

ESTIMATIVA DA ALTURA DE DOSEL NA CULTURA DO MILHO POR MEIO DE VANT/DRONE

VINÍCIUS BITENCOURT CAMPOS CALOU¹, ADUNIAS DOS SANTOS TEIXEIRA²,
JOSÉ ADRIANO DA SILVA³, LUIS CLENIO JÁRIO MOREIRA⁴, ODÍLIO
COIMBRA DA ROCHA NETO⁵

¹ Engenheiro Agrônomo, Universidade Federal do Ceará - UFC, Fone: (0XX85) 33669760, vincalou@alu.ufc.br.

² Engo. Agrônomo, Ph.D., Professor Associado IV, Depto. de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza – CE, adunias@ufc.br.

³ Engo. Agrônomo, Depto. de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza – CE.

⁴ Engo. Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Agrícola, IFCE, Limoeiro do Norte – CE.

⁵ Engo. Agrônomo, Doutor, Depto. Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza – CE.

Apresentado no
XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016
24 a 28 de julho de 2016 - Florianópolis - SC, Brasil

RESUMO: Neste trabalho foi objetivado o desenvolvimento de uma metodologia capaz de estimar com precisão a altura das plantas em uma lavoura comercial de milho em duas alturas de voo diferentes, sendo a 30 e 60 metros. Foram realizados dois voos em uma área de irrigação por pivô central na cidade de Limoeiro do Norte, Ceará, utilizando um Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs, em inglês UAV – Unmanned Aerial Vehicle) tipo multirotor quadricóptero, associados a uma câmera pancromática e lente tipo Fish Eye de 12 Mpixels e outra com lente plana, com 16 Mpixels. O processamento das imagens foi realizado em software. Foram realizadas amostragens de altura na área inteira para comparação com os valores provenientes do processamento dos dados com o software. Os resultados demonstraram boa precisão, sendo o voo a 60 metros de altura aquele que mais se aproximou do valor médio obtido em campo. A altura média do dossel medida em campo foi de 2,22 metros, enquanto as médias obtidas pelo voo a 30 e 60 metros, respectivamente, foram 1,90 e 2,10 metros. Os resultados demonstraram que o sensoriamento remoto com VANTs pode ser empregado na estimativa da altura de dossel de plantios.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura de precisão, modelo digital de superfície, veículos aéreos não tripulados.

ESTIMATING CANOPY HEIGHT IN A CORN PLANTATION USING UAV

ABSTRACT: The Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) are considered a promising technology in precision agriculture. This work was aimed at developing a methodology that accurately estimate the height of the plants in a commercial crop of corn in two different flight heights, with 30 and 60 meters. Two flights were carried out in a center pivot sprinkler system area in the city of Limoeiro do Norte, Ceará, using a UAV multirotor quadcopter, associated with a 12 Mpixels panchromatic camera with Fish Eye lenses and a 16 Mpixels with planar lenses. Image processing was carried out image processing software. Samples were collected in the whole area for comparison with the values from the data processing with the software. The results showed good accuracy, and the flight at 60 meters presented better performance, approximating the ground truth values. The average height of the canopy field measurement was 2.22 meters, whereas the averages obtained by the flights 30 and 60 meters, respectively, were 1.90 and 2.10 meters. The results have shown that remote sensing technics allied with UAVs can be used to estimate canopy height in corn plantations.

KEYWORDS: Precision farming, digital elevation model, unmanned aerial vehicles.

INTRODUÇÃO

Os veículos aéreos não tripulados (VANTs) estão sendo empregados como uma tecnologia promissora no monitoramento das lavouras para identificação de pragas e doenças, deficiências nutricionais, déficit hídrico, previsão de safras, monitoramento da erosão do solo (ZHANG et al., 2011). Diversas aplicações para os VANTs vêm sendo desenvolvidas ao longo dos anos, possibilitando uma expansão no mercado e demanda por serviços. Os benefícios em curto prazo destas tecnologias já são notados, e contribuem positivamente para o setor agrícola. Tais mecanismos utilizam ferramentas poderosas na aquisição de imagens aéreas com alta resolução espacial e custos relativamente mais baixos, comparados a outros métodos (HONKAVAARA et al., 2013).

O advento das novas tecnologias possibilitou grandes avanços na área da computação gráfica, disponibilizando no mercado softwares com poderosas ferramentas de manipulação de imagens adquiridas com VANTs. Uma das principais funções de tais softwares é a construção de modelos tridimensionais a partir de informações bidimensionais, onde o princípio fotogramétrico é desenvolvido pela superposição de imagens (ROBERTSON & CIPOLLA, 2009). Os softwares fazem uso de algoritmos, como o Structure From Motion (SfM) (ULLMAN, 1979), que é capaz de reconhecer padrões em fotografias sobrepostas capturadas por uma câmera em movimento em torno de uma cena e alinhá-las. O algoritmo detecta e descreve a característica ou padrão local para cada ponto 2D, fazendo o procedimento para cada imagem onde o padrão é encontrado (QUAN, 2010; FISHER et al., 2013;). Diversos autores realizaram trabalhos que descrevem a estrutura e aplicação do SfM, como Verhoeven et al. (2012) buscando uma metodologia rápida e eficaz para o georreferenciamento de fotografias aéreas; reconstrução topográfica com alta resolução (MANCINI et al., 2013); Como produto deste alinhamento utilizando o algoritmo SfM, tem-se a nuvem esparsa de pontos, que é um modelo 3D com um nível de detalhamento razoável (GOESELE et al., 2007; MURTIYOSO & SUWARDHI, 2011).

Atualmente diversos estudos vêm sendo conduzidos com o objetivo de comprovar a precisão dos produtos gerados pelo processamento das imagens aéreas, demonstrando a grande importância destas novas tecnologias para o campo agrícola (BACHMANN et al., 2013; ZARCO-TEJADA et al., 2014; SIEBERT & TEIZER, 2014). Assim, buscou-se neste trabalho o desenvolvimento de uma metodologia capaz de estimar com precisão a altura das plantas em uma lavoura comercial de milho através de imagens obtidas por meio de VANT, em duas alturas de voo diferentes, sendo a 30 e 60 metros, utilizando princípios de fotogrametria e sensoriamento remoto, bem como as câmeras utilizadas (GoPro Hero 4 Silver – fish eye e Ricoh GRLENS – plana).

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em um recorte dentro de uma área de plantio comercial de milho (AG 1051, Agrocere®) com 100 hectares irrigados por pivô central, na cidade de Limoeiro do Norte, Ceará, geograficamente a 5°12,771' S e 38°1,388' W, distante 198 km de Fortaleza, em outubro de 2015. O milho AG1051 é indicado para silagem da planta inteira e colheita do milho verde. A missão ocorreu no período da colheita, aos 74 dias após o plantio, nos dias 16 e 17 de outubro de 2015, onde se realizou um voo no primeiro dia e dois no segundo.

Utilizou-se um veículo aéreo não tripulado (VANT), fabricados pela DJI Innovations: Phantom 2. A linha Phantom está categorizada dentro dos veículos multirrotores (Quadrirrotor), com autonomia de voo aproximada de 15 minutos (Bateria com capacidade de 5200mAh e tensão de 11.1V). A definição da área do voo foi estabelecida em campo com o

auxílio do software Ground Station, onde foi possível programar o voo do VANT, definir a altura de voo desejada e a velocidade.

No primeiro dia foi utilizado o Phantom 2 equipado com uma câmera Ricoh GRLENS de 16 megapixels e distância focal de 18,3mm. A superposição foi de 65% lateral e 85% frontal, com velocidade horizontal de 5 m/s e altura de 60 metros. O voo cobriu uma área de aproximadamente 5,1 ha (161m x 316m).

No segundo dia, empregou-se o mesmo VANT equipado com uma câmera GoPro Hero 4 Silver fish-eye, 12 megapixels e distância focal de 2,8 mm. Ocorreram dois voos com altitudes diferentes neste dia, sendo o primeiro 60 m (aproximadamente 5,1 ha 161 m x 316 m) e o segundo a 30 m (cobrindo uma área de 1 ha 100 m x 100 m). A superposição das imagens foi de 65% lateral e 85% frontal, com velocidade horizontal de voo de 5 m/s.

Antes da realização dos voos, distribuíram-se na área de estudo nove placas de controle, feitas de cerâmica, utilizadas para realizar o georreferenciamento do modelo digital. As coordenadas de cada placa de controle foram obtidas utilizando sistemas GNSS Trimble® R4 (correção em tempo real – RTK) e ProMark3 Magellan® (dados pós processados), com precisão milimétrica, respectivamente no primeiro e segundo dia da missão.

Para o processamento das imagens empregou-se um computador com processador Intel Core™ i7-3770 de 3.40GHz, com memória RAM de 8 GB, Sistema Operacional Windows 8, 64 bits. Utilizou-se o software PhotoScan, da Agisoft, por sua fácil interface, acesso e popularidade em trabalhos desta natureza. O processamento se divide em sete etapas, sendo 1ª - importação das imagens aéreas (fotografias) 2ª - Alinhamento das imagens 3ª - Calibração da câmera 4ª - Criação da malha e georreferenciamento 5ª - Geração da Nuvem Densa de Pontos 6ª - Geração da Ortofoto e exportação dos relatórios 7ª - Exportação dos pontos da nuvem. O software ainda permite a texturização do modelo 3D, bem como outras opções de fluxo de trabalho.

O dossel do híbrido de milho AG1051 possui a característica de ser bastante uniforme, facilitando as amostragens das alturas das plantas em campo. Foram realizadas um total de oito medições de alturas de plantas aleatórias na área no primeiro e segundo dia de missão.

O erro de altura foi realizado comparando o valor de altitude do GNSS utilizado para o georreferenciamento do modelo e o valor de altitude encontrado pelo software a partir da nuvem densa de pontos. Os pontos para o cálculo do erro foram justamente sobre as placas de cerâmica utilizadas para o georreferenciamento do modelo, provindos da nuvem densa de pontos, onde ocorreu a coleta dos dados geográficos.

Os dados da nuvem densa de pontos foram submetidos a um agrupamento em classes de altura para possibilitar a sua leitura e manipulação. Para este processo, foi empregada uma programação em C++, diminuindo-se assim a quantidade de dados repetitivos. Calculou-se ainda a média de altitudes e o desvio padrão das nuvens de pontos para os dados obtidos nas três voos, para avaliar a dispersão dos dados em torno do valor médio de altura. Adicionou-se uma coluna com informações da frequência de aparecimento de cada classe de altura para posteriormente gerar um histograma.

Este histograma relacionando as altitudes dos pixels com a frequência em que eram identificadas se revelou importante para identificar as altitudes mais frequentes, sendo atribuídas a altitude do stand da cultura do milho e a altitude do solo descoberto. Foi realizado um teste de probabilidade com o objetivo de identificar as classes de altitudes que se localizavam entre 0,5% e 99,5%, desconsiderando as classes fora deste intervalo, por serem considerados valores discrepantes. A amplitude das classes de altitudes foi calculada pela diferença entre os valores de altitude em 99,5% e 0,5% de frequência.

A diferença entre a altitude das plantas e a altitude do solo descoberto resultou na altura média das plantas e foi comparada com as amostragens de altura das plantas em campo.

A estimativa da altura das plantas de milho foi feita a partir de três estratégias de coleta de dados e confrontadas com os valores obtidos pela amostragem em campo das alturas. As estratégias supracitadas estão descritas abaixo:

- Voo 1: Phantom equipado com Câmera Ricoh GRLENS 18,3; 16 MPixels, processamento no software PhotoScan, aos 60 metros de altura, Georreferenciamento com GNSS Trimble® R4;

- Voo 2: Phantom equipado com Câmera GoPro Hero 4 Silver; 12 MPixels, processamento no software PhotoScan, aos 60 metros de altura, Georreferenciamento com ProMark3 Magellan®;

- Voo 3: Phantom equipado com Câmera GoPro Hero 4 Silver; 12 MPixels, processamento no software PhotoScan, aos 30 metros de altura, Georreferenciamento com ProMark3 Magellan®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Abaixo, na Tabela 1, são demonstrados os valores das alturas das plantas medidas em campo, totalizando em oito amostras dentro de uma área de 1 hectare.

TABELA 2. Altura das plantas nas amostragens realizadas em campo. **Plant height in samples taken in the field.**

Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	Média
Altura da planta (m)	2,2	2,02	2,3	2,3	2,26	2,2	2,34	2,15	2,22

Neste trabalho foram encontrados erros de altura abaixo de 0,26 metros, conforme Tabela 2. Zarco-Tejada et al., (2014), buscaram avaliar a qualidade de reconhecimento de alturas de plantas (Oliveiras) utilizando uma câmera de baixo custo. Os autores encontraram uma alta correlação ($R^2 = 0,83$) entre os dados provenientes da nuvem de pontos e as medições de altura em campo, além de um erro estimado abaixo de 0,5 metros, demonstrando as grandes possibilidades de precisão do método de reconstrução de modelos digitais de elevação utilizando VANTs. Na Figura 1 são ilustrados os modelos digitais de elevação dos três voos realizados.

TABELA 2. Erros médios de altura provenientes dos dados das nuvens densa de pontos e desvio padrão. **Height errors from dense point clouds and standard deviation.**

Voo	Amplitude de altura (m)	Erro de altura (m)	Desvio Padrão (m)
1	2,659	0,03	0,77
2	2,598	0,25	0,75
3	3,189	0,26	0,94

Amplitude de altura: Altura com 99,5% de frequência de observação menos altura com 0,5% de frequência de observação. Erro de altura: Diferença entre a altitude do GNSS sobre a placa de controle de campo e a altitude do mesmo ponto provindo da nuvem densa de pontos.

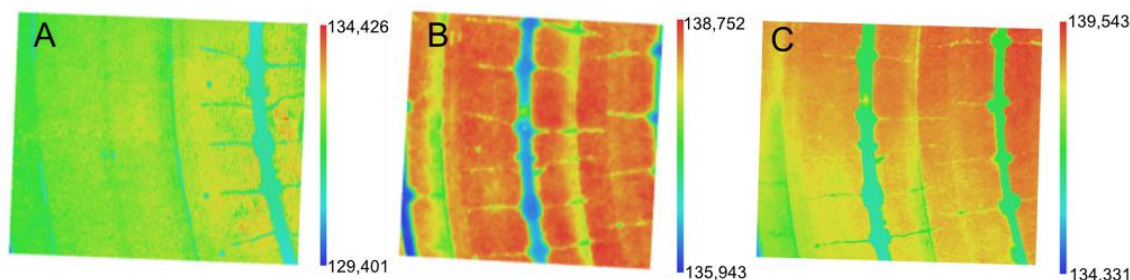


FIGURA 1. Modelos digitais de elevação (m) gerados pelo software PhotoScan. Sendo A - Voo 1; B - Voo 2; C - Voo 3. **Digital elevation models generated by PhotoScan software. A - Flight 1; B - Flight 2; C - Flight 3.**

As amplitudes das altitudes foram calculadas excluindo os valores extremos (0,5% e 99,5%) considerados no modelo da nuvem de pontos. A altura média do stand da cultura do milho (amostragem de campo) obtida foi de 2,22 metros, indicando uma grande aproximação dos valores gerados pela nuvem, estando, no entanto, abaixo dos valores encontrados por Zarco-Tejada et al., (2014), que foi de 0,5 m.

O erro de altura foi encontrado comparando-se os valores de altitude do GNSS com os valores de altitude da nuvem de pontos justamente em cima do ponto de controle (placas de cerâmica - GCPs). O Voo 1, realizado com imagens da câmera Ricoh GRLENS e Georreferenciamento com GNSS Trimble® R4, apresentou um valor de erro baixo, comparável a Siebert & Teizer (2014) ao realizarem testes para estimar a precisão da altura, resultando em 0,025 metros utilizando o *PhotoScan*. A qualidade do georreferenciamento, bem como a precisão do aparelho utilizado é fator crucial para a construção precisa do modelo 3D.

Na Figura 2 observam-se as frequências de ocorrência das altitudes (A, C e E) e as suas respectivas probabilidades (B, D e F) de ocorrência. As figuras do teste de probabilidade foram importantes para a compreensão da construção da nuvem de pontos. Visando a exclusão de valores discrepantes, os dados de altitude com probabilidade inferior a 0,5% e superior a 99,5% foram excluídos da análise, reduzindo a variância dos valores em torno da média. A análise dos dados do teste de probabilidade (altitude dos pixels da nuvem de pontos que representavam a altura das plantas) mostrou-se coerente quando comparada com os valores de alturas das plantas obtidas em campo.

Após o agrupamento dos dados feito em C++, as altitudes repetidas ou muito próximas foram agrupadas em classes, para facilitar a compreensão e leitura dos dados. Os gráficos de Alturas x Frequência indicam a quantidade de vezes que determinada altitude da nuvem densa de pontos foi identificada em uma classe. Inferem-se destes gráficos valores de picos maiores e menores, dedutivamente sendo os valores de alturas que mais se repetem na nuvem de pontos, interpretados como sendo o solo descoberto e a altura das plantas.

Os picos observados no Gráfico A estão mais próximos entre si, revelando a pequena amplitude entre os valores, enquanto o padrão do Gráfico E apresentou-se diferenciado, com quatro picos bem definidos. A razão deste comportamento pode estar relacionada ao nível de detalhamento maior, por conta da baixa altitude de voo (30 metros), sendo identificadas com maior precisão outras classes de altitudes de pixels, podendo ser folhas intermediárias, em contraste com os demais gráficos. Na Tabela 3 são evidenciados os valores de altura das plantas calculados a partir da nuvem densa de pontos.

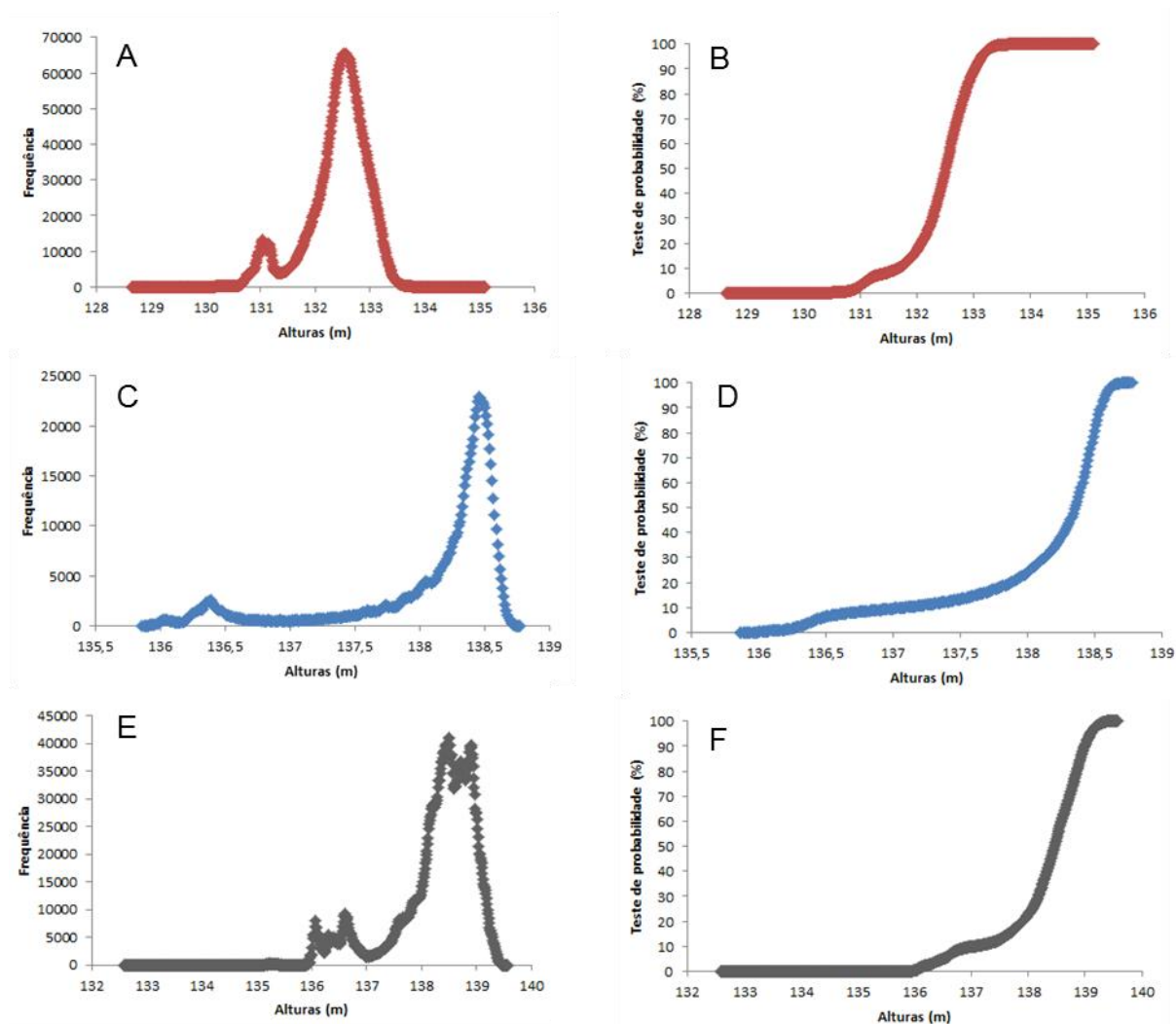


FIGURA 2. Frequência e probabilidade de altitudes. A e B - Processamento do Voo 1; C e D – Processamento do Voo 2; E e F - Processamento do Voo 3. **Frequency and probability of altitudes. A and B - Flight 1; C and D - Flight 2; E and F - Flight 3.**

TABELA 3. Altitude a partir do teste de probabilidade e identificação dos valores mais frequentes no histograma de altitudes. **Heights probability test and identifying the most frequent values in the histogram of heights.**

Voo	$H_{0,5\%}$ (m)	$H_{99,5\%}$ (m)	Pico maior (m)	Pico menor (m)	ΔH (m)	Erro (m)
1	130,754	133,413	132,533	131,034	1,499	0,701
2	136,062	138,660	138,461	136,392	2,069	0,131
3	136,034	139,223	138,503	136,604	1,899	0,301

$H_{0,5\%}$ - Classe de altura em 0,5%; $H_{99,5\%}$ - Classe de altura em 99,5% do teste de probabilidade; ΔH – Diferença de altura entre o maior e o menor pico de classes de altitude.

Os valores de erro acima foram obtidos pela subtração entre a altura das plantas de milho medidas em campo e a altura média obtida com o processamento dos pontos. Os valores da diferença de altitude (ΔH) encontrados na Tabela 3 podem ser comparados à altura média do milho estimada em campo (2,22 m), sendo o processamento do Voo 2 aquele que

mais se aproximou do valor medido em campo.

CONCLUSÕES

O erro de altura encontrado (abaixo de 0,26 metros) pode ser considerado aceitável, com base em trabalhos de mesma natureza. O Voo 1 (Câmera Ricoh GRLENS 18,3; 16 MPixels, aos 60 metros de altura, Georreferenciamento com GNSS Trimble® R4) apresentou o menor erro (0,03 metros). Conclui-se que a qualidade e precisão dos dados de altitude gerados estão diretamente correlacionadas com a precisão do sistema GNSS utilizado no levantamento.

A comparação da altura média do dossel encontrado a partir da nuvem densa de pontos do Voo 2 (Phantom equipado com Câmera GoPro Hero 4 Silver; 12 MPixels, aos 60 metros de altura, Georreferenciamento com ProMark3 Magellan®) com as alturas das plantas amostradas em solo, foi o tratamento que mais se aproximou da altura real das plantas (13 centímetros de erro), sendo recomendável tais condições para identificação de altura de dossel.

A metodologia proposta se mostrou precisa na estimativa da altura de dossel do milho, podendo ser recomendada para trabalhos com outras espécies, como florestais e frutíferas.

REFERÊNCIAS

- HONKAVAARA, E.; SAARI, H.; KAIVOSOJA, J.; PÖLÖNEN, I.; HAKALA, T.; LITKEY, P.; ... & PESONEN, L. Processing and assessment of spectrometric, stereoscopic imagery collected using a lightweight UAV spectral camera for precision agriculture. *Remote Sensing, Finland*, v. 5, n. 10, p. 5006-5039, oct 2013. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2072-4292/5/10/5006/htm>> Acesso em: 10 dez. 2015. doi: 10.3390/rs5105006
- ROBERTSON, D. P.; CIPOLLA, R. Structure from motion. *Practical image processing and computer vision*. John Wiley, Hoboken, NJ, USA, p. 49, 2009.
- ULLMAN, S. The interpretation of structure from motion. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, v. 203, n. 1153, p. 405-426, 1979. Disponível em: <<http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/203/1153/405.short>>. Acesso em: 17 dez. 2015.
- QUAN, L. *Image-based modeling*. Springer Science & Business Media, 2010.
- FISHER, R. B. et al. *Dictionary of computer vision and image processing*. John Wiley & Sons, 2013.
- MURTIYOSO A. D.; SUWARDHI D. A comparison of sparse and dense point approach to photogrammetric 3d modeling for stone textured objects (case study: archeological sites). In: *10th Annual Asian Conference & Exhibition on Geospatial Information, Technology & Applications*. Indonesia: Asia Geospatial Forum, 2011. p. 1-8. Disponível em: <http://www.asiageospatialforum.org/2011/proceeding/pps/arnadi_AGF.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2015.
- GOESELE, M.; SNAVELY, N.; CURLESS, B.; HOPPE, H.; & SEITZ, S. M. Multi-view stereo for community photo collections. In: *Computer Vision, 2007. ICCV 2007. IEEE 11th International Conference on*. IEEE, 2007. p. 1-8. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4408933>. Acesso em: 17 dez. 2015. doi: 10.1109/ICCV.2007.4408933
- VERHOEVEN, G.; DONEUS, M.; BRIESE, C.; & VERMEULEN, F. Mapping by matching: a computer vision-based approach to fast and accurate georeferencing of archaeological aerial

photographs. *Journal of Archaeological Science*, v. 39, n. 7, p. 2060-2070, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440312000866>>. Acesso em: 17 dez. 2015. doi:10.1016/j.jas.2012.02.022

MANCINI, F.; DUBBINI, M.; GATTELLI, M.; STECCHI, F.; FABBRI, S.; & GABBIANELLI, G. Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for high-resolution reconstruction of topography: The structure from motion approach on coastal environments. *Remote Sensing*, v. 5, n. 12, p. 6880-6898, 2013. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2072-4292/5/12/6880/htm>>. Acesso em: 17 dez. 2015. doi:10.3390/rs5126880

BACHMANN, F.; HERBST, R.; GEBBERS, R.; & HAFNER, V. V. Micro UAV based georeferenced orthophoto generation in VIS+ NIR for precision agriculture. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, p. 11-16, 2013. Disponível em: <<http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-1-W2/11/2013/isprsarchives-XL-1-W2-11-2013.pdf>>. Acesso em: 27 dez. 2015.

ZARCO-TEJADA, P. J.; DIAZ-VARELA, R.; ANGILERI, V.; & LOUDJANI, P. Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. *European journal of agronomy*, v. 55, p. 89-99, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030114000069>>. Acesso em: 18 dez. 2015. doi:10.1016/j.eja.2014.01.004

SIEBERT, S.; TEIZER, J.. Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. *Automation in Construction*, v. 41, p. 1-14, 2014. . Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580514000193>>. Acesso em: 27 dez. 2015. doi:10.1016/j.autcon.2014.01.004

MURTIYOSO A. D.; SUWARDHI D. A comparison of sparse and dense point approach to photogrammetric 3d modeling for stone textured objects (case study: archeological sites). In: 10th Annual Asian Conference & Exhibition on Geospatial Information, Technology & Applications. Indonesia: Asia Geospatial Forum, 2011. p. 1-8. Disponível em: <http://www.asiageospatialforum.org/2011/proceeding/pps/arnadi_AGF.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2015.

GOESELE, M. et al. Multi-view stereo for community photo collections. In: *Computer Vision, 2007. ICCV 2007. IEEE 11th International Conference on. IEEE, 2007.* p. 1-8. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4408933>. Acesso em: 17 dez. 2015.

ZHANG, J., LV, Y., HAN, C., LI, D., YAO, Z., & JIANG, X. New reflectance spectral vegetation indices for estimating rice nitrogen nutrition iii: development of a new vegetation index based on canopy red-edge reflectance spectra to monitor rice canopy leaf nitrogen concentration. *Sensor Letters*, 2011. 9(3), 1201-1206. Disponível em: <<http://www.ingentaconnect.com/content/asp/senlet/2011/00000009/00000003/art0004>>. Acesso em: 17 dez. 2015.