

Atas do encontro “VANTs e Geotecnologias / instabilidade de vertentes e agricultura de precisão no Alto Douro Vinhateiro”



Porto, 16 de maio de 2017

Faculdade de Letras da Universidade do Porto

Atas do encontro
“VANTs e
Geotecnologias /
instabilidade de
vertentes e agricultura
de precisão no Alto
Douro Vinhateiro”

Ficha técnica

Título: Atas do encontro “VANTs e Geotecnologias / instabilidade de vertentes e agricultura de precisão no Alto Douro Vinhateiro”

ISBN: 978-989-54291-6-5

Organização: Carlos Bateira, António Costa, Joana Fernandes

Fotografia da Capa: Joana Fernandes

Formato: eletrónico

Data do evento: 16 de maio de 2017

Local: Faculdade de Letras da Universidade do Porto

Data de publicação: setembro de 2018

Editora: Faculdade de Letras da Universidade do Porto

Via Panorâmica, s/n - 4150-564 Porto - Portugal

+351 226 077 100

Financiamento:

Trabalho desenvolvido no âmbito do projeto de I&DT n.º 03495 – CLOUDMAPPER, cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional da União Europeia (FEDER), através do Portugal 2020 (P2020), ao abrigo do programa Operacional Competitividade e Internacionalização (COMPETE 2020)

Índice

Autor	Título	Pág.
Joana Fernandes, Carlos Bateira, António Costa, Bruno Fonseca, Rui Moura, José Gonçalves	<i>Variação espacial da resistividade elétrica em terraços agrícolas: Correlação estatística entre TRE e algoritmos de direção de fluxos.</i>	7-18
Ana Teodoro	<i>UAV image processing in open source software</i>	19-27
António Costa, Carlos Bateira, Joana Fernandes	<i>Nuvens de pontos, classificação de imagens e MDT: Propostas metodológicas</i>	29-34
João Miguel Campos, Bruno Oliveira, João Satiro, Francisco Câmara, João Oliveira, João Araújo e Carlos Posse	<i>Monitorização do processo vitícola na região do Alto-Douro Vinhateiro com recurso a UAVs</i>	35-46
Carlos Bateira, António Costa, Joana Fernandes e Bruno Fonseca	<i>Avaliação da suscetibilidade a deslizamentos em taludes de terraços agrícolas: modelos matemáticos de base física</i>	47-61

Variação espacial da resistividade elétrica em terraços agrícolas: Correlação estatística entre TRE e algoritmos de direção de fluxos.¹

Electrical resistivity spatial variation in agriculture terraces: Statistical correlation with ERT and flow direction algorithms¹

Joana Fernandes ^a
joanafcfernandes@gmail.com

Carlos Bateira ^b
carlosbateira@gmail.com

António Costa ^a
afonso.costa@gmail.com

Bruno Fonseca ^a
brunopomarelhos@hotmail.com

Rui Moura ^c
rmmoura@fc.up.pt

José Gonçalves ^c
jagoncal@fc.up.pt

^a*Faculdade de Letras da Universidade do Porto*

^b*Riskam, CEG, IGOT, ULisboa/FLUP-UP*

^c*Centro de Geologia, Universidade do Porto*

ABSTRACT

The construction of terraces, in the Douro Region, with earthen embankments rises a set of problems related to the hydrological processes. The main objective of this study

¹ Trabalho desenvolvido no âmbito do projeto de I&DT n.º 03495 – CLOUDMAPPER, cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional da União Europeia (FEDER), através do Portugal 2020 (P2020), ao abrigo do programa Operacional Competitividade e Internacionalização (COMPETE 2020)

is the evaluation of the electrical resistivity spatial variation in agriculture terraces at Douro valley (Portugal).

To achieve this objective two variables are analysed, the soil electrical resistivity and the flow direction algorithms. In field survey, 13 electrical resistivity profiles were recorded. The contributing area calculated with the algorithms D^∞ (Deterministic Infinity Flow) and MFD (Multiple Flow Direction), are the base of the internal runoff modelling, both supported by the digital elevation model with a special resolution of $1m^2$.

Was established a correlation between the spatial variation of the soil electrical resistivity represented by standard deviation electrical resistivity of each profile and the average value of contributing area coincident with each profile.

The electrical resistivity standard deviation seems to be moderately good correlated for the D^∞ algorithm at about 1m of depth and has a good correlation at 1,5m to 2m of depth with the MFD algorithm. The results analysis shows a significant positive statistical correlation between electrical resistivity standard deviation and the contributing areas (MFD and D^∞) depending on the soil depths.

Palavras-chave: Tomografia de Resistividade Elétrica; Multiple Flow Direction; D-Infinity; Variação Espacial da Resistividade Elétrica; Terraços Agrícolas.

Keywords: Electrical Resistivity Tomography; Multiple Flow Direction; D-Infinity; Electrical Resistivity Spatial Variation; Agricultural Terraces.

INTRODUÇÃO

A evolução na Região Demarcada do Douro, no que se refere ao tipo de armação de terreno, baseia-se na substituição de terraços suportados em muros de pedra por taludes de terra. Os taludes de terra assumem uma inclinação variável superior a 100% e inferior a 175%. Esta alteração divide a plataforma do terraço em duas secções, uma escavada e outra de aterro com materiais friáveis derivados de rochas metassedimentares, removidos da secção escavada. Esta evolução promove um conjunto de problemas relacionados com a variação da estrutura e circulação de água no solo.

A tomografia de resistividade elétrica (TRE) é um método não-invasivo que permite identificar as propriedades do solo (Samoüelian *et al.*, 2005). Este é um método que tem sido utilizado em terraços agrícolas. Dafonte *et al.* (2013) aplicou a TRE para determinar o teor de água no solo. Rossi *et al.*, (2013) utilizou a TRE para estimar a variabilidade espacial do crescimento vegetativo das plantas, enquanto Brillante *et al.*, (2015) para determinar a água no solo, disponível para a planta. Ainda, García-Tomillo *et al.*, (2015) elaborou um estudo de compactação do solo em terraços agrícolas com recurso a este método. Estes autores concluíram que a tomografia de resistividade elétrica é um método adequado para a determinação de teor de água no solo bem como na relação entre planta e solo e representa um método eficaz no apoio à gestão da agricultura.

Os algoritmos de direção de fluxo, modelados a partir de modelos de elevação digital, têm sido amplamente aplicadas em diversos estudos, destacam-se alguns autores que, recentemente, utilizaram os algoritmos MFD e D^∞ para o estudo de suscetibilidade a movimentos de vertente (Sarkar *et al.*, 2016; Arkgun e Erkan, 2016; Rabonza *et al.*, 2016; Aristizábal *et al.*, 2015; Teixeira *et al.*, 2015; Nery e Vieira, 2015).

O objetivo principal, deste trabalho, consiste em cartografar espacialmente a variação da resistividade elétrica, representada pela correlação estatística entre

o desvio padrão da resistividade elétrica e a média das áreas contributivas modeladas a partir dos algoritmos MFD e D^∞ . A área de estudo compreende uma bacia hidrográfica, com uma área de 61.26 ha, na Quinta de S. Luiz, localizada na região Demarcada do Douro, (Adorigo, Tabuaço).

MATERIAIS E MÉTODOS

Os algoritmos de áreas contributivas, MFD e D^∞ , foram produzidos no software SAGA GIS 2.1.2 com recurso à ferramenta “*Extended Neighbourhood – Catchment Areas (parallel)*”. O modelo digital de elevação apresentou-se como o dado de base para o processamento dos algoritmos. Assim sendo, o MDE foi criado a partir de fotografias aéreas adquiridas num voo a 5000 m de altitude, com uma máquina fotográfica digital. O processo seguiu através do método de estero-correlação automática entre as imagens com resolução de 50 cm de pixel, assegurando uma sobreposição longitudinal de 60% e lateral de 30%. Posteriormente, o MDE foi ortorretificado recorrendo a 6 pontos de controlo, obtidos a partir de um GPS de dupla frequência com modo cinemático em tempo real. A partir do procedimento “*stereomaching*” obteve-se uma nuvem de pontos densa e seguidamente uma *grid* regular DEM com espaçamento de 1 metro. A totalidade do processo fotogramétrico foi realizado no software Agisoft PhotoScan.

Foram realizados 13 perfis de resistividade elétrica, na área de estudo, após episódios chuvosos, na plataforma dos terraços agrícolas em vertentes côncavas e convexas. Cada perfil detinha a dimensão de 60 metros, seguindo o método de Wenner, para 1, 2, 3 e 4, metros de espaçamento entre os eléctrodos, alcançando profundidades do solo de 0.5, 1, 1.5, e 2 metros, respetivamente. O processo foi realizado, com recurso a um resistímetro ABEM SAS 300C. Na generalidade dos perfis, (3, 4, 5, 6, 7, 8 e 12) demonstram valores de resistividade elétrica superiores a 100 $\Omega.m$, à superfície, (0.5 metros de profundidade), estes valores denotam a presença de xisto desagregado, de 24.6% de cascalho, (Fernandes, 2017). Na camada de 1.5 metros de

profundidade os valores de resistividade elétrica variam entre 2 e 80 Ω .m. Esta camada evidencia uma maior porosidade e, revela uma matriz dispersa de solo argiloso (64,5%) e pequenas raízes de vinha o que permite uma maior circulação de água, (Fernandes, 2017). Os perfis 1, 2, 7, 9, 10 e 11 denotam uma maior saturação do solo, destacando-se os perfis 9, 10 e 11 nos quais os valores nessa camada não excedem 10 Ω .m, (Fig.1). A 2 metros de profundidade, onde predomina o substrato rochoso, todos os perfis apresentam valores mais diminutos de resistividade elétrica, excetuando os perfis 3, 4 e 7 (onde os valores variam até 200 Ω .m), os valores de resistividade não excedem 60 Ω .m, (Fig.1).

De forma a processar e representar os dados de resistividade elétrica utilizou-se o software ZondRes2d. Os parâmetros introduzidos, para a obter os modelos de inversão de resistividade elétrica, compreenderam 10 cm de resolução espacial em 20 camadas com fator vertical de 1. Assim sendo, recorreu-se ao algoritmo “Marquardt” com 10 interações e um erro de 0.3 RMS. Para obter a representação dos perfis optou-se pela visualização em blocos (*Block Seccion*).

Para obter a correlação estatística entre as áreas contributivas e a resistividade elétrica, analisámos os perfis de resistividade para as profundidades de 1, 1.5 e 2 metros apenas nas áreas contributivas inferiores a 400 m², excluindo, assim, as principais linhas de escoamento superficial. Por conseguinte, para cada perfil de resistividade foi calculado o desvio padrão, do modelo de inversão, e a média das áreas contributivas. Os dados obtidos foram organizados em gráficos de dispersão projetados com uma linha de tendência potencial e com o coeficiente de determinação múltipla R² (Healey, 2009).

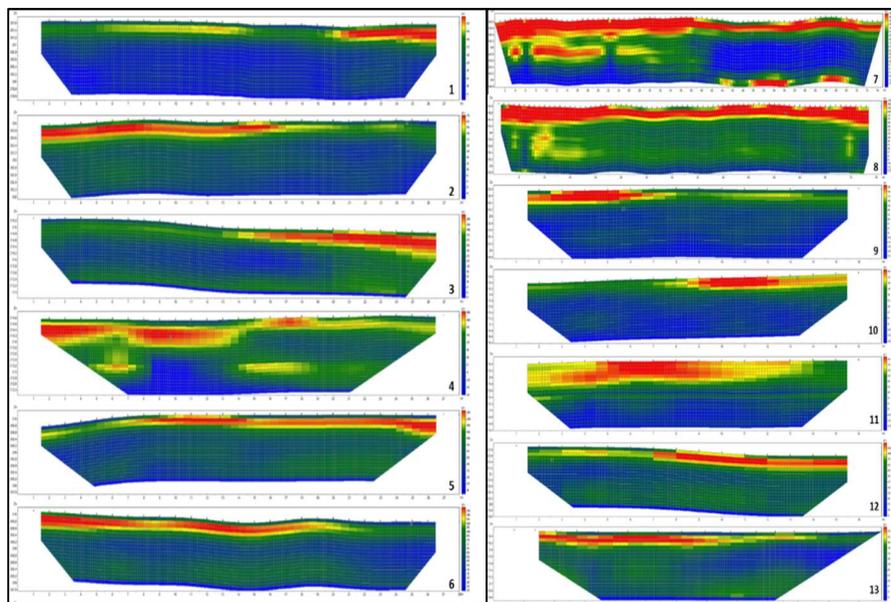


Figura 1 –Perfis de Resistividade Elétrica

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados revelaram uma relação direta entre a tomografia de resistividade elétrica e as áreas contributivas, com características relevantes referentes à variação espacial da resistividade elétrica que representam uma ferramenta de interpretação da humidade do solo.

A modelação dos algoritmos MFD e D^∞ revela que os valores mais elevados concentram-se nas linhas de água principais e sobretudo, na secção inferior da bacia hidrográfica. Contudo, nas secções média e superior da bacia hidrográfica, o MFD modela uma drenagem mais representativa dos cursos de água principais enquanto, o D^∞ modela o fluxo interno das linhas de água de primeira ordem mantendo extensas áreas com valores relativamente baixos, (Fig. 2, 3 e 4).

No que se refere à correlação estatística entre o desvio padrão da resistividade elétrica e a média das áreas contributivas, o D^∞ apresentou um R^2 de 0.6955 para a camada de 1 m de profundidade, porém o MFD relevou valores mais diminutos com um R^2 de 0.6229, para a mesma camada, (Fig. 2). Estes valores explicam-se na medida em que, esta camada do solo apresenta elevada desagregação, devido ao processo de construção dos terraços agrícolas, e por conseguinte, a elevada presença de cascalho explica a fraca variação dos valores de resistividade elétrica. Neste sentido, existem áreas mais extensas com valores baixos de resistividade elétrica e por isso o D^∞ adequa-se. Por outro lado, o MFD tem tendência para generalizar os elementos do terreno simulando um fluxo com maior conectividade (Quinn *et al.*, 1991). Este tipo de conectividade relaciona-se com os cursos de água nas camadas mais profundas do solo, onde o solo é mais heterogéneo. Este facto é demonstrado nos resultados de correlação para as camadas de 1.5 e 2 metros de profundidade em que o MFD revela um R^2 de 0.7269 e 0.7555, respetivamente. Em contraste o D^∞ apresenta valores mais reduzidos com um R^2 de 0.6477 e 0.5314 para 1.5 e 2 metros, respetivamente, (Fig. 3 e 4). Estes resultados demonstram a eficácia do MFD na modelação do fluxo subsuperficial, evidenciando os caminhos preferenciais que influenciam a circulação de água no solo (Tarboton, 1997).

Em suma, o algoritmo D^∞ possui uma correlação direta com a variação da humidade do solo na primeira camada de solo, (1 metro de profundidade). Esta camada suporta uma modificação intensa decorrente do processo de construção de terraços conferindo ao solo uma estrutura desagregada. Por outro lado, o MFD apresenta uma boa correlação com a variação da humidade do solo, nas camadas mais profundas, (1.5 e 2 m), nestas camadas os caminhos preferenciais são as principais características do escoamento interno e, como tal apresentam-se melhor representados pelo MFD.

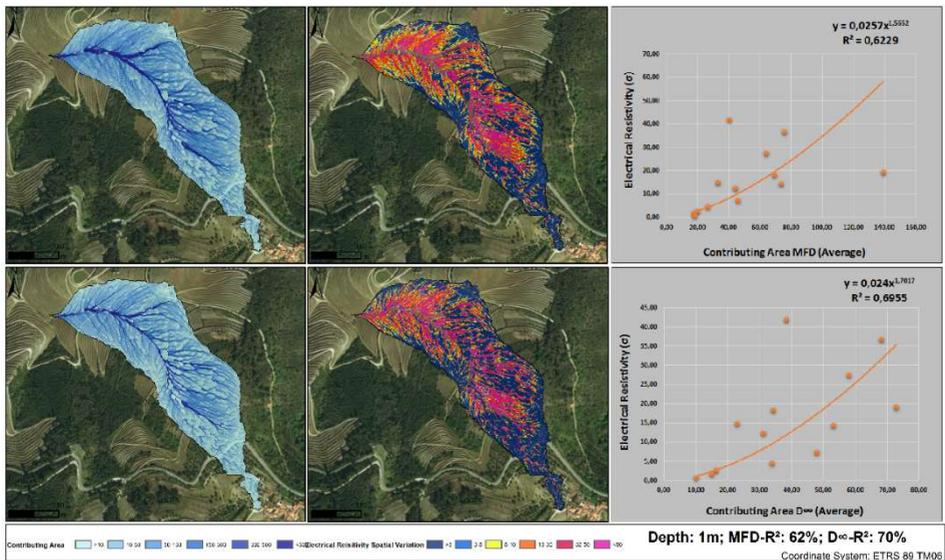


Figura 2 - Variação espacial da resistividade elétrica a 1 metro de profundidade.

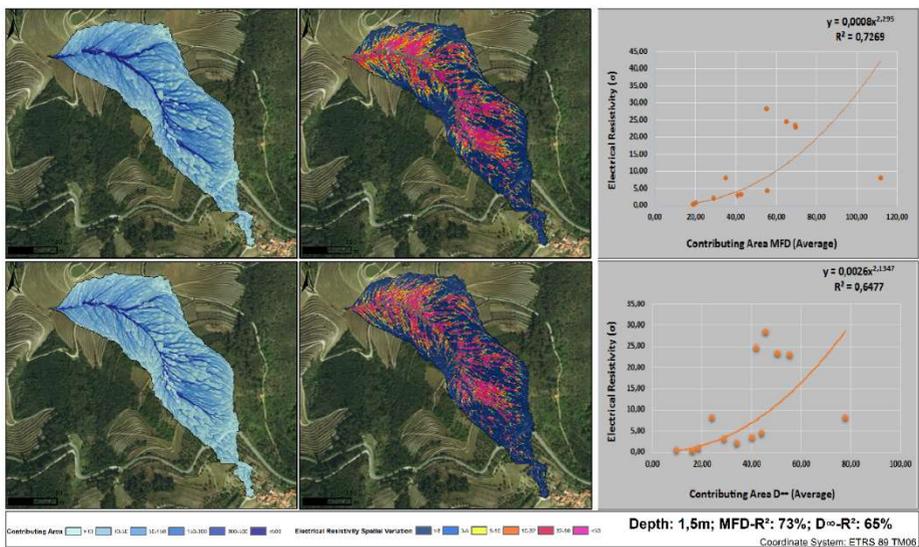


Figura 3 - Variação espacial da resistividade elétrica a 1.5 metros de profundidade

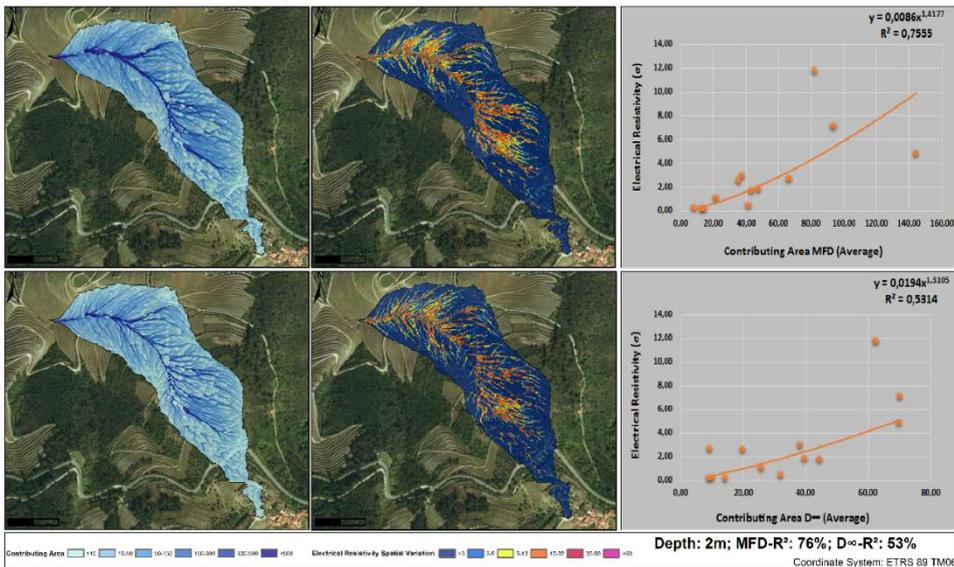


Figura 4 - Variação espacial da resistividade elétrica a 2 metros de profundidade.

CONCLUSÃO

O presente trabalho sugere que, a tomografia de resistividade elétrica quando aplicada ao estudo da estrutura do solo fornece informações precisas para a caracterização dos terraços agrícolas e pode ser utilizada para interpretar a variação da humidade do solo. A informação obtida a partir da variação da resistividade elétrica torna-se essencial para a identificação dos algoritmos de direção do fluxo a utilizar na análise e modelação hidro-geomorfológica.

A partir da metodologia aplicada os resultados demonstram uma correlação positiva entre o desvio padrão da resistividade elétrica e a média das áreas contributivas na área do Alto Douro Vinhateiro. A correlação varia em profundidade e depende do algoritmo de direção de fluxo.

Ressaltamos que, para cada estrutura de solo, é necessário desenvolver uma análise de campo prévia, de forma a identificar o modelo hidrológico mais adequado para representação cartográfica.

De forma a obter melhores resultados, seria interessante obter mais dados de resistividade elétrica combinados com modelos digitais de elevação com maior resolução. Salienta-se que, com a utilização de um modelo digital de elevação mais detalhado torna-se necessário eleger um modelo hidrológico, de áreas contributivas, adequado à representação da topografia de forma mais detalhada.

Salienta-se que, para este estudo, dados adicionais de resistividade elétrica e medições de humidade do solo poderiam fortalecer a metodologia apresentada. Contudo, esta metodologia demonstrou ser adequada, quando aplicada à região do Vale do Douro, porém necessita de confirmação com outras regiões que apresentem características hidrogeomorfológicas distintas.

REFERÊNCIAS

Akgun, A.; Erkan, O. (2016). Landslide susceptibility mapping by geographical information system-based multivariate statistical and deterministic models: in an artificial reservoir area at Northern Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(2), pp. 1-15. DOI: 10.1007/s12517-015-2142-7

Aristizábal, E.; García, E.; Martínez, C. (2015). Susceptibility assessment of shallow landslides triggered by rainfall in tropical basins and mountainous terrains. *Natural Hazards*, 78(1), pp. 621-634. DOI: 10.1007/s11069-015-1736-4

Brillante, L.; Mathieu, O.; Bois, B.; van Leeuwen C.; Lévêque, J. (2015) The use of soil electrical resistivity to monitor plant and soil water relationships in vineyards. *Soil*, 1, pp. 273-286. DOI: 10.5194/soil-1-273-2015

Dafonte, J. D.; Raposo, J. R.; Valcárcel, M.; Fandiño, M.; Martínez E. M.; Rey, B. J.; Cancela, J. J.; (2013). Utilización de la tomografía eléctrica resistiva para estimar el contenido de agua en el suelo en viña bajo diferentes sistemas de riego. pp. 57-62. *Estudios en la Zona No Saturada del Suelo*, Vol. XI - ZNS'13. Universidade de Santiago de Compostela.

García-Tomillo, A.; Figueiredo, T.; Dafonte, J. D.; Almeida, A.; Paz-González, A. (2015) Estudio com tomografía de resistividad eléctrica del efecto del tráfico de maquinaria en un suelo agrícola. Estudios en la Zona No Saturada del Suelo, Vol. XII, pp. 1-5. ISBN: 978-84-16133-91-8

Healey, J. (2009). The Essentials of Statistics: A Tool for Social Research (Second ed.) Belmont: Cengage Learning.

Nery, T. D.; Vieira, B. C. (2015). Susceptibility to shallow landslides in a drainage basin in the Serra do Mar, São Paulo, Brazil, predicted using the SINMAP mathematical model. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 74(2), pp. 369-378. DOI: 0.1007/s10064-014-0622-8

Quinn, P.; Beven, K.; Chevalier, P.; Planchon, O. (1991) The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. Hydrological Processes, 5, pp. 59–79. DOI: 10.1002/hyp.3360050106

Rabonza, M. L.; Felix, R. P.; Lagmay, A. M. F. A.; Eco, R. N. C.; Ortiz, I. J. G.; Aquino, D. T. (2016). Shallow landslide susceptibility mapping using high-resolution topography for areas devastated by super typhoon Haiyan. Landslides, 13(1), pp. 201-210. DOI: 10.1007/s10346-015-0626-x

Rossi, R.; Pollice, A.; Diago, M.; Oliveira, M.; Millan, B.; Bitella, G.; Amato, M.; Tardaguila, J. (2013) Using an automatic resistivity profiler soil sensor on-the-go in precision viticulture. Sensors, 13, pp. 1121-1136. DOI: 10.3390/s130101121

Samouëlian, A.; Cousin I.; Tabbagh A.; Bruand A; Richard G. (2005). Electrical resistivity survey in soil science: a review. Soil Tillage Research. 83, pp. 173-193. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2004.10.004>

Sarkar, S.; Roy, A. K.; Raha, P. (2016). Deterministic approach for susceptibility assessment of shallow debris slide in the Darjeeling Himalayas, India. Catena, 142, pp. 36-46. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.02.009>

Tarboton, D. G. (1997). A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water resources research*, 33(2), pp. 309-319. DOI: 10.1029/96WR03137

Teixeira, M.; Bateira, C.; Marques, F.; Vieira, B. (2015). Physically based shallow translational landslide susceptibility analysis in Tibo catchment, NW of Portugal. *Landslides*, 12(3), pp. 455-468. DOI: 10.1007/s10346-014-0494-9

Processamento de imagens adquiridas por VANTs em software opensource.

UAV image processing in open source software

Ana Teodoro

amteodor@fc.up.pt

Dep. Geosciences, Environment and Land Planning, Faculty of Sciences
University of Porto, Porto, Portugal

ABSTRACT

The utilization of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in different remote sensing applications is nowadays generalized. However, these data can result in several software problems related to the huge amount of space requirements for image processing. The traditional supervised classification algorithms cannot solve most of the supervised classification problems. Therefore, Object-Based Image Analysis (OBIA) has been proven to be superior to pixel-based analysis for this type of data. In this work, it was explored the main potentialities of the OBIA method available in the open source software OTB/Monteverdi, in order to generate a land cover map. Ten regions of interest (ROIs), representing the heterogeneity of one scene was considered. First, all the ROIs were segmented and after classified considering a maximum of 4 classes and after a maximum of 6/7 classes. The processing time is always lower for the smaller regions and higher for bigger regions, as expected. The Support Vector Machine (SVM) algorithm seems to be a very good option to lead to this kind of data. However, the poor spectral resolution of the data (only RGB bands are available) is an important factor that limits the performance of the classifiers applied.

Palavras-chave: Segmentação, Classificação, Ocupação do solo

Keywords: Segmentation, Classification, Land Use

INTRODUCTION

Detecting changes is essential for monitoring and disaster response, as well as the map/3D model updating (Wiechert and Gruber, 2010).

An Unmanned Aerial Vehicles (UAV) could be basically defined as an aircraft without a human pilot aboard. Although multi-rotors (Fig. 1 (a)) are probably the most common UAVs used for most of the applications, when the objective is mapping is important to consider a fixed-wing (Fig. 2 (b)). Single-rotor could also be a great solution for some specific applications. Table 1 summarizes the different types of UAVs available and the pros and cons.

Table 1: Different types of UAVs available (<http://www.auav.com.au/articles/drone-types/>)

	Pros	Cons	Typical Uses
Multi-Rotor	Accessibility Ease of use VTOL and hover flight Good camera control Can operate in a confined area	Short flight times Small payload capacity	Aerial Photography and Video Aerial Inspection
Fixed-Wing	Long endurance Large area coverage Fast flight speed	Launch and recovery needs a lot of space no VTOL/hover Harder to fly, more training needed Expensive	Aerial Mapping, Pipeline and Power line inspection
Single-Rotor	VTOL and hover flight Long endurance (with gas power) Heavier payload capability	More dangerous Harder to fly, more training needed Expensive	Aerial LIDAR laser scanning

VTOL: vertical take-off and landing

UAVs have a lot of advantages in acquiring geographical information: can fly at low altitudes, allowing them to take very high spatial resolution (VHR) images (pixel size of few centimeters) in order to detect small objects/features/events, which has not previously been possible with traditional images (aerial or satellite).

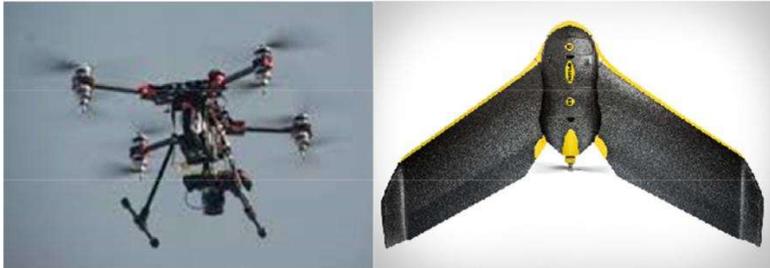


Figure 1: (a) Multi-rotor UAV and (b) Fixed-Wing UAV (SenseFly eBee)

As a small flying vehicle, they are more inexpensive and more flexible than traditional aerial platforms (even more than satellite sensors), and the autonomous capability enables the operator to locate the target area more easily and accurately.

UAVs can supply images even on cloudy days, and the time needed to prepare and initiate the flight is reduced, which allows greater flexibility in scheduling the imagery acquisition. Other advantages of UAVs are their low cost and their great flexibility of configuration, when compared with piloted aircraft, which allows the utilization and testing of low-cost sensors such as conventional digital cameras (Torres-Sánchez, 2014). Due to low payload capabilities of small-and medium-size UAVs, imagery is often acquired with inexpensive off-the-shelf digital cameras.

Most of the image classification algorithms are based on the statistical analysis pixel by pixel. These methods usually present good performance in low spatial and medium spatial resolution images. However, the recent developing of UAV sensors and therefore the advent of very high resolution images (pixel size of a few centimeters) has introduced a new set of possibilities for land-cover. Several studies conclude that Object-Based Images Analysis (OBIA) of small

automated extracted features or ones represented in the images by a few grouped pixels presents better results when compared with the traditional pixel-based classification, considering UAV data acquired (Laliberte and Rango, 2009; Pena et al., 2013).

The main objective of this work was to explore the potentialities of the OBIA method available in OTB/Monteverdi open source software version 1.23.0, in order to generate a land-cover map, using UAV data (Teodoro and Araujo, 2016).

METHODOLOGY

This work describes the results obtained considered the OBIA approach in order to generate a land-cover map, using UAV data. Ten Regions Of Interest (ROIs), representing the heterogeneity of a scene (Coimbra city, Portugal) was considered. The selection of 10 ROIs were also considered in order to solve the problems that come from the image size. These regions were chosen based on areas that could be more problematic and be representative of the scene complexity. The methodology proposed in the present work comprises several steps, as showed in Fig. 2 (a).

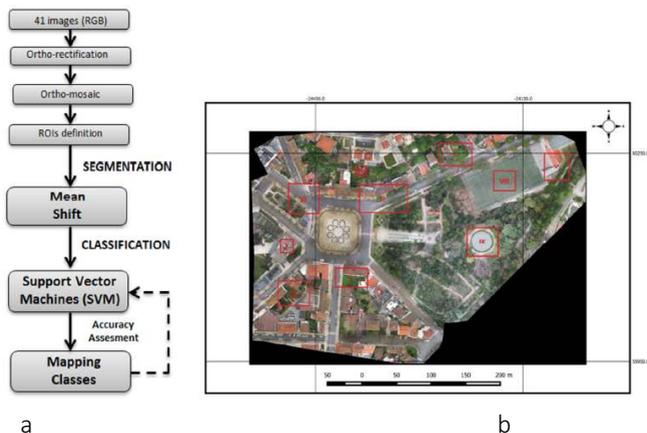


Figure 2: (a) Workflow of the methodology employed; (b) Study area (ortho-mosaic) with the 10 ROIs marked

The UAV system used in this work to collect the images was a Swinglet from Sensefly®. The swinglet CAM has a flight time of up to 30 minutes, enabling it to cover up to 6 km² in a single flight. Its 12MP RGB camera can shoot aerial imagery at a resolution of down to 4 cm/pixel. These images can then be transformed into ortho-mosaics and 3D elevation models with relative accuracy of down to 3-5 cm. A sequence of 41 overlapped images from Coimbra city was collected in January of 2012. The imagery had a 60% side-lap and a 80% forward-lap. The image ortho-rectification (RMS 0.0076 m in planimetric and 0.742 m in altimetry) and ortho-mosaic computation was performed using Agisoft PhotoScan Professional Edition.

OBIA mainly involves segmentation and classification steps, respectively. Segmentation is the process by which an image is partitioned into a set of spatially contiguous image objects composed of a group of pixels with homogeneity or semantic significance (e.g., Pal and Pal, 1993; Dey et al., 2010). In this work, the Mean Shift Segmentation (MSS) algorithm was used in the segmentation stage and the SVM in the classification procedure. More details about MSS and SVM algorithms could be founded in Huang and Zhang (2008) and Volpi et al., (2013), respectively. This procedure was implemented in OTB/Monteverdi version 1.23.0, which is an open source software.

RESULTS

First, all the ROIs were segmented and after classified, considering a maximum of 4 classes. A random set of objects were generated and classification results are compared with the true information classes in the reference image. Despite the high values of OA obtained for most of the ROIs, considering a maximum of 4 classes, a simple visual analysis allowed to identify several errors, i.e., various objects/elements have been incorrectly classified. In order to improve the classification, more classes (depending of the ROI selected) were defined (Table 2).

Table 2. Classes identified for each ROI in OTB/Monteverdi software considering a maximum of 4 and after a maximum of 7 classes

ROI	Classes (maximum of 4)	Classes (maximum of 7)
I	1-Vegetation 2-Habitation 3-Asphalt 4-Pavement	1-Vegetation 2-Habitation 3-Asphalt 4-Pavement 5-Paint 6-Other
II	1-Vegetation 2-Habitation 3-Asphalt 4-Pavement	1-Vegetation 2-Habitation 3-Asphalt 4-Pavement 5-Paint 6-Skylights 7-Other
III	1-Vegetation 2-Habitation 3-Asphalt 4-Pavement	1-Vegetation 2-Habitation 3-Asphalt 4-Pavement 5-Paint 6-Skylights 7-Other
IV	1-Vegetation 2-Habitation 3-Asphalt 4-Pavement	1-Vegetation 2-Habitation 3-Asphalt 4-Pavement 5-Paint 6-Other
V	1-Vegetation 2-Habitation 3-Outdoor benches 4-Bare soil	1-Vegetation 2-Habitation 3-Outdoor benches 4-Bare soil 5-Light rooftop 6-Red pavement
VI	1-Vegetation 2-Habitation 3-Asphalt 4-Pavement	1-Vegetation 2-Habitation 3-Asphalt 4-Pavement 5-Paint 6-Other
VII	1-Vegetation 2-Habitation 3-Water 4-Wall	1-Vegetation 2-Habitation 3-Water 4-Wall
VIII	1- Sports flooring 2-White lines 3-Yellow lines	1- Sports flooring 2-White lines 3-Yellow lines
IX	1-Vegetation 2-Water 3-Bare soil	1-Vegetation 2-Water 3-Bare soil
X	1-Rooftop 2-White pipe	1-Rooftop 2-White pipe

In Fig. 3 is presented the classification results for ROIs VII to ROI X considering a maximum of 4 classes

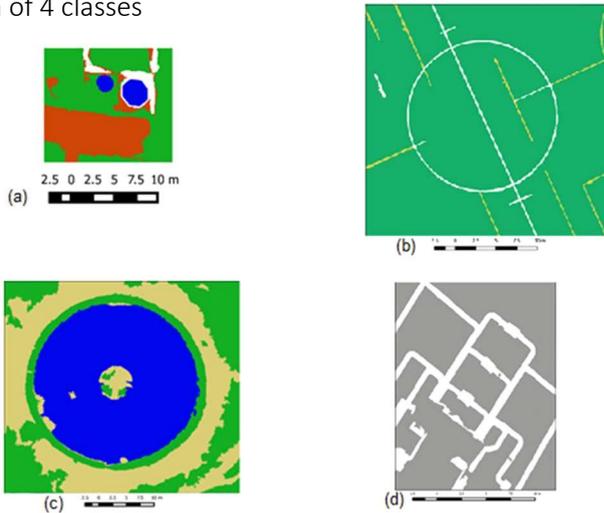


Fig. 3: SVM classification resulted from a MSS segmentation for ROI VII to ROI X, considering a maximum of 4 classes: (a) ROI VII; (b) ROI VIII; (c) ROI IX; (d) ROI X (Teodoro and Araujo, 2016).

DISCUSSION AND CONCLUSION

For each ROI, 10 training objects from each class were chosen (when possible). The Overall Accuracy (OA) obtained, considering the classifications performed, are presented in Table 3. The procedure time is identical considering a maximum of 7 classes or a maximum of 4 classes. The processing time is always lower for the smaller regions (e.g. ROI VII) and higher for bigger regions (e.g. ROI III), as expected.

Table 3. OA obtained for each ROI defined considering the OBIA strategy implemented in OTB/Monteverdi software (for a maximum of 4 and 6/7 classes).

ROI	4 classes	6/7 classes
I	90.9%	80.4%
II	90.0%	80.0%
III	93.8%	79.8%
IV	92.7%	84.9%
V	100.0%	91.5%
VI	87.8%	81.1%
VII	96.5%	-
VIII	100.0%	-
IX	95.2%	-
X	100.0%	-

Concluding, the size of UAV scenes is a real problem. In order to consider the amount of data available and produce urban land cover maps, it was necessary select different ROIs with small size and analyzes these regions separately. SVM classifies all of the objects obtained from the segmentation. SVM are less sensitive to overtraining as they are designed specifically to avoid over specifying class decision boundaries. The size of UAV image was also a problem in the accuracy assessment in the OTB/Monteverdi software. The poor spectral resolution of the data (only RGB bands are available) is an important factor that limits the performance of the classifier applied.

ACKNOWLEDGMENTS

The author would like to thank to Sinfic SA (João Marnoto) for ceding the UAV data and to Ricardo Araújo for processing the data.

REFERENCES

Dey,V.; Zhang, Y.; Zhong, M. (2010). A review on image segmentation techniques with remote sensing perspective.Wagner, W., Szekely, B. (Eds.), ISPRS TC VII Symposium –100 Years ISPRS, XXXVIII (7A), Vienna, Austria, IAPRS, 31-42.

Huang, X.; Zhang, L. (2008). An adaptive mean-shift analysis approach for object extraction and classification from urban hyperspectral imagery. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 46(12), 4173-4185.

Laliberte, A.S.; Rango, A. (2009). Texture and Scale in Object-Based Analysis of Subdecimeter Resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery. *IEEE Transactions on Geoscience And Remote Sensing*, 47(3), 761-770.

Lee, C.; Choi, E. (2000). Bayes error evaluation of the Gaussian ML classifier. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 38(3), 1471-1475.

Pal, R.; Pal, K. (1993). A review on image segmentation techniques. *Pattern Recognition* 26(9), 1277-1294.

Peña, J.M.; Torres-Sánchez, J.; Castro, A.I.; Kelly, M.; López-Granados, F. (2013). Weed Mapping in Early-Season Maize Fields Using Object-Based Analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Images. *Plosone*, 8(10), e77151.

Teodoro, A.C.; Araújo, R.A. (2016). Comparison of performance of OBIA techniques available in Open Source software (Spring and OTB/Monteverdi) considering very high spatial resolution data. *J. Appl. Remote Sens.* 10(1), 016011.

Torres-Sánchez, J.; Peña, J.M.; de Castro, A.I.; López-Granados, F. (2014). Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. *Computers and Electronics in Agriculture* 103, 104–113.

Volpi, M.; Tuia, D.; Bovolo, F.; Kanevski, M.; Bruzzone, L. (2013). Supervised change detection in VHR images using contextual information and support vector machines. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 20, 77-85.

Wiechert, A.; Gruber, M. (2010). DSM and true ortho generation with the UltraCam-L – a case study. *Proceedings of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Annual Conference, San Diego, CA*, 2-30.

Nuvens de pontos, classificação de imagens e MDT: Propostas metodológicas¹.

António Costa^a
afonso.costa@gmail.com

Carlos Bateira^b
carlosbateira@gmail.com

Joana Fernandes^a
joanafcfernandes@gmail.com

^a*Faculdade de Letras da Universidade do Porto*

^b*Riskam, CEG, IGOT, ULisboa/FLUP-UP*

Resumo

A generalização no acesso a Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) equipados com câmaras digitais de alta resolução, foi acompanhada por uma evolução de software de tratamento de imagens facilitou a aquisição de informação e consequente produção de modelos digitais de elevação. Contudo, este tipo de técnica, ao contrário da tecnologia LiDAR, não permite, de forma automática a classificação, de acordo com o uso do solo, da nuvem de pontos cotados gerados. Como resultado, os modelos digitais de elevação, representam toda a informação altimétrica relativa aos objetos que se encontram entre o sensor aerotransportado (camara) e o solo. Por vezes é necessário transformar modelos digitais de elevação em modelos digitais de terreno, neste sentido, utilizando uma classificação supervisionada, testamos vários classificadores no intuito de isolar os “Ground points” dos restantes pontos. Concluímos que o classificador de máxima

¹ Trabalho desenvolvido no âmbito do projeto de I&DT n.º 03495 – CLOUDMAPPER, cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional da União Europeia (FEDER), através do Portugal 2020 (P2020), ao abrigo do programa Operacional Competitividade e Internacionalização (COMPETE 2020)

verossimilhança ICM apresentou os melhores resultados, tornando possível a transformar um Modelo Digital de Elevação num Modelo Digital de Terreno.

Palavras-Chave: Modelo Digital de Elevação, Modelo Digital de Terreno, VANT, Classificação de Imagens.

Introdução

A utilização de um VANT dotado de um GPS e de uma máquina fotográfica acoplada facilitou o acesso a meios de aquisição de informação geográfica de baixo custo. Neste sentido no dia 8 de agosto de 2016 foi realizado um voo na Quinta das Carvalhas (distrito de Viseu, concelho de Tabuaço), para a recolha de imagens². Com este voo resultou um ortofoto com 10 cm de resolução espacial e uma nuvem de pontos respeitante aos dados altimétricos. Esta nuvem de pontos engloba tudo o que se encontra entre o sensor (neste caso uma máquina fotográfica) e o solo, ou seja um Modelo Digital de Elevação. Como se trata de uma área dedicada á viticultura em terraços agrícolas, grande parte da vegetação existente encontra-se organizada em fiadas junto de taludes ou nos limites das plataformas, esta forma de cultivo fica representada topograficamente. Outro tipo de tecnologias, como a LiDAR³, permitem o registo de informação e conseqüente classificação de forma automatizada, por diferentes níveis (Lillesand, Kiefer, & Chipman, 2008).

Como se pode observar pela Figura 1, onde temos uma representação tridimensional do Modelo Digital de Elevação⁴, árvores isoladas alteram a

² Foram recolhidas com uma camara RGB e NIR, com 12.1 MP, distância focal de 24-120 mm, abertura do diafragma de 2.0-5.9, ISO de 80-12800 e 1-1/2000 de velocidade do obturador. Todo o trabalho de aquisição de planeamento do voo, aquisição de imagens e geração de nuvem de pontos foi realizado pelos recursos técnicos e humanos da Spin.Works SA.

³ Light Detection And Ranging – De uma forma muito simplista podemos dizer que se trata de sistema ativo de deteção remota que consiste em efetuar medições através da emissão de lasers e no cálculo do seu tempo de retorno.

⁴ Obtido através da nuvem de pontos gerada pelo voo já referido anteriormente.

topografia original do terreno, mas este não é o único problema, a existência de videiras junto ao início do talude (sistema de armação das vinhas) faz com que este seja totalmente deformado (ver Figura 2).

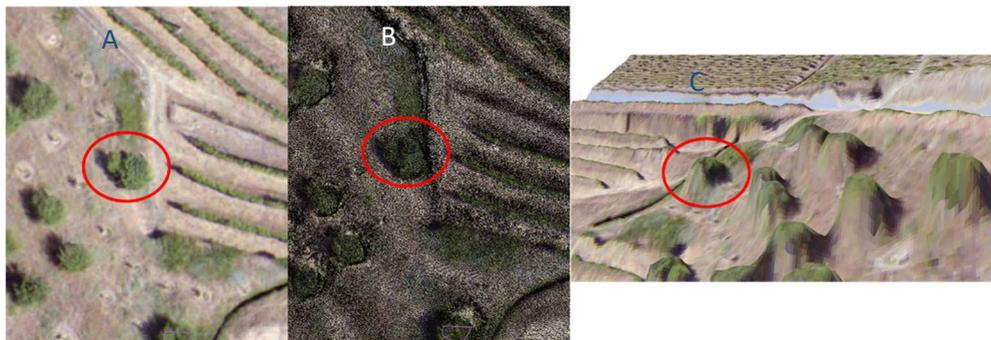


Figura 1 – Deformações provocadas por árvores isoladas (A – Orto, B – Nuvem de Pontos, C- representação tridimensional)

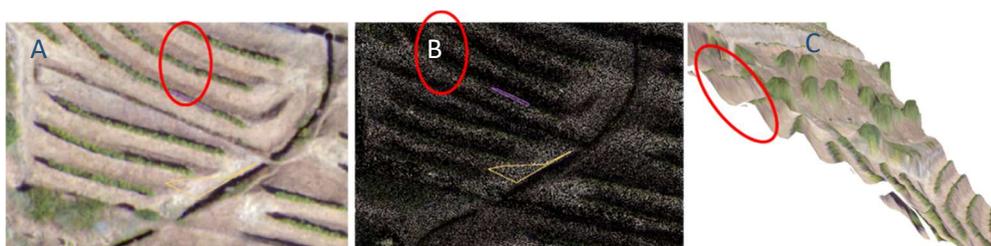


Figura 2 - Deformações provocadas pelo sistema de armação (A – Orto, B – Nuvem de Pontos, C- representação tridimensional)

Metodologia

De forma a transformar o Modelo Digital de Elevação em Modelo Digital de Terreno elaborou-se uma classificação da nuvem de pontos de acordo com a ocupação do solo. Para tal, recorreu-se a técnicas de deteção remota e processamento digital de imagens. Para este caso optou-se por realizar uma classificação supervisionada semi-automática⁵. As bandas utilizadas para esta classificação foram a vermelha, verde, azul e a infravermelho.

Foram criadas 6 classes representativas dos principais elementos existentes no terreno. Cada classe foi avo de um treinamento de acordo com a Tabela 1.

Uso do Solo	Pixéis	Área (m ²)
Vegetação	11341	113,41
Vias (asfaltadas)	2351	23,51
Solo	1072	10,72
Estruturas de Pedra	580	5,80
Edificado (cobertura asfáltica)	1108	11,08
Edificado (telha cerâmica)	1188	11,88

Tabela 1 – Classes criadas e respetiva área utilizada por na amostragem.

Para o processo de classificação optou-se por testar os seguintes classificadores("Spring - Classificação de Imagens," 2006):

- Máxima verossemelhança: é considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos.
- Máxima Verossimilhança - Interated Conditional Modes (ICM): classificação é pelo algoritmo de máxima verossimilhança atribuindo classes aos "pixels", considerando os valores de níveis digitais. Na fase seguinte, leva-se em conta a informação contextual da imagem, ou seja a classe atribuída depende tanto do valor observado nesse "pixel", quanto das classes atribuídas aos seus vizinhos.

⁵ Para a classificação semi-automática utilizou-se o software Spring, versão 5.4.3

- Distância Euclidiana: Método de classificação supervisionada que utiliza esta distância para associar um "pixel" a uma determinada classe.

Conclusão

Pelas tabelas 2 e 3 podemos concluir que a classificação de Máxima Verossimilhança ICM é a que, apesar de possuir percentagens e áreas classificadas muito semelhantes, possui o desempenho médio mais elevado, apesar de estatisticamente, todos os modelos possuírem valores significativamente aceitáveis.

	Máxima Verossimilhança	Máxima Verossimilhança ICM	Distância Euclidiana
Sem classificação atribuída	16,64	16,54	0,00
Vegetação	47,95	48,30	50,25
Vias/Asfaltadas	1,69	1,68	7,16
Solo	15,87	16,05	8,63
Estruturas de Pedra	14,00	13,90	9,92
Edificado 1	0,96	0,93	10,28
Edificado 2	2,89	2,59	13,75

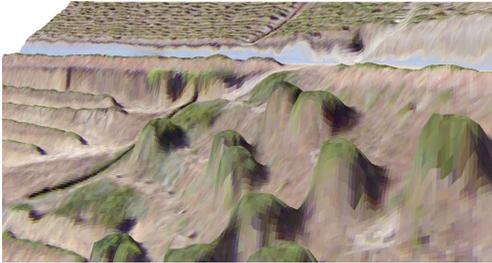
Tabela 2 – Percentagem de solo ocupado por cada classe e por classificador.

Classificador	Desempenho médio	Abstenção média	Confusão média
Maxver 99%	94,54	3,48	1,18
Maxver ICM 99%	98,10	0,00	1,90
Dist. Eucl.	90,13%	0,00	10,7%

Tabela 3- Desempenho médio por Classificador.

Com esta classificação foi possível selecionar os pontos cotados pertencentes unicamente ao solo (ground points) e gerar um modelo digital de terreno representativo da realidade topográfica (ver figura 3).

Antes da Classificação



Depois da Classificação



Figura 3 – À esquerda temos o Modelo Digital de Elevação, à direita temos o modelo digital de terreno

Bibliografia:

Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2008). *Remote Sensing and Image Interpretation*: Wiley.

Spring - Classificação de Imagens. (2006). Retrieved from <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>

Monitorização do processo vitícola na região do Alto-Douro Vinhateiro com recurso a UAVs

Monitoring of the viticulture process using UAVs at Alto Douro Vinhateiro Region

José Miguel Campos^a

Bruno Oliveira^a

João Satiro^a

Francisco Câmara^a

João Oliveira^a

João Araújo^a

Carlos Posse^a

^a *Spin.Works SA, info@spinworks.pt*

ABSTRACT

Este resumo descreve a utilização de tecnologias UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) aplicadas à gestão e optimização dos processos vitícolas com enfoque na Região do Alto Douro Vinhateiro (ADV). Uma das principais vantagens deste tipo de sistemas é a capacidade de recolha de imagens de alta resolução em diferentes bandas do espectro electromagnético. As imagens são posteriormente combinadas através de um processo fotogramétrico do qual resultam diferentes *outputs* que representam a superfície com elevado rigor gráfico e geométrico. Nesta perspectiva, o objectivo do estudo foi a concepção e implementação de um *workflow* para o processamento destas imagens e o fornecimento de *data products* com duas finalidades: obtenção de mapas NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) ao nível da planta e de modelos digitais de terreno (DTM) para computação de modelos de instabilidade de vertentes. Por

definição, o índice NDVI infere sobre o vigor vegetativo das plantas. A particularização deste índice por indivíduo – baseada em técnicas de segmentação aplicadas aos *outputs* – consiste na separação entre a planta e o solo circundante. Este passo acompanha os princípios da agricultura de precisão e abre caminho a estudos alargados de monitorização e produtividade, possibilitando uma actuação mais atempada e objetiva ao longo dos estados fenológicos da vinha. Num processo paralelo, os modelos de superfície são processados e filtrados para se obter o DTM, provendo os estudos sobre instabilidade de vertentes com modelos altimétricos de elevada resolução, em zonas de relevo muito variado e com terraceamento como as que caracterizam a Região do ADV.

Palavras-chave: Viticultura de precisão; segmentação; ndvi; modelo digital de terreno; uav

Keywords: Precision viticulture; segmentation; ndvi; digital terrain model; uav

INTRODUÇÃO

A detecção remota tem vindo a ser usada no sector agrícola durante as últimas décadas e tornou-se numa ferramenta fundamental para a monitorização e gestão de culturas. A partir de imagens capturadas em diferentes bandas do espectro electromagnético é possível calcular um conjunto de índices de vegetação que nos permitem avaliar a densidade relativa e o vigor vegetativo das plantas (USGS). Essencialmente baseada em imagens de satélite, a detecção remota para fins agrícolas ganhou relevância nos últimos anos com a captação de imagens de alta resolução, a preços competitivos, através de sistemas UAV. Outro factor que potencia a utilização destes sistemas é a facilidade de deployment e os consequentes ganhos na periodicidade da operação. Estas vantagens são tanto mais relevantes quando direccionados para culturas muito dinâmicas e de valor acrescentado como é o caso da viticultura.

O NDVI é um dos índices de vegetação mais comuns e varia num intervalo de valores compreendido entre -1 e 1, onde os valores inferiores a 0.1 representam zonas rochosas, areia ou neve, valores entre 0.2 e 0.3 sugerem a existência de cobertura vegetal rasteira – arbustos ou pastagens – e valores entre 0.6 e 0.8 indicam zonas de vegetação densa ou culturas no pico de crescimento (John Weier, David Herring, 2000). Vegetação vigorosa devolve altas reflectâncias no infravermelho próximo (NIR) e baixas reflectâncias no vermelho, e é neste pressuposto que o NDVI é calculado, com base na seguinte fórmula:

$$NDVI = \frac{\{NIR-Red\}}{\{NIR+Red\}} \quad (1)$$

Os mapas NDVI calculados a partir de imagens NIR de alta resolução são extremamente ricos em comparação com os obtidos através de imagens de satélite. No entanto, ao mesmo tempo que a melhor resolução nos permite uma análise mais concisa do índice, também é realçada a presença de outros elementos como os caminhos de terra, vegetação rasteira, arvoredos e outros. Quando localizados na proximidade destes elementos, os valores NDVI da vinha acabam por ser facilmente “contaminados”, motivo pelo qual é necessário recorrer à circunscrição da vinha através de um processo de segmentação.

Outra vantagem na utilização de fotografia aérea de alta resolução obtida a partir de UAVs é o facto de podermos gerar modelos digitais de superfície (DSM) – imagens raster georreferenciadas e codificadas com o índice de elevação – com um nível de detalhe extremamente elevado em comparação com modelos obtidos por métodos tradicionais. Na Região do ADV, considerando a topografia do terreno muito variável e de pormenor, esta capacidade tem especial importância no estudo de instabilidade de vertentes. Técnicas de segmentação semelhantes às utilizadas para a vinha foram aplicadas aos modelos de superfície com vista à obtenção do DTM, modelo

conceptualmente igual ao DSM mas onde a vegetação, construções e outros objectos naturais ou artificiais são filtrados e removidos, ficando apenas a modelação à face do terreno (Fig. 1). Estes modelos são utilizados para a geração de subprodutos de caracterização de bacias hidrográficas que servem de input no cálculo dos modelos de instabilidade (SHALSTAB, Montgomery & Dietrich, 1994).



Fig. 1 - DSM e DTM

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados referidos neste resumo são provenientes do projecto de investigação e desenvolvimento tecnológico – CLOUDMAPPER, durante o qual foram capturadas imagens em cor natural RGB e NIR com recurso a um sistema UAV desenvolvido pela Spin.Works, composto por um *drone* de asa fixa S20 e uma estação de solo. Os voos foram realizados nas imediações da localidade do Pinhão, com incidência na Quinta do Bomfim (Symington Family Estates) e na Quinta das Carvalhas (Real Companhia Velha). Foram usadas câmaras RGB convencionais com um sensor de 12.1 MP de resolução a uma distância focal de 24mm (equivalência a 35mm). Uma destas câmaras foi modificada de modo a bloquear o canal vermelho e permitir a medição do NIR.

1. Planeamento e execução da missão

O planeamento de missão engloba duas componentes: a primeira depende da especificidade dos dados a recolher e dos *outputs* a produzir; a segunda refere-se ao enquadramento e execução da missão. Primeiro é necessário delimitar as áreas a sobrevoar e definir a resolução espacial pretendida (*Ground Sampling*

Distance, i.e., GSD), sendo que a resolução está directamente relacionada com o perfil de altitudes voadas. Neste estudo os voos foram planeados para uma altitude programada de 100m AGL (*above ground level*) que corresponde a uma resolução <5cm/pixel. O plano de voo (Fig. 2) é executado em modo *terrain following* o que significa que o *drone* acompanha a topografia do terreno procurando-se que a resolução das imagens recolhidas seja mantida ao longo do voo tanto quanto possível. O plano de voo prevê ainda que as imagens tenham uma sobreposição lateral mínima de 60% e longitudinal de 80%.

A execução da missão envolve a escolha do local base para a operação e a avaliação dos condicionalismos físicos e legais que possam afectar a área onde decorrerá o voo (Fig. 2). Todos estes procedimentos são tipicamente programados em antecedência, mas podem ser feitos *in loco*.

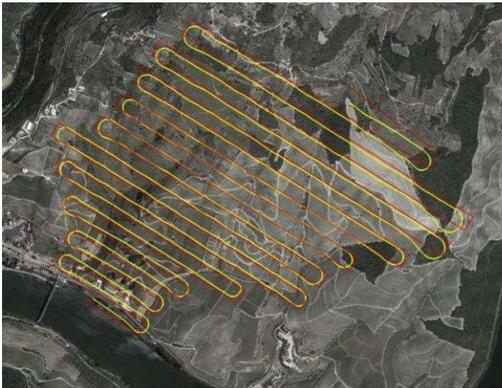


Fig. 2 - Plano de voo e perfil de voo executado Fig. 3 - Drone S20 no local de operação

2. Processamento dos dados e *Outputs*

Ao mesmo tempo que são capturadas as imagens, são também registadas a sua posição e orientação através do sistema de navegação a bordo do *drone*. Com esta informação, as imagens são submetidas a um processamento fotogramétrico baseado na técnica de *Structure-from-motion* (SFM), durante o qual é feita a identificação de *features* comuns entre imagens sobrepostas e é

gerada uma nuvem de pontos com coordenadas XYZ, que representam com elevado grau de detalhe a modelação da superfície sobrevoada. A partir desta nuvem de pontos é interpolado o DSM (Fig. 4). Com base na informação do DSM, as imagens são ortorectificadas, i.e., são corrigidas das distorções provocadas pelos efeitos de perspectiva e pelo relevo, e são sobrepostas sequencialmente para formar um ortomosaico completo da área sobrevoada. Este processo é efectuado tanto para as imagens RGB (Fig. 5) como para as imagens NIR (Fig. 6).



Fig. 4 – DSM



Fig. 5 - Ortomosaico RGB



Fig. 6 - Ortomosaico NIR

3. Data products

Os processos de segmentação utilizados neste caso baseiam-se essencialmente na análise da frequência e na aplicação de filtros morfológicos sobre o DSM para detecção de variações bruscas na superfície. Nalguns casos os produtos daqui obtidos foram aperfeiçoados com base em limiares de cor, com informação das imagens RGB e NIR. Conhecida a variabilidade topográfica inerente à cultura da vinha na Região do ADV este procedimento foi aplicado ao nível da parcela de vinha, para permitir iterações

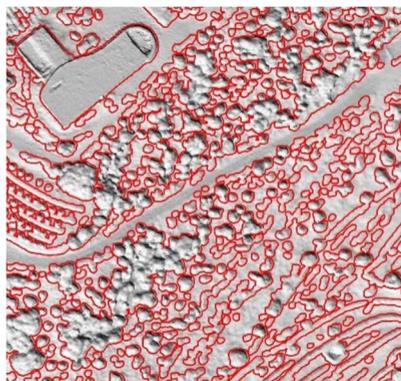


Fig. 7 - Segmentação sobre o DSM

mais rápidas e reduzir a probabilidade de falsos positivos.

A Spin.Works desenvolveu uma aplicação de software que integra estes processos, com a possibilidade de ajustar os parâmetros de cada filtro, dependendo do tipo e da dimensão da vegetação que se pretende segmentar. Deste procedimento obtém-se uma máscara que delimita os bardos de vinha, permitindo que estes sejam isolados no mapa NDVI (Fig. 8) ou noutros *data products*. A partir desta máscara derivaram-se as linhas de orientação de cada bardo e individualizaram-se as plantas. A particularização do NDVI por indivíduo foi depois calculada considerando apenas os valores dos píxeis pertencentes a cada planta (Fig. 9).

Aplicando as mesmas metodologias, tentámos padronizar os parâmetros da segmentação de acordo com os elementos a filtrar (vegetação, arvoredo, construções, etc.) e foram geradas máscaras para áreas maiores (Fig. 7), que foram conjugadas no intuito de se obter um DTM completo para uma bacia.

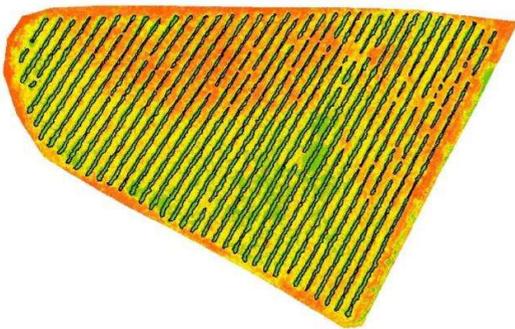


Fig. 8 – Vinha isolada sobre o NDVI



Fig. 9 – NDVI por planta

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em áreas onde os elementos físicos à superfície são idênticos, a geração das máscaras devolveu bons resultados. Com algumas iterações é possível isolar os bardos de vinha; em parcelas com características físicas comuns, usando os mesmos parâmetros de segmentação, obtêm-se resultados da mesma qualidade.

Com esta informação discriminada ao nível da planta foi criado um *plugin* de zonamento que permite ao utilizador agrupar as plantas por grupos de NDVI, tornando a interpretação do índice mais esclarecedora e funcional (Fig. 10). Além disso, com os bardos de vinha identificados na máscara foi possível quantificar os espaços vazios nos respectivos alinhamentos, e gerar um mapa de falhas com a estimativa de pés de vinha que podem ser reintroduzidos na parcela (Fig. 11).

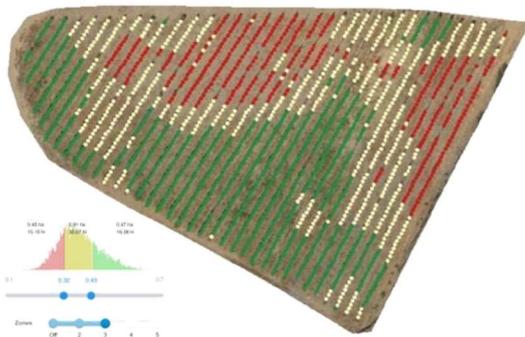


Fig. 10 – Plugin e NDVI por grupos



Fig. 11 – Mapa de falhas

Quando existe grande variação dos elementos à superfície (na forma, dimensão e altura) o processo de segmentação revela maior susceptibilidade para falsos positivos, uma vez que os parâmetros de filtragem têm que ser mais folgados. Como consequência, algumas porções do terreno que importa manter acabam por ser filtradas e removidas. Esta situação implica que o modelo seja verificado pontualmente, dificultando a geração dos

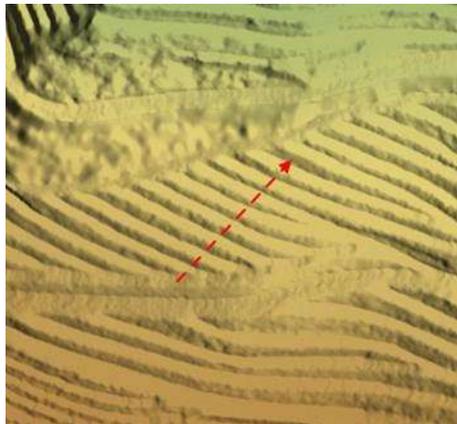


Fig. 12 – DTM

DTM em área mais alargadas de uma forma sistematizada e automática. Uma das situações onde se constatou este tipo de comportamento foi nas zonas de vinha plantada no limite dos taludes: os filtros de segmentação tendiam a remover parte do chão junto ao limite do talude, arredondando a sua forma, perdendo-se assim o efeito de terraceamento.

O exemplo (Fig. 12) ilustra a aplicação dos filtros a uma bacia inteira com supervisão parcial do utilizador. A área em causa respeita a uma zona de terraceamento, onde os bardos estão plantados no limite do terraço. Os efeitos da filtragem são observáveis no perfil traçado à transversal dos terraços (Fig. 13), verificando-se a remoção dos bardos de vinha. Apesar das dificuldades identificadas e da necessidade de alguma interação por parte do utilizador, o procedimento demonstrou potencial e os resultados finais são bastante satisfatórios.

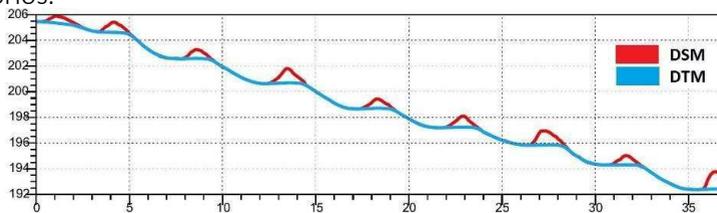


Fig. 13 – Traçado do perfil sobre o DSM e DTM

CONCLUSÃO

O procedimento de segmentação da vinha baseado nas técnicas descritas e aplicado ao nível da parcela revelou-se eficiente, tendo sido possível isolar os bardos e remover os efeitos do chão. Estas técnicas podem ser automatizadas e escaladas à dimensão de herdades ou quintas inteiras, com pequenos *inputs* que definam os tipos de vegetação que se pretende filtrar. A particularização das plantas tornou a interpretação do índice NDVI mais intuitiva e permite no futuro o desenvolvimento de novos métodos de gestão e operacionalização dos processos vitivinícolas.

A filtragem de elementos muito diversificados em áreas grandes e de relevo acidentado (p.e., para obtenção do DTM das bacias) requer a conjugação de filtros adicionais e de alguma supervisão manual. Concluiu-se também que a segmentação aplicada sobre o DSM para a obtenção do DTM pode revelar-se desadequada nalguns cenários. Sendo o DSM um produto interpolado *per si*, há situações em que o



Fig. 14 – Efeitos do DSM

chão é descartado em favor de elementos que lhe estão sobrepostos, p.e., pelas copas das árvores no caso da vegetação (Fig. 14). A partir daqui a reconstituição do chão no DTM acaba por ser descaracterizada. No caso das vinhas plantadas em terraceamento, o facto de partes do chão poderem estar a ser removidas inadvertidamente, contribui para desvirtuar o formato clivoso dos taludes aquando da obtenção do DTM. Por outro lado, em terrenos com relevo suave e detalhe mais reduzido, o facto de o chão ser parcialmente removido não tem implicações graves na obtenção do DTM, uma vez que a reconstituição do chão permite manter a coerência do terreno existente. Com este conhecimento, aplicaram-se técnicas de segmentação directamente à nuvem de pontos – processo que permitiu classificar a nuvem por camadas – e da qual foi gerado

um DTM interpolado exclusivamente a partir de pontos do chão. Esta abordagem revelou-se muito promissora e produziu melhores resultados em comparação com os que se obtiveram com a segmentação do DSM.

A disseminação dos *outputs* e *data products* é feita através de uma plataforma web designada por MAPP – www.mapp.it. Esta plataforma integra um conjunto de ferramentas de visualização e de análise que oferece ao utilizador a possibilidade de manipular dados produzidos ao longo de várias campanhas – de acordo com a sua estratégia de trabalho – permitindo-lhe programar uma multiplicidade de



Fig. 15 – Interface do MAPP

acções em diferentes estágios do desenvolvimento da exploração, como seja antecipar intervenções em zonas atacadas por pragas ou com menor vigor vegetativo, otimizar a colheita selectiva, mitigar e gerir o risco em zonas assinaladas como mais susceptíveis a deslizamentos (Fig. 15).

AGRADECIMENTOS

Os dados, metodologias e resultados referidos neste resumo foram obtidos no âmbito do projecto de I&DT n.º 03495 – CLOUDMAPPER, co-financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional da União Europeia (FEDER), através do Portugal 2020 (P2020), ao abrigo do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (COMPETE 2020).

Ao Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa (ISA), à Faculdade de Letras da Universidade do Porto (FLUP), à Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense (ADVID), à Real Companhia Velha e à Symington Family Estates, os nossos agradecimentos pela disponibilidade e pelos contributos que possibilitaram a boa execução do projecto.

REFERÊNCIAS

John Weier, David Herring, NASA (2000). Measuring vegetation (NDVI & EVI) (<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/>) [acedido em 01 de Março de 2017]

Montgomery, D.R., Dietrich, W.E. (1994). A physically-based model for the topographic control on shallow landsliding. *Water Resources Research* 30, 1153 – 1171. *Research* 30, 1153 – 1171.

USGS United States Geological Survey. NDVI, the Foundation for Remote Sensing Phenology (https://phenology.cr.usgs.gov/ndvi_foundation.php) [acedido em 01 de Março de 2017]

**Avaliação da suscetibilidade a deslizamentos em taludes de terraços agrícolas:
modelos matemáticos de base física**

**EVALUATION OF LANDSLIDES SUSCEPTIBILITY IN AGRICULTURAL TERRACES:
PHYSICALY BASED MATHEMATICAL MODELS.**

Carlos Bateira^a
carlosbateira@gmail.com

António Costa^b
afonso.costa@gmail.com

Joana Fernandes^b
joanafcfernandes@gmail.com

Bruno Fonseca^b
brunopomarelos@hotmail.com

^aRISKAM-CEG-ULisboa/FLUP-UPorto.

^b Faculdade de Letras da Universidade do Porto

RESUMO

O vale do Douro interior apresenta extensas áreas de vinha que pertencem à mais antiga região demarcada dedicada à produção de vinho (RDD). Em virtude do forte encaixe do vale do Douro o plantio da vinha é feito em terraços agrícolas que apresentam diferentes graus de instabilidade. A modelação da instabilidade dos taludes dos terraços agrícolas utiliza modelos digitais de elevação (DEM) e, com base no conjunto de parâmetros físicos que caracterizam o terreno e a monitorização do comportamento hidrológico das vertentes, é possível modelar a variação espacial da suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos superficiais translativos ao longo dos taludes de terraços, recorrendo ao modelo SHALSTAB.

Verifica-se que a resolução dos DEMs é um elemento essencial do processo de modelação, só possível com a aparição de processos de aquisição de imagens a baixa altura, capazes de construir DEMs de muito elevada resolução. No caso da utilização do SHALSTAB para a modelação da instabilidade dos taludes verifica-se que os melhores resultados advêm da combinação dos DEMs de maior resolução para a modelação da componente de instabilidade e os de menor resolução para a modelação da componente hidrológica. Com a validação pelas tabelas de contingência é possível identificar que a modelação que utiliza um DEM de 1m de resolução para a produção da área contributiva e de 40cm para a modelação dos declives constitui o modelo com melhor desempenho, apresentando uma capacidade preditiva de 97% dos deslizamentos. De entre os modelos com melhor capacidade preditiva, apresenta ainda uma razão entre o índice dos verdadeiros positivos e o índice dos falsos negativos de 2,1. A utilização das resoluções maiores (de 20cm e 40cm) revelaram ineficácia na previsão da maior parte dos deslizamentos em virtude da fraca aderência da modelação da área contributiva com a modelação dos processos hidrológicos subsuperficiais. Isto resulta da ausência de similitude entre o escoamento interno e a superfície topográfica profundamente alterada com a construção dos terraços agrícolas. Essa similitude existe entre a configuração geral da vertente, antes da organização em terraços agrícolas, e os processos de escoamento interno. Isto justifica o melhor desempenho da combinação dos DEMs de menor resolução para a componente hidrológica e os DEMs de maior resolução para a componente da instabilidade.

Palavras-chave: Terraços agrícolas, Deslizamentos, Douro, MDE e SHALSTAB.

ABSTRACT

The Douro Valley presents in the eastern region extensive areas of vineyards that belong to the oldest demarcated region dedicated to wine production (RDD). The instability modeling of the agricultural terraces base on the digital elevation models (DEM) and on the physical parameters that characterize the terrain, it is possible to model the spatial variation of the susceptibility to the occurrence of shallow landslides on terraced slopes, using the SHALSTAB (Shallow Landslide Stability Model).

It is verified that the DEMs resolution is an essential element of the modeling process, only possible with the acquisition of images at a low altitude, capable to build DEMs of very high resolution. In the case of SHALSTAB it can be seen that the best results become from the combination of higher resolution DEMs for the modeling of the instability component and the lower resolution ones for modeling of the hydrological component. With the contingency tables validation it is possible to identify that the model that combine a DEM of 1m resolution for the contributory area and a DEM of 40cm for the instability modeling of the riser terraces has better performance, presenting a predictive capacity of 97% of the landslides. Among the models with the best predictive capacity, there is also a relation between the true positive index and the false negative index of 2.1. The use of higher resolutions (20cm and 40cm) revealed inefficiency in the prediction of most landslides due to the low efficiency to model the internal flow. This results from the absence of similarity between the internal flow and the topographic surface deeply modified with the construction of the agricultural terraces. This similarity exists between the general topographic configuration of the slope and the internal flow, before the organization in agricultural terraces. This justifies the better performance of the combination of the lower resolution DEMs for the hydrological component and higher resolution DEMs for the instability component.

Keywords: Agricultural terraces, Landslides, Douro valley, DEM and SHALSTAB.

INTRODUÇÃO

Nas duas últimas décadas o Vale do Douro sofreu uma importante alteração no tipo de armação de terreno para o cultivo de vinhas. Os terraços suportados com paredes de pedra em seco são substituídos por terraços com taludes de terra, em que a inclinação varia entre 100% e 175%. Esta mudança na paisagem permitiu reformular práticas agrícolas (favorecendo a mecanização) mas potenciou um grupo de problemas relacionados com a instabilidade de taludes. No Alto Douro Vinhateiro existem dois tipos de instabilidade de taludes. O primeiro, e o que provoca mais danos, é o deslizamento de terras ou fluxo de

lama. Este tipo de processos afeta uma grande extensão de áreas da vertente e mobiliza, a grande velocidade, uma quantidade avultada de materiais. Apesar da dimensão e dinâmica são pouco frequentes e de distribuição geográfica esparsa. Outro tipo de instabilidade relaciona-se com deslizamentos translacionais superficiais em taludes de terraços agrícolas. Estes verificam-se com maior frequência nesta região, causando implicações na produção vitivinícola.

O processo de construção dos terraços provoca uma elevada desagregação do solo na primeira camada até cerca de 1,5 metros de profundidade proporcionando uma elevada infiltração sobretudo nos primeiros anos após construção. Na ocorrência de episódios chuvosos moderados e prolongados verifica-se um aumento do fluxo interno pelos caminhos preferenciais em direção às camadas mais profundas do solo, 1.5 a 2 metros de profundidade. Este aumento da circulação interna está ligado com o processo de infiltração do fluxo nas áreas superiores da vertente que, progressivamente, se vai concentrar nas áreas mais baixas ao longo dos primeiros anos. Ao longo dos anos, a compactação dos materiais na plataforma promove uma redução da capacidade de infiltração e, conseqüente diminuição da importância do processo de infiltração.

Existem diversas técnicas, de monitorização de terreno que permitem discernir sobre o comportamento hidrológico e estrutural dos terraços agrícolas. A resistividade elétrica, que se apresenta como um método não-invasivo, é utilizada para caracterizar a estrutura e presença de água no solo. A capacidade de infiltração e a condutividade hidráulica, diretamente ligadas à hidrologia e caminhos preferenciais, apresentam-se como parâmetros utilizados nos modelos de suscetibilidade a deslizamentos de vertente. A textura, a coesão e o peso específico do solo definem sobretudo características que se relacionam com a porosidade e os agregados do solo, parâmetros que também incorporam os modelos de suscetibilidade à instabilidade de taludes de terraços.

Nas últimas duas décadas, a avaliação da suscetibilidade a movimentos de vertente desenvolveu-se baseada em duas metodologias principais: de base estatística e de base matemática. A modelação estatística baseia-se na premissa de que as ocorrências passadas são a chave para explicar a instabilidade atual, esta análise é sempre apoiada com um inventário de ocorrências realizado no terreno. Os modelos matemáticos baseiam-se na premissa que os parâmetros físicos do solo explicam a instabilidade. A idealização da análise de instabilidade de vertentes em terraços agrícolas pressupõe uma análise prévia das condições de implementação dos terraços agrícolas de forma a evitar ocorrências e promover uma maior rentabilidade da produção agrícola.

O objetivo deste trabalho centra-se na apresentação de metodologias e resultados desenvolvidos, em terraços agrícolas, para a identificação de áreas potenciais de instabilidade, a fim de disseminar informação preventiva necessária aos gestores e produtores vitícolas.

MATERIAIS E MÉTODOS

1. Os solos derivados de formações metasedimentares têm uma espessura muito reduzida (fig.1) e constituem a grande maioria das formações que pertencem à Região Demarcada do Douro (RDD). De forma geral são constituídos por materiais de textura fina, (variável entre 40% a 60% de silte e argila), importante pedregosidade (30% de elementos grosseiros) e ainda uma fração arenosa (20% a 30%). Sendo solos muito pouco espessos e pouco evoluídos estão sujeitos a intensos processos erosivos. De uma forma geral, os solos sobrepõem-se a formações metasedimentares muito pouco alteradas e/ou fraturadas apresentando uma transição brusca. Esta disposição estrutural permite identificar um funcionamento hidrológico distinto de acordo com os diferentes níveis do perfil (fig. 1 - A). Os solos apresentam uma elevada percentagem de argila e silte (variando entre 30% e 50%, sendo o remanescente constituído por areias e cascalho) (fig. 2). Segundo o esquema da figura 1 os processos de escoamento propostos apresentam o paralelismo

do nível freático com a disposição topográfica e baseiam-se na teoria do talude infinito (fig. 3). Nas áreas mais profundas a condutividade hidráulica é muito reduzida em especial em profundidades próximas da rocha mãe. O efeito da infiltração continuada ao longo da vertente conduz à saturação das camadas inferiores do solo e promove o efeito de deslizamento no contacto com as camadas mais resistentes.

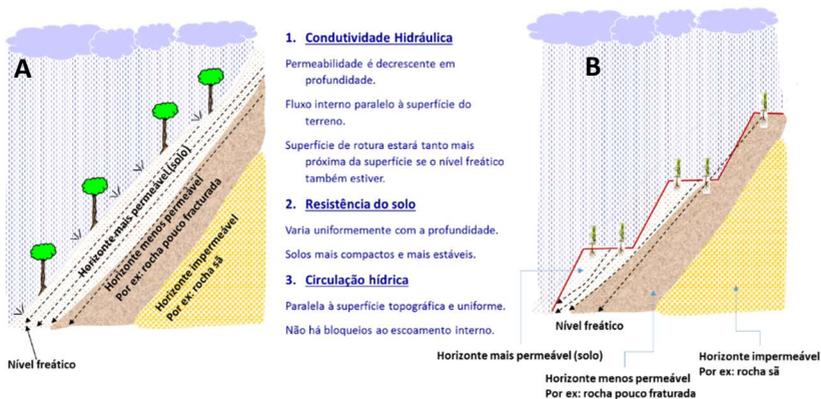
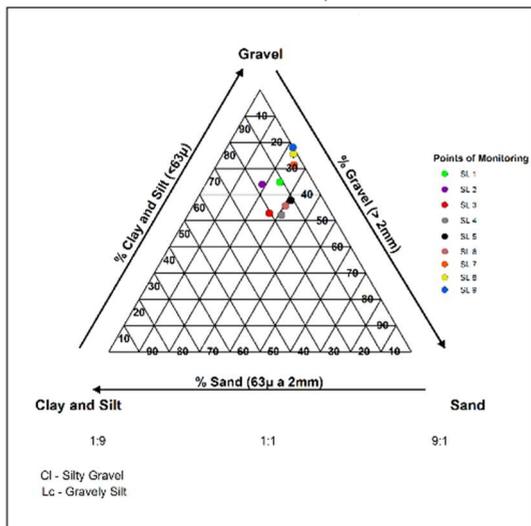


Fig. 1: Perfil de vertente instável; (A) formações superficiais e variação do nível freático e (B) idem com armação de terreno com terraços de talude em terra. Adaptado de WOLLE & CARVALHO, 1989, in B. Vieira, 2007.



Cascalho (2-4mm) 15,8 – 31,1%,
Areia (62,5µm-1mm) 0,9 – 20,5%
Argila e silt (3,9-62,5µm) 52,5 - 75,6%

Fig. 2: Textura das formações superficiais nos terraços agrícolas.

Com a construção dos terraços agrícolas há uma alteração significativa dos processos hidrológicos que afetam as vertentes. As plataformas dos terraços propiciam a infiltração e o fluxo interno saturado que poderá transformar-se em fluxo superficial de forma mais fácil ao longo dos taludes em terra (fig.1 – B). O fluxo interno saturado, associado à água infiltrada no terraço poderão ser os responsáveis pela instabilidade dos taludes dos terraços agrícolas.

2. Modelos de análise da estabilidade em vertentes, considerando a teoria do talude infinito:

A teoria do talude infinito é a base da análise dos processos de instabilidade de vertente por meio de deslizamentos superficiais peliculares suportada pelos modelos matemáticos de base física. Esta teoria é baseada no conceito de fluxo em estado estacionário e faz depender os processos de instabilidade da espessura do solo, características dos materiais, da topografia, do nível freático e da circulação da água. Este conceito pressupõe que o funcionamento hidrológico da vertente e a saturação dos materiais que a constituem dependem diretamente dos contributos da precipitação para a circulação hídrica interna nos patamares agrícolas.

3. Modelo de talude infinito. Apresentação das variáveis.

Com o conceito de talude infinito aplicam-se as variáveis trigonométricas para o cálculo da espessura do solo a partir de sondagem vertical e estabelece-se a relação entre o conjunto de forças que promove a instabilidade (forças tangenciais) e as forças que potenciam a estabilidade (forças de atrito) dos materiais constitutivos das vertentes (fig. 3). Baseado na teoria de Mohr-Coulomb, o modelo SHALSTAB (Montgomery, D.R. and Dietrich, 1994) define a componente de estabilidade a que adiciona um modelo hidrológico expresso na relação entre a precipitação que, por infiltração e escoamento, atinge um determinado ponto da bacia hidrográfica e a transmissividade do solo (fig. 4). Esta interpretação dos processos pressupõe que o escoamento interno se faz paralelamente à superfície topográfica e depende da área de receção da precipitação na bacia hidrográfica. No sentido de concretizar esta combinação de modelos adotou-se o conceito de área contributiva que é modelada a partir dos algoritmos “flow accumulation” elaborados por diversos autores e disponível em diversos programas.

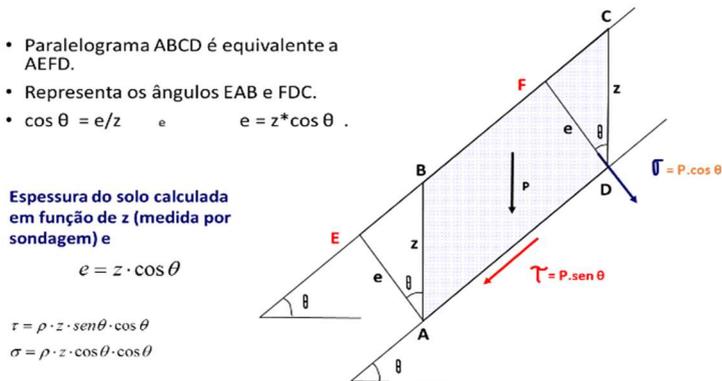


Fig. 3: Modelo da vertente infinita.

4. Algoritmos de modelos matemáticos de suscetibilidade. SHALSTAB, SINMAP, FS.

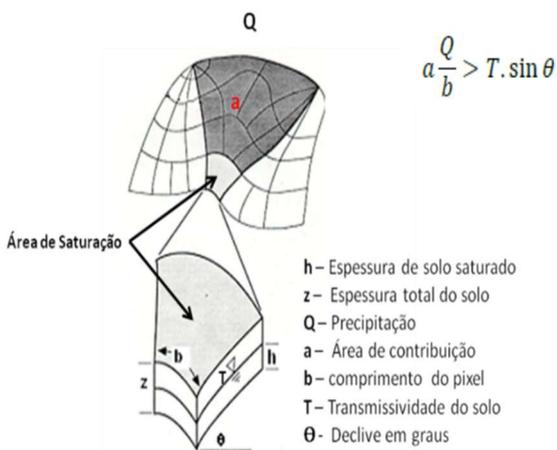


Fig. 4: Áreas contributiva segundo P. Quinn et al.

pelos diversos modelos. O Fator de Segurança utiliza a componente hidrológica suportada na espessura do solo saturado. Por outro lado, o SHALSTAB e o SINMAP suportam a análise com a construção de áreas contributivas, a partir de Modelos Digitais de Elevação (MDE). Os modelos hidrológicos utilizados são o Multiple Flow Direction (MFD) e o Deterministic Infinity (D^∞), respetivamente de P. Quinn et al. (1991) e D. G. Tarboton (1997). O MFD apresenta a distribuição do fluxo ao longo de direções múltiplas, o que contribui para a definição de escoamento ao longo de caminhos preferenciais nas vertentes potenciando uma interpretação dos escoamentos difusos mais limitados nas seções intermédias das bacias hidrográficas. O D^∞ permite uma concentração precoce dos processos hidrológicos o que favorece a existência de áreas muito extensas nas vertentes com escoamentos considerados difusos e com áreas contributivas muito restritas.

Do conjunto de modelos matemáticos que utilizam a componente hidrológica combinada com a componente de estabilidade destacam-se o SHALSTAB (Montgomery, D. R. and et Dietrich, 1994), SINMAP (D. G Tarboton, 1997) e Fator de Segurança (S. Sharma, 2002) (fig. 5). Pelas fórmulas utilizadas podemos verificar que há diferenças no tratamento da componente hidrológica

Desta forma, os processos de construção das áreas contributivas a partir dos MDE é um dos pontos fulcrais na eficiência dos modelos de avaliação da instabilidade dos terraços agrícolas. Partindo da assunção de que os processos de escoamento interno se desenvolvem em paralelo com a superfície topográfica, a componente hidrológica é modelada a partir do MDE (C. Bateira et al., 2014 e J. Fernandes et al., 2017). Isso significa que a morfologia do terreno, que resulta da construção dos terraços agrícolas, pode ter uma importância significativa sobre os modelos hidrológicos que integram os modelos de instabilidade.

Shalstab (Montgomery & Dietrich, 1994)

SINMAP (D.G. Tarboton, 1997)

FATOR DE SEGURANÇA (Sharma, 2002)

$\frac{Qc}{T} = \frac{\sin \theta}{b} \left[\frac{C'}{\rho w g z \cos^2 \theta \tan \phi} + \frac{\rho s}{\rho w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) \right]$	$IE = Cr + Cs + \frac{\cos \beta [\rho s g - (D - Dw) + (\rho s g - \rho w g) Dw] \tanh \phi}{D \rho s g \sin \theta \cos \theta}$	$FS = \frac{c' + h \times \cos^2 \beta [(1 - m) \gamma_m + m \gamma_{sub}] \times \tan \phi'}{h \times \sin \beta \times \cos \beta [(1 - m) \gamma_m + m \gamma_{sat}]}$ $m = dw / h$
<p><i>Qc</i> – Critical Rainfall. <i>T</i> – Transmissivity. <i>C'</i> – Soil cohesion. <i>a</i> – Contributing area. <i>b</i> – Terrain unity dimension. <i>pw</i> – Water specific weight. <i>ps</i> – Soil specific weight. <i>θ</i> – Slope inclination. <i>φ</i> – Internal friction angle.</p>	<p><i>Cr</i> – Root cohesion. <i>Cs</i> – Soil cohesion. <i>θ</i> – Slope angle. <i>pw</i> – Water density (kg/m³). <i>ps</i> – Soil saturated density. <i>g</i> – Gravitational acceleration (9,81 m/s) <i>D</i> – Vertical soil profundity. <i>Dw</i> – Vertical soil saturated column (m). <i>φ</i> – Internal friction angle.</p>	<p><i>dw</i> – espessura do solo saturado. <i>h</i> – espessura do solo potencialmente instável. <i>φ</i> – ângulo de atrito <i>C'</i> – coesão <i>β</i> – declive da encosta <i>γ_{sat}</i> – Peso volúmico saturado <i>γ_{sub}</i> – Peso volúmico submerso <i>γ_m</i> – Peso volúmico do solo</p>

Fig. 5: Modelos de avaliação da suscetibilidade a movimentos de vertente peliculares translativos.

Segundo a teoria do talude infinito o paralelismo entre escoamento interno e a topografia da vertente só é aceitável considerando o sentido geral do declive e não a morfologia dos terraços agrícolas. Considerando o elevado detalhe dos MDEs utilizados na modelação da instabilidade, não podemos utilizar, em simultâneo, escalas de trabalho detalhadas para a componente de instabilidade e para a componente hidrológica. Na componente de instabilidade há necessidade de representar em detalhe a morfologia dos terraços agrícolas, nomeadamente os taludes dos patamares, mas na componente hidrológica há que representar a tendência geral do declive da vertente, representativa do processo de escoamento interno definidos pelos modelos de instabilidade que utilizam o conceito de área contributiva, nomeadamente o SHALSTAB e SINMAP (fig. 5).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo de instabilidade selecionado para modelar a instabilidade de taludes em terraços agrícolas no vale do Douro foi o SHALSTAB em virtude de potenciar a modelação do escoamento interno por intermédio de caminhos preferenciais tal como já demonstramos em publicações anteriores.

Produzimos 6 modelos de instabilidade recorrendo a quatro MDEs com resoluções espaciais diferentes. Utilizaram-se MDEs com pixel de 20cm, de 40cm, de 1m e outro de 5m dos quais resultaram 4 modelos de instabilidade (fig. 6, A a D).

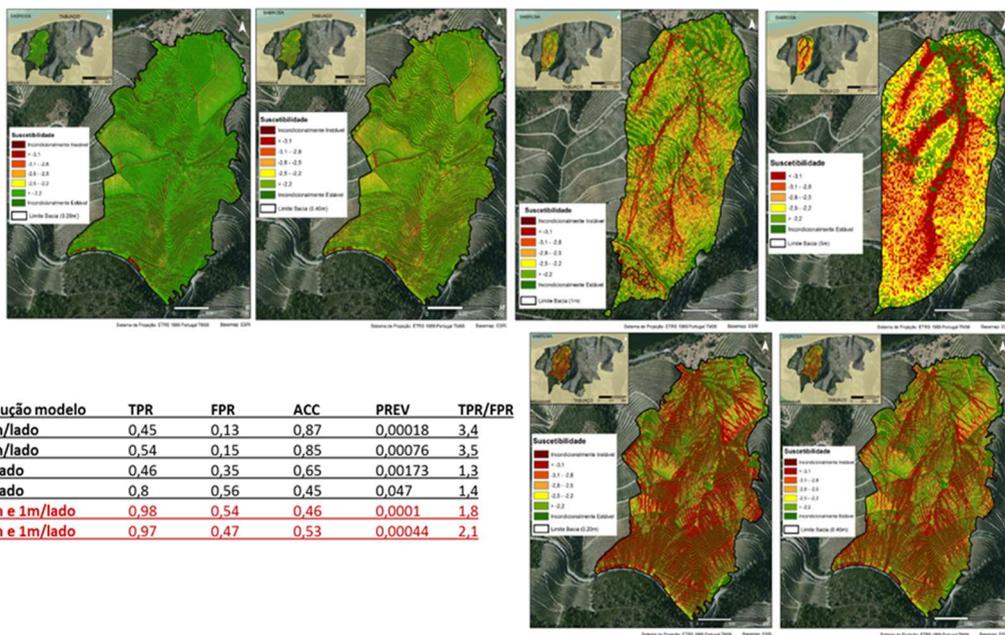


Fig. 6: Modelos de instabilidade, Quinta de S. Luís, Adorigo. Resolução espacial: A- 20cm, B- 40cm, C- 1m, D- 5m, E- 20cm para a instabilidade e 1m para a hidrologia e F- 40cm para a instabilidade e 1m para a hidrologia. Tabela com valores da validação segundo a matriz de contingência: TPR-True Positive Rate, FPR-False Positive Rate, ACC- Accuracy, PREV- Precision, índice TPR/FPR.

Adicionalmente construíram-se dois modelos com resoluções combinadas consoante a componente a representar. Para a componente de instabilidade utilizou-se os MDE de resolução espacial de 20cm e 40cm (fig. 6, E e F) e para a componente hidrológica utilizou-se o MDE com resolução espacial de 1m em ambos os modelos.

A validação foi feita com recurso ao inventário e através de tabela de contingência (Provost, F. and Fawcett, T. 1997). Os modelos A, B e C apresentam uma fraca capacidade preditiva que varia entre 45% e 54% (fig. 6) e, por isso, não devem ser considerados para efeito de avaliação de suscetibilidade a deslizamentos em taludes de terraços agrícolas. O modelo D melhora significativamente a capacidade preditiva com 80% dos deslizamentos identificados nas áreas cartografadas como sendo suscetíveis de instabilidade. Contudo, apresenta uma elevada área cartografada como instável. Os modelos E e F apresentam uma ainda melhor capacidade preditiva, de 98% e 97%, respetivamente. Apesar de aumentarem a capacidade preditiva relativamente aos outros modelos A, B, C e D, reduzem a área considerada como instável relativamente ao modelo D. O melhor desempenho destes dois modelos relativamente ao modelo D é bem patente no índice TPR/FPR. Neste índice apresentam valores superiores ao modelo D, sendo que o modelo F, com 2,1 é o que melhor desempenho tem.

Neste modelo são utilizados os MDE de 40cm para a componente de instabilidade e de 1m para a componente hidrológica.

Neste modelo a componente hidrológica (1m) tem uma generalização relativamente à componente de instabilidade (40cm) o que permite a modelação dos processos hidrológicos internos de acordo com o declive geral da vertente. No entanto, a resolução espacial da componente de instabilidade que melhor permite a modelação da suscetibilidade nos taludes não é a resolução de 20cm, mas a de 40cm. A resolução de 20cm é excessiva, representando todas as pequenas irregularidades ao longo do talude dos

terraços o que se revelou pouco rigoroso no processo de classificação dos valores da suscetibilidade. Com esta resolução pequenos setores dos taludes são classificados como estáveis, no interior de áreas de elevada suscetibilidade.

CONCLUSÃO

1. A modelação dos processos de escoamento interno com base no MDE deve considerar as alterações promovidas pela utilização e intervenções sobre o terreno.

A premissa admitida pelos algoritmos de modelação das áreas contributivas de que estas estão diretamente dependentes da topografia permite a utilização dos MDE como suporte à construção das áreas contributivas. Esta premissa é válida para o vale do Douro como já foi demonstrado em trabalhos anteriores (J. Fernandes et al., 2017). É possível admitir que os processos de escoamento interno estão diretamente correlacionados com as áreas contributivas modeladas pelo MFD, sendo que, para profundidades entre 1,5m e 2,5m a correlação é elevada. Contudo, apesar de menos relevante, a correlação com o D_{∞} é boa para profundidades até 1m. Esse fato resulta da alteração da estrutura dos solos promovida pela construção dos patamares agrícolas, destruindo potenciais caminhos preferenciais e promovendo o escoamento difuso. Para profundidades superiores, tendo em conta estes pressupostos, podemos assumir que os MDE são aceitáveis para a modelação do escoamento interno desde que sejam representativos dos caminhos preferenciais tal como acontece com o MFD.

2. Considerando a capacidade de generalização da informação promovida pelas escalas de representação mais reduzidas, podemos inferir que a representação feita com resoluções espaciais mais fracas dos MDEs, são mais representativas dos declives médios e da morfologia geral da vertente. Sendo que, o escoamento interno está diretamente dependente do contexto geral da vertente e não da disposição dos patamares agrícolas, podemos concluir que uma representação das áreas contributivas com recurso a um MDE mais

generalizado (neste caso de 1m de resolução espacial) está mais correta e deverá ser constituída como opção desejável comparativamente a resoluções que potenciam maior detalhe do terreno. Nem sempre a resolução mais elevada é a melhor opção.

3. Em contrapartida, a componente de instabilidade do modelo SHALSTAB necessita de uma boa representação do conjunto de taludes dos patamares agrícolas. Essa representação exige MDE com detalhe suficiente de forma que a fisionomia dos taludes esteja bem representada, independentemente de pequenas variações não representativas da morfologia dos patamares agrícolas. No caso dos terraços agrícolas do Douro a resolução de 40cm revelou-se adequada para a modelação da instabilidade de taludes.

4. Para uma boa definição dos DEMs ajustados à modelação, tanto da componente de instabilidade como da componente hidrológica necessita um bom conhecimento do funcionamento dos processos naturais, implica a realização de testes á resolução do DEM ajustada a esses processos, bem como a identificação das alterações ocorridas resultantes da intervenção humana.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo PT2020 integrado no projeto Cloudmapper em conjunto com os seguintes parceiros: ISA, ADVID sob a coordenação da empresa promotora SPINWORK.

REFERÊNCIAS

Bateira, C., Soares, L., Rodrigues, D., Moura, R., Teixeira, M., Santos, M. (2014) Movimentos de vertente no Norte de Portugal: importância do comportamento hidrológico das formações superficiais. Revista Brasileira de Geomorfologia v. 15, nº 4, www.ugb.org.br, ISSN 2236-5664.

J. Fernandes, J., Bateira, C., Costa, A, Fonseca, B., Moura, R. (2017), Electrical resistivity and spatial variation in agriculture terraces: statistical correlation

between ert and flow direction algorithms. *Open Agriculture* 2, ps329–340. DOI 10.1515/opag-2017-0037

Montgomery, D. R. and Dietrich, W. E. (1994). A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. *Water Resources Research* 30: 1153-1171

Quinn, P., Beven, K., Chevallier, P., & Planchon, O. (1991). The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. *Hydrological Processes*, 5(1), 59-79. doi:10.1002/hyp.3360050106

Provost, F. and Fawcett, T. 1997. Analysis and Visualization of Classifier Performance: comparison Under Imprecise Class and Cost Distributions. *KDD'97 Proceedings of the Third International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, Newport Beach, CA, Pages 43-48.

Sharma, S. (2002) Slope stability concepts. In: Abramson LW, Lee TS, Sharma S, Boyce GM (eds) *Slope stability and stabilization methods*. Wiley, New York, pp 329–461

Tarboton, D. G. (1997). A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research*, 33(2), 309-319. doi:10.1029/96WR03137.

Vieira, B. (2007). Previsão de Escorregamentos Translacionais Rasos Na Serra do Mar (SP) a partir de Modelos Matemáticos em Bases Físicas. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Wolle, C. M. and Crvalho, C. S. 1994. Taludes Naturais. In F. F. Falconi and A. N. Jr. (eds), *Solos do litoral de São Paulo*. Associação Brasileira de Mecânica de Solos - Núcleo Regional de São Paulo - ABMS, São Paulo, pp. 180-203.