



A utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados no inventário florestal – o caso do montado de sobreiro

Paula Soares¹, Paulo Firmino¹, Margarida Tomé¹, Manuel Campagnolo¹, João Oliveira², Bruno Oliveira², João Araújo² e Francisco Câmara²

¹ Centro de Estudos Florestais, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Tapada Ajuda, 1349 017 Lisboa, Portugal

² Spin.Works S.A., Rua de Fundões nº 151, 3700 121 São João da Madeira, Portugal

(paulasoares@isa.ulisboa.pt; pnfirmينو@isa.ulisboa.pt; magatome@isa.ulisboa.pt; mlc@isa.ulisboa.pt; joao.oliveira@spinworks.pt; joao.araujo@spinworks.pt; bruno.oliveira@spinworks.pt; francisco.camara@spinworks.pt)

Palavras-chave: *drone*, avião não tripulado, inventário florestal, sobreiro, individualização das árvores, grau de cobertura, biomassa acima do solo

Resumo: O Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) proporciona uma plataforma controlável de aquisição de informação por via remota tornando possível a recolha de informação geoespacial detalhada em tempo real e a custos relativamente baixos. A aplicação dos VANT é diversa, sendo várias as aplicações na área florestal. Na floresta mediterrânica o montado de sobreiro assume particular importância não só pelo seu valor enquanto ecossistema mas, sobretudo, pela produção de cortiça. O conhecimento da densidade do montado (número de árvores por hectare) e do respetivo grau de cobertura (expresso através da percentagem da soma das áreas resultantes da projeção horizontal das copas em relação à área da parcela de inventário) e do estado fitossanitário dos sobreiros (desfolha e descoloração das copas) é fundamental para o gestor florestal. Neste trabalho desenvolveram-se e validaram-se funcionalidades e algoritmos de processamento de fotografia aérea (p.e., a reconstrução da cena original, modelo 3D georreferenciado, classificação sobre a nuvem de pontos para identificação do chão, matos, copas e árvores) obtida com veículo aéreo não tripulado de modo a estimar as variáveis anteriormente referidas. Para tal utilizaram-se fotografias aéreas de alta resolução recolhidas com o VANT S20 (desenvolvido e operado pela Spin.Works). A Herdade da Machoqueira do Grou, no concelho de Coruche, foi selecionada como área de estudo. Nesta definiram-se duas áreas de 100 ha cada, com montado de sobreiro com características distintas: montado puro plantado, montado puro esparso, montado puro denso e montado misto de sobreiro e pinheiro manso. Marcaram-se e mediram-se 19 parcelas de inventário de 2000 m² de área cada, na proporção de 1 parcela por cada 10 ha. O trabalho de inventário decorreu entre fevereiro e maio de 2015. Foram efetuados voos nestas áreas com uma câmara no espectro do visível (CAM-RGB) e com uma câmara no espectro do infravermelho próximo (CAM-CIR). As estimativas obtidas para as variáveis acima referidas e resultantes do processamento das fotografias aéreas foram comparadas com valores recolhidos diretamente no campo ou estimados com base em trabalho de campo de inventário florestal. Os resultados mostraram que as estimativas de grau de cobertura e de altura média dos povoamentos obtidas pelo processamento das fotografias aéreas eram próximas das calculadas com base no trabalho de campo. Desvios maiores foram obtidos na contabilização de árvores por unidade de superfície sendo difícil a individualização das árvores. As descolorações na copa das árvores eram visíveis nas fotografias aéreas tendo sido, no entanto, difícil quantificar a área de descoloração em relação à área total correspondente à projeção horizontal das copas por limitações do algoritmo de classificação desenvolvido que é atualmente objeto de estudo e de melhoramentos. Os resultados são muito promissores e apontam-se como linhas próximas de trabalho a melhoria dos algoritmos de classificação e a otimização do *software* para redução do tempo de processamento.



1. Introdução

As aplicações dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) na área florestal são variadas. A deteção precoce de focos de incêndio e o mapeamento e a monitorização de fogos em áreas florestais são frequentemente referidos como áreas de aplicação (Merino *et al.*, 2012, Getzin *et al.*, 2014). Os VANT podem ser usados em processos de monitorização uma vez que permitem obter fotografia georreferenciada a custo reduzido permitindo voar grandes áreas em curtos intervalos de tempo. Podem ser aplicados na monitorização da variação da estrutura da floresta e na análise do padrão espacial (Inoue *et al.*, 2014) e na alteração do uso do solo (Paneque-Gálvez, 2014), nomeadamente na quantificação de áreas desflorestadas e reflorestadas, bem como monitorização da alteração da ocupação florestal. O permitir a visualização de zonas inacessíveis é também uma vantagem podendo ser usado para localizar árvores derrubadas pelo vento ou por tempestades de neve ajudando à remoção desta madeira de modo mais eficiente (Lundqvist, 2014, Inoue *et al.*, 2014). Podem ser também usados na gestão corrente de áreas florestais para planeamento de corte e otimização do processo de extração de madeira da floresta (Lundqvist, 2014). A vista aérea da floresta pode ser usada para a contabilização de árvores vivas e mortas (Fritz *et al.*, 2013, Getzin *et al.*, 2014), a avaliação do estado fitossanitário da floresta e a monitorização de pragas e doenças (Fornace *et al.*, 2014). A determinação do grau de cobertura em áreas florestais (Getzin *et al.*, 2012) – obtido pela contabilização direta das clareiras ou indireta pela quantificação de áreas de copas do estrato arbóreo e áreas de cobertura do estrato arbustivo –, pode ser usada no processo de gestão e de decisão, nomeadamente, na opção de renovação dos povoamentos por regeneração natural. A quantificação da biomassa arbórea (Lopatin e Hassinen 2014), após quantificação do número de árvores vivas e da análise da distribuição vertical da floresta, é um objetivo ambicioso mas muito interessante na área florestal porque permite ter estimativas de produção a custos reduzidos quando comparados com os do inventário clássico. Ainda na área florestal, os VANT podem ser usados na avaliação da biodiversidade (Getzin *et al.*, 2012), na gestão de zonas de caça (com monitorização das deslocações da caça de maior dimensão e distribuição de zonas de alimentação e de sombra) e em levantamentos cartográficos e topográficos (Getzin *et al.*, 2014).

Neste trabalho apresenta-se uma aplicação dos VANT a um sistema típico da floresta portuguesa – o montado de sobro, o qual assume particular importância não só pelo seu valor enquanto ecossistema mas, sobretudo, pela produção de cortiça. O conhecimento da densidade do montado (número de árvores vivas e mortas por hectare) e do respetivo grau de cobertura (expresso através da percentagem da soma das áreas resultantes da projeção horizontal das copas em relação à área da parcela de inventário), do estado fitossanitário dos sobreiros (manifestado através da desfolha e da descoloração das copas) e da biomassa acima do solo por unidade de superfície é fundamental para o gestor florestal.

2. O Sistema aéreo não tripulado S20

O sistema aéreo não tripulado S20, desenvolvido integralmente pela Spin.Works, é composto por um avião não tripulado, uma catapulta e uma estação de solo (Figuras 1 e 2). O avião, uma asa voadora com 1,8 m de envergadura, é produzido em séries de 30 a 50 aviões e com recurso a espumas poliméricas de baixa densidade e pode ser equipado com sensores no espectro do visível, do infravermelho ou multiespectrais, no máximo com um peso de 0,4 kg.



Figura 1 – Drone S20 pronto a descolar



Figura 2 – Estação de solo S20

A estação de solo possui um sistema de comunicações de longa distância, suportando a transmissão simultânea de dados de telemetria do avião (ex., altitude, posição, velocidade e orientação do avião, estado da bateria a bordo), de



imagens vídeo em tempo real, assim como a pilotagem remota do veículo, através de canais independentes. A estação de solo funciona como interface entre os aviões aéreos não tripulados e os operadores no solo, permitindo-lhes, em tempo real, planejar a missão/plano de voo e monitorizar e visualizar o voo.

O Quadro 1 sumariza as principais especificações do *drone* S20 que é sobretudo utilizado para recolher fotografia aérea de alta resolução (no espectro do visível, do infravermelho ou até mesmo multi e hiperespectral) (Figura 3), de forma autónoma, a baixo custo e com a capacidade de cobertura de grandes áreas. A título de exemplo, uma missão para recolher fotografia aérea (no espectro do visível, com a CAM-RGB, 12,1 Megapixel, tamanho do sensor de 7,6 x 5,7 mm, campo de visão/*Field of View* de 73,7 x 53,1 graus e distância focal 24 mm) com uma resolução aproximada de 5 cm/*pixel*, em 100 ha de floresta não demora mais do que 40 minutos entre o tempo de montar o avião sobre a catapulta, descolar, executar o plano de voo e aterrar. Para cumprir com os requisitos de resolução e sobreposição entre imagens que permitam uma boa reconstrução tridimensional do terreno, o voo é executado a 100 m de altura e são recolhidas cerca de 1500 fotos.

Quadro 1 – Especificações do *drone* S20

Peso máximo à descolagem	2,0 kg	Distância máxima de operação (distância avião – estação de solo)	20 km
Peso máximo de <i>payload</i>/sensores	0,4 kg	Resolução espacial das fotografias aéreas (câmara no espectro infravermelho próximo)	5 cm/ <i>pixel</i> (voo a 100 m altura)
Tempo de voo máximo	2 h	Produtividade (área por hora)	200 ha/h
Velocidade de cruzeiro	60 km/h		



Figura 3 – Exemplo de uma fotografia de alta resolução obtida pelo S20

Com recurso a *software* desenvolvido pela Spin.Works é possível, em poucas horas de processamento automático, processar os dados obtidos e obter ortofotomapas, modelos tridimensionais, modelos digitais de terreno, modelos digitais de superfície, a partir das fotografias aéreas (Figuras 4 e 5). É ainda possível, de acordo com as necessidades dos utilizadores, fornecer outros dados relevantes, tais como mapas com Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), estimativas do número de árvores, do grau de ocupação e da biomassa acima do solo por unidade de superfície bem como a avaliação do estado fitossanitário do povoamento (Figura 6).



Figura 4 – Ortofotomapa de 5 cm/*pixel*

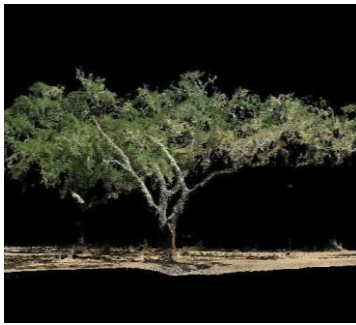


Figura 5 – Reconstrução 3D a partir de fotografia aérea



Figura 6 – Descoloração na copa que pode indicar presença de cobrilha dos ramos do sobreiro

3. Área de estudo e métodos

Área de estudo

Foi selecionada como área de estudo a Herdade da Machoqueira do Grou, localizada no concelho de Coruche. Esta Herdade, de ocupação agro-florestal, tem cerca de 2400 ha com povoamentos de sobreiro, pinheiro manso e eucalipto. A dimensão da área de montado de sobreiro é significativa tendo sido selecionados para estudo povoamentos representativos de montado com características diferentes em termos de densidade e distribuição espacial - montado esparso, montado plantado, montado denso e montado misto com pinheiro manso - distribuídos em duas áreas de 100 ha cada designadas por área Torre e área Sobreiro Sul.

Método tradicional de inventário florestal

Foram instaladas e medidas 19 parcelas circulares de inventário florestal de 2000 m² de área cada na proporção de 1 parcela por cada 10 ha. Em cada parcela efetuou-se:

- a caracterização do povoamento onde a parcela se inseria, tendo-se também tirado 9 fotografias – 4 do centro da parcela para a periferia segundo os pontos cardeais, 4 da periferia para o centro da parcela e uma do centro da parcela para cima.
- a georreferenciação das árvores com base num GPS de precisão sub-métrica. Para efeitos de medição, considerou-se uma árvore qualquer indivíduo com altura igual ou superior a 2 m.
- a medição das coordenadas polares das árvores - azimute e distância do centro da parcela às árvores da parcela.
- a avaliação do grau de fitossanidade da copa das árvores da parcela (com base no grau de desfolha e de descoloração).
- o levantamento, com GPS de precisão sub-métrica, do contorno das copas das árvores e das machas de sobcoberto (arbustivo).
- a medição da altura total, altura da bifurcação e altura de descorticação vertical de todas as árvores e dos indivíduos com altura total superior a 1 m e inferior a 2 m.
- a medição dos diâmetros cruzados de todas as árvores.
- a medição da espessura de cortiça das árvores em exploração.
- a contagem do número de pernadas de primeira ordem de cada árvore em exploração.

Tendo por base os dados recolhidos no inventário florestal, obteve-se, para cada parcela de inventário, estimativas do número de árvores vivas por hectare, do grau de cobertura (definido pelo somatório das áreas correspondentes à projeção horizontal das copas das árvores e expresso em percentagem em relação à área da parcela) e da altura média.

Método de inventário com recurso ao VANT S20 e software de processamento de fotografia aérea

Simultaneamente aos trabalhos de recolha de dados em campo, as duas áreas de estudo foram sobrevoadas. As fotografias aéreas de alta resolução foram recolhidas com o sistema S20, equipado com uma câmara no espectro do

visível (CAM-RGB, descrita anteriormente). Os voos foram realizados a 100 m de altura e cada área de 100 ha foi sobrevoada em cerca de 30 minutos tendo sido tiradas cerca de 1500 fotografias de cada área.

As fotografias aéreas obtidas com o VANT S20 são geo-referenciadas com base no sistema de navegação embarcado, que recorre a sensores inerciais e GPS com melhoramento de precisão (tirando partido nomeadamente do EGNOS na Europa) e mitigação de erros de *multi-path* por *software*. A estratégia utilizada na composição do mapa georreferenciado correlaciona todas as estimativas de posição do GPS entre si, logo o erro de posicionamento do mapa gerado beneficia de um efeito de média do erro das várias estimativas de posição GPS.

A Figura 7 ilustra a cadeia de processamento de fotografia aérea implementada no *software* desenvolvido pela Spin.Works.

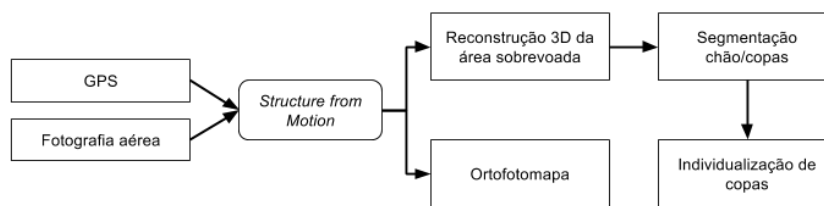


Figura 7 – Esquemática dos algoritmos para processamento de fotografia aérea

Partindo das fotografias aéreas georreferenciadas com GPS e filtro de navegação embarcados no S20, obteve-se um ortofotomapa com 5 cm/pixel e uma reconstrução 3D da área sobrevoada através da aplicação de um algoritmo de *Structure from Motion* (Snavely *et al.*, 2006). Posteriormente, à nuvem de pontos 3D resultante, aplicou-se uma segmentação entre pontos de chão e copas/troncos (Zhang *et al.*, 2003) e estimou-se o grau de ocupação através da razão entre o número de pontos pertencente a copas/troncos e o número de pontos pertencente a chão. Estimou-se ainda a área da parcela com base na densidade espacial de pontos, após regularização da nuvem 3D. Aos pontos correspondentes a copas e troncos aplicou-se ainda um algoritmo de individualização de copas que agrupa os pontos dispersos no espaço em grupos de pontos (ou *clusters*) com base na proximidade entre estes (distância euclidiana). A posição e altura de cada árvore foram calculadas, respetivamente, como a posição do centróide e cota máxima da nuvem de pontos correspondente a cada *cluster*/copa individualizada. Este processo é automatizado pelo *software* desenvolvido pela Spin.Works, considerando alguns parâmetros definidos pelo utilizador e que podem ser ajustados para casos específicos, nomeadamente a distância máxima (d_{max}) entre pontos para que estes sejam considerados como pertencendo ao mesmo *cluster* e o raio de procura de pontos no chão (r_{chao}) para estimativa da altura média deste nas redondezas de cada copa. Para o caso de estudo, utilizou-se $d_{max}=0,5$ m e $r_{chao}=2$ m.

Comparação de estimativas obtidas pelos dois métodos

Para comparar as estimativas de número de árvores, grau de cobertura e altura média ao nível da parcela calculou-se o erro percentual por parcela sendo este definido pelo quociente da diferença entre os valores das estimativas obtidas com base nas variáveis recolhidas em campo e as obtidas com recurso ao VANT S20, e o valor das estimativas obtidas com base nas variáveis recolhidas em campo.

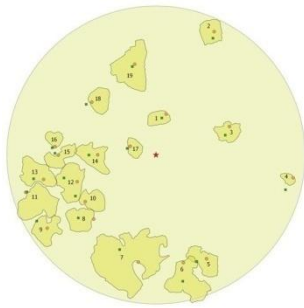
O erro médio percentual para cada uma das variáveis – considerando a totalidade das parcelas inventariadas – foi calculado pelo quociente da média dos erros ao nível da parcela e a média do valor das estimativas obtidas com base nas variáveis recolhidas em campo.

Para a contabilização das árvores a partir do processamento de fotografia aérea isolou-se, para cada parcela, uma área de 2000 m² correspondente à parcela de inventário instalada em campo. A marcação do centro da parcela foi feita tendo por base a georreferenciação efetuada em campo com o GPS de precisão sub-métrica. As árvores localizadas nos limites da parcela e que foram contabilizadas em campo e não o foram pelo método de processamento das fotografias não foram consideradas “erro” mas sim o resultado de diferenças de precisão associadas a cada método.

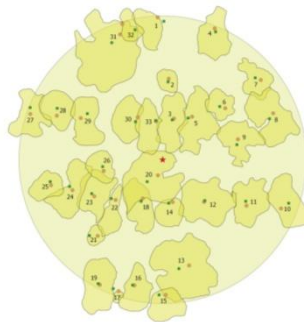
4. Resultados

Nas Figuras 8-10 apresentam-se os resultados obtidos para a contagem de árvores em três parcelas representativas de três estratos - montado esparso, montado plantado e montado denso. De um modo geral (em 17 das 19 parcelas de inventário), o número de árvores contabilizado tendo por base as fotografias aéreas é inferior ao apurado no inventário.

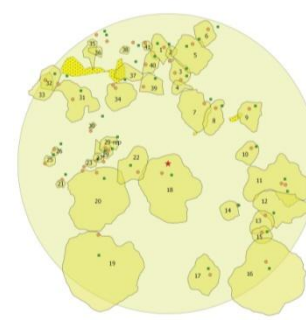
Levantamento de copas em campo com GPS de precisão sub-métrica e contagem de árvores



n=19

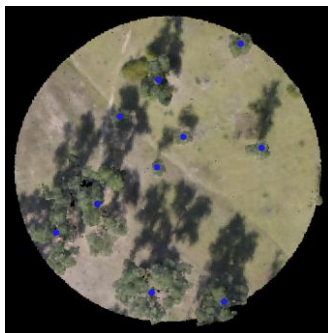


n=33

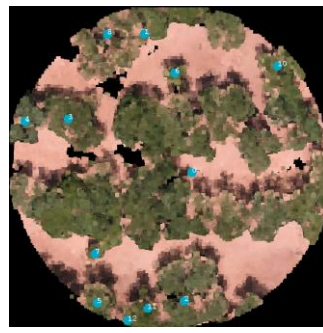


n=40

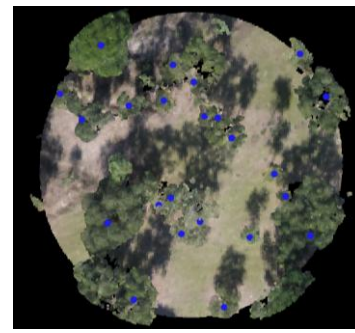
Ortomosaico e contagem de árvores a partir do processamento de fotografia aérea



n=10



n=12



n=23

Figura 8 – Parcela de montado esparso;
n, número de árvores da parcela

Figura 9 – Parcela de montado plantado;
n, nº de árvores da parcela

Figura 10 – Parcela de montado denso;
n, número de árvores da parcela

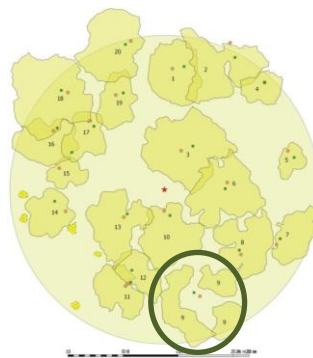


Figura 11 – Árvore com 3 pernas; o ponto cor-de-laranja corresponde à base do tronco

São várias as causas para esta diferença:

- o facto das copas dos sobreiros se sobrepirem; inclusivamente montados classificados como não densos (baixa densidade por hectare) podem ter copas sobrepostas, o que resulta na identificação de várias copas como um único *cluster* (Figura 8);
- a natureza irregular das copas, que dificulta a individualização destas dentro de um *cluster* com várias copas; tal dificulta a utilização de algoritmos de individualização baseados na forma das copas (por exemplo no arredondamento ou inclinação relativa entre copas);

- o facto da copa do sobreiro poder ser de grande dimensão e da regeneração natural se localizar debaixo da copa (resultando na oclusão da regeneração natural pelas copas de grande dimensão, em vista aérea) (Figura 10);
- o facto do sobreiro ser uma árvore podada para ter duas ou três pernadas distintas e que resulta numa copa não contínua, o que, visto de cima, torna difícil, mesmo visualmente, identificar um conjunto de *clusters* como correspondendo a várias pernadas de uma única árvore ou a várias árvores individuais (Figura 11);
- o facto das árvores de menor dimensão (com troncos finos e copas de largura reduzida) serem difíceis de reconstruir com a resolução de fotografia utilizada nestes voos, de 5 cm/pixel.

O erro percentual associado à contagem de árvores, considerando as 19 parcelas, varia entre 10,0 % e 79,2 % sendo mais elevado no estrato montado plantado (Figura 9). No entanto, mais importante do que a densidade de árvores – e portanto, o estrato em que a parcela está inserida - é o facto das copas das árvores se sobreporem. O sobreiro, por ser uma árvore podada, tem uma copa larga e, apesar da densidade dos montados adultos não ser, genericamente, muito elevada, o facto das copas se sobreporem faz com que seja difícil, no algoritmo de processamento desenvolvido, individualizá-las.

Para se analisar o erro associado às estimativas de altura média (determinada por parcela) assumiu-se a localização “real” das árvores, uma vez que estas estavam georreferenciadas. O erro percentual, considerando as 19 parcelas, varia entre 4,1 % e 51,4 % (Figura 12) correspondendo este valor mais elevado a uma parcela com 12 árvores mas em que 6 delas tinham alturas inferiores a 2,5 metros, troncos muito estreitos e larguras de copa muito reduzidas, não tendo sido reconstruídas na nuvem de pontos 3D, e por essa razão, não contabilizadas pelo *software* desenvolvido. Considerando a totalidade das parcelas, o erro médio percentual associado à altura média é de 17,3 %, o que é aceitável.

Quanto ao grau de cobertura, o erro percentual, considerando as 19 parcelas, varia entre 0,0 % e 36,9 % (Figura 13) correspondendo este valor mais elevado a uma parcela em que se verifica a presença de árvores com várias pernadas de dimensões mais reduzidas e formas mais irregulares, que podem ser reconstruídas apenas parcialmente ou ser ignoradas de todo pelo algoritmo de processamento desenvolvido (Figura 14). Considerando a totalidade das parcelas, o erro médio percentual associado ao grau de cobertura é de 13,3 %, o que é aceitável.

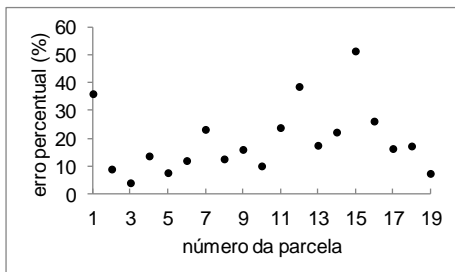


Figura 12 – Erro percentual por parcela para a altura média

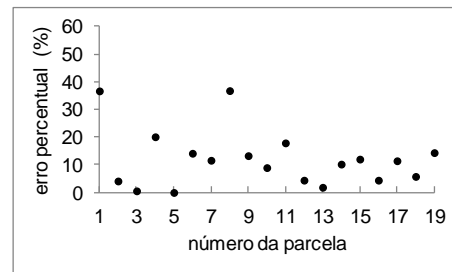


Figura 13 – Erro percentual por parcela para o grau de cobertura



Figura 14 – Áreas das copas levantadas no campo com GPS (A) e resultantes do processamento das imagens (B)

Na análise do estado de fitossanidade das árvores verifica-se que as descolorações na copa das árvores são visíveis nas fotografias (Figura 6) sendo, no entanto, difícil quantificar automaticamente a área de descoloração em



relação ao grau de cobertura: tal é feito pela identificação de pontos nas copas com uma cor RGB na gama dos castanhos. Contudo, nem sempre estas zonas correspondem a folhas com descoloração. Por vezes são partes de troncos ou ramos, e noutros casos, especialmente nas zonas limitrofes das copas, são o resultado da interpolação entre a cor dos pontos de chão (de cor mais acastanhada, especialmente no verão) e outros da copa.

5. Conclusões

Os resultados obtidos com a utilização de VANT no inventário florestal em montado de sobre são muito promissores. No inventário clássico – moroso e oneroso - existem várias fontes de erro associadas sendo uma delas o facto de se medir uma amostra que se pretende representativa da área a analisar. Com os VANT pode-se obter fotografias aéreas de alta resolução a baixo custo considerando a cobertura da totalidade da área. Os resultados deste trabalho evidenciam que ainda existem aspetos a melhorar na utilização dos VANT no inventário florestal, nomeadamente ao nível dos algoritmos de classificação e da otimização do *software* para redução do tempo de processamento, assim como a exploração de imagem multiespectral para uma avaliação mais detalhada do estado fitossanitário.

Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto AGROMAPPER, um projeto de ID&T promovido pela Spin.Works S.A. e pelo Instituto Superior de Agronomia, co-financiado pelo QREN, no âmbito do Programa Operacional Fatores de Competitividade. Ao Eng^o António Gonçalves Ferreira agradecemos todo o apoio e as facilidades concedidas para a realização do inventário e dos voos.

Referências bibliográficas

- Fornace, K.M.; Drakeley, K.J.; William, T.; Espino, F.; Cox, J. (2014). Mapping infectious disease landscapes: unmanned aerial vehicles and epidemiology. *Trends in Parasitology*, 30 (11): 514-519.
- Fritz, A.; Kattenborn, T.; Koch, B. (2013). UAV-based photogrammetric point clouds-tree stem mapping in open stands in comparison to terrestrial laser scanner point clouds. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL, 1, W2.
- Getzin, S.; Nuske, R.S.; Wiegand, K. (2014). Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) to quantify spatial gap patterns in forests. *Remote Sens.*, 6: 6988-7004.
- Getzin, S.; Wiegand, K.; Schöning, I. (2012). Assessing biodiversity in forests using very high-resolution images and unmanned aerial vehicles. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(2): 397-404.
- Inoue, T.; Nagai, S.; Yamashita, S.; Fadaei, H.; Ishii, R.; Okabe, K.; Taki, H.; Honda, Y.; Kajiwara, K.; Suzuki, R. (2014). Unmanned aerial survey of fallen trees in a deciduous broadleaved forest in eastern Japan. *Plos One*, 9(10).
- Lopatin, E.; Hassinen, A. (2014). Application of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for landscape inventory. *Baltic landscape-innovative approaches towards sustainable forested landscapes*. Report nº 25.
- Lundqvist, R. (2014). Vants encontram madeira derrubada pelo vento. *Just Forest*, 1: 18-19.
- Merino, L.; Caballero, F.; Martínez-de-Dios, J.R.; Maza, I.; Ollero, A. (2012). An Unmanned Aircraft System for automatic forest fire monitoring and measurement. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 65 (4): 533-548.
- Paneque-Gálvez, J.; McCall, M.K.; Napoletano, B.M.; Wich, S.A.; Koh, L.P. (2014). Small drones for community-based forest monitoring: an assessment of their feasibility and potential in tropical areas. *Forests*, 5: 1481-1507.
- Snaveley, N.; Seitz, S.; Szeliski, R. (2006). Photo tourism: exploring image collections in 3D. *ACM Transactions on Graphics, Proceedings of SIGGRAPH*.
- Zhang, K.; Chen, S.; Whitman D.; Shyu, M.; Yan, J.; Zhang, C. (2003). A progressive morphological filter for removing nonground measurements from Airborne LIDAR data. *IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing*, 41(4): 872-882.