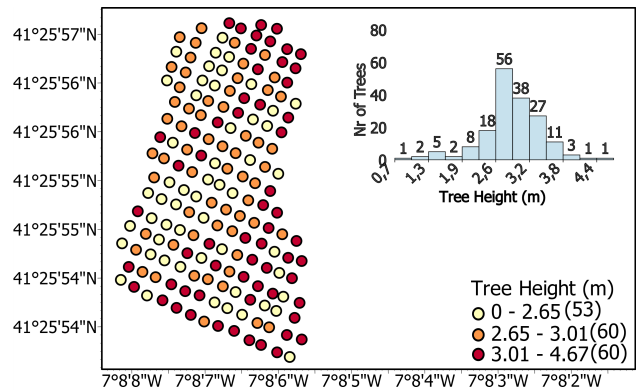


Figura 5 - Distribuição dos valores de altura das árvores.

Relativamente aos valores da área da copa, medidos ao longo das quatro datas de recolha dos dados, verificou-se que houve uma diminuição progressiva da área da copa, sendo mais evidenciada a 18/08/2022, com um aumento significativo das árvores com áreas entre 0 e 4,5 m².

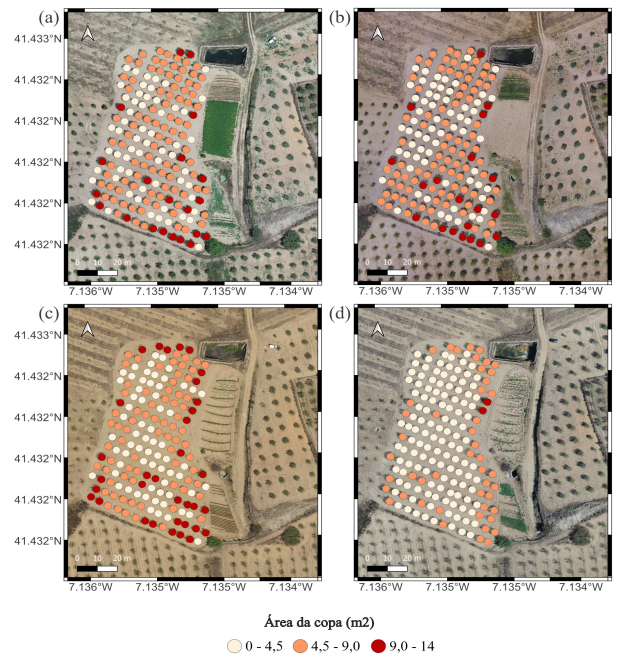


Figura 6 - Resultados do processamento de dados. Variação da área da copa (m²) em (a) 29/06/2021, (b) 05/08/2021, (c) 04/07/2022, e (d) 18/08/2022.

CONCLUSÕES

A metodologia apresentada neste estudo permitiu obter vários parâmetros ao nível da árvore num amendoal. Os resultados experimentais apresentados neste estudo mostram a viabilidade de monitorar o declínio vegetativo ao longo do tempo, ao analisar diferentes datas. Em trabalhos futuros, outras métricas também poderão ser estimadas, tais como volume das árvores, bem como, outros índices de vegetação. Além disso, o desenvolvimento vegetativo do amendoal, durante a época de crescimento, será avaliado usando dados espaço-temporais adquiridos por UAV com outros sensores, como por exemplo o sensor térmico e o hiperespectral.

AGRADECIMENTOS

A autora agradece o apoio financeiro da FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia (UI/BD/150727/2020), no âmbito do Programa Doutoral “Cadeias de Produção Agrícola – da Mesa ao Campo” (PD/00122/2012) e ao abrigo o projeto UIDB/04033/2020. Este trabalho contou ainda com o apoio do projeto CoaClimateRisk (COA/CAC/0030/2019), financiado por fundos nacionais pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barreira, J.C.M.; Pereira, J.A.; Oliveira, M.B.P.P. and Ferreira, I.C.F.R. (2010) - Sugars Profiles of Different Chestnut (*Castanea Sativa* Mill.) and Almond (*Prunus Dulcis*) Cultivars by HPLC-RI. *Plant Foods for Human Nutrition*, vol. 65, n. 1, p. 38–43. <https://doi.org/10.1007/s11130-009-0147-7>
- Cordeiro, V. and Monteiro, A. (2002) - Almond growing in Trás-os-Montes region (Portugal). *Acta Horticulturae*, vol. 591, p. 161-165. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.591.22>
- Daponte, P.; De Vito, L.; Glielmo, L.; Iannelli, L.; Liuzza, D.; Picariello, F. and Silano, G. (2019) - A Review on the Use of Drones for Precision Agriculture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 275 (May). IOP Publishing: 012022.
- Gonzalez-Dugo, V.; Zarco-Tejada, P.; Berni, J.A.J.; Suárez, L.; Goldhamer, D. and Fereres, E. (2012) - Almond Tree Canopy Temperature Reveals Intra-Crown Variability That Is Water Stress-Dependent. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 154–155, p. 156–165. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.11.004>
- Gutiérrez-Gordillo, S.; González-Santiago, J.G.; Trigo-Córdoba, E.; Rubio-Casal, A.E.; García-Tejero, I.F. and Egea, G. (2021) - Monitoring of Emerging Water Stress Situations by Thermal and Vegetation Indices in Different Almond Cultivars. *Agronomy*, vol. 11, n. 7, p. 1419. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071419>
- Howden, S.M.; Soussana, J.-F.; Tubiello, F.N.; Chhetri, N.; Dunlop, M. and Meinke, H. (2007) - Adapting Agriculture to Climate Change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol.104, n. 50, p. 19691–19696. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701890104>
- Martínez-García, P.J.; Prudencio, A.S.; Sánchez-Pérez, R.; De Los Cobos, F.P.; Kodad, O.; Gouta, H.; Rubio, M. and Martínez-Gómez, P. (2019) - Almond [*Prunus Dulcis* (Miller) D.A. Webb] Breeding. In: Al-Khayri, J.M.; Jain, S.M. and Johnson, D.V. (Eds.) - *Advances in Plant Breeding Strategies: Nut and Beverage Crops*. volume 4 p., 3–29. Cham: Springer International Publishing.
- Rodrigues, P.; Venâncio, A. and Lima, N. (2012) -Mycobiota and Mycotoxins of Almonds and Chestnuts with Special Reference to Aflatoxins. *Food Research International*, vol. 48, n. 1, p. 76–90. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.02.007>
- Torres-Sánchez, J.; de Castro, A.I.; Peña, J.M.; Jiménez-Brenes, F.M.; Arquero, O.; Lovera, M. and López-Granados, F. (2018) - Mapping the 3D Structure of Almond Trees Using UAV Acquired Photogrammetric Point Clouds and Object-Based Image Analysis. *Biosystems Engineering*, vol. 176, p. 172–184. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.10.018>
- Zhao, T.; Chen, Y.-Q.; Ray, A. and Doll, D. (2017) - Quantifying Almond Water Stress Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): Correlation of Stem Water Potential and Higher Order Moments of Non-Normalized Canopy Distribution. In: *Volume 9: 13th ASME/IEEE International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications, V009T07A058*. Cleveland, Ohio, USA: American Society of Mechanical Engineers.