# PROCESSAMENTO FOTOGRAMÉTRICO DIGITAL POR *STRUCTURE FROM MOTION* DE IMAGENS OBTIDAS EM VOOS DE DIFERENTES ALTURAS SOBRE O SOLO

*Luiz Fernando dos Santos* [1], *Carlos Henrique Grohmann* [2]

[1]Instituto de Geociências, Rua do Lago, 562, Universidade de São Paulo – São Paulo (SP), lfsantos.geo@usp.br; [2]Instituto de Energia e Ambiente, Avenida Prof. Luciano Gualberto, 1289, Universidade de São Paulo – São Paulo (SP), guano@usp.br

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar o processamento fotogramétrico por *Structure from Motion*, em pacote de *software* comercial (*AgiSoft PhotoScan Professional*), de voos realizados em diferentes alturas constantes sobre o solo de uma mesma área de interesse. Fotografias aéreas obtidas por dois voos, em diferentes alturas, porém constantes, coletados seguidamente, foram processados separadamente e combinados no *software* por ferramentas próprias. Os resultados foram comparados e analisados com aqueles obtidos pelo processamento conjunto entre os voos.

***Palavras-chave*** *— Structure from Motion*, fotogrametria, Agisoft PhotoScan Pro, processamento de imagens aéreas.

## *ABSTRACT*

*The purpose of this paper is to assess the photogrammetric processing by Structure from Motion of digital images obtained by flights at different but constant height above ground, on a commercial software package (AgiSoft PhotoScan Professional) of the same area of interest. Two flights at different heights were responsible for individual aerial image sets collected concomitantly and thus processed separately and combined in software by specific tools. Then, these results were compared and analyzed with those obtained by processing both sets together.*

***Key words*** *— Structure from Motion, photogrammetry, Agisoft PhotoScan Pro, aerial image processing.*

## 1. INTRODUÇÃO

As geotecnologias para geociências estão associadas na caracterização, avaliação e solução de problemas decorrentes da ocupação humana do meio físico [1], [2].

Seu uso tem se tornado mais frequente pela facilidade e rapidez para coleta de dados geoespaciais promovidas pelos avanços recentes da tecnologia. Como exemplo, a adoção da prática de prover informações geoespaciais *online* para avaliação e resposta a desastres pelo governo japonês, inclusive utilizando aeronaves remotamente pilotadas para a coleta de dados e construção de modelos 3D em subsídio a mitigação e prevenção de riscos e a resposta e recuperação de áreas afetadas [3]. O emprego deste tipo de tecnologia para identificação e análise de sinais de instabilidade, acompanhamento e derivação de produtos georreferenciados, representa um significativo passo tecnológico que, apesar de suas limitações, traz benefícios inerentes em detrimento de outras maneiras de captura de dados.

A utilização integrada das geotecnologias permite visualizar informações em áreas específicas em detalhe utilizando dados e modelos 3D, fotografias aéreas ortorretificadas e fotografias oblíquas, com geração de curvas de nível e de modelos digitais de alta resolução.

Parte principal no fluxo de trabalho aerofotogramétrico é o processamento das imagens aéreas adquiridas. As configurações de voo podem refletir diretamente na forma de processar os dados e também em sua qualidade e resolução. Em áreas com diferenças altimétricas significativas, comuns em áreas suscetíveis a processos de movimentos gravitacionais de massa, como os deslizamentos por exemplo, diferentes abordagens de sobrevoo podem ser realizadas (Figura 1), dependentes da plataforma aérea, planejamento de voo e das condições locais.

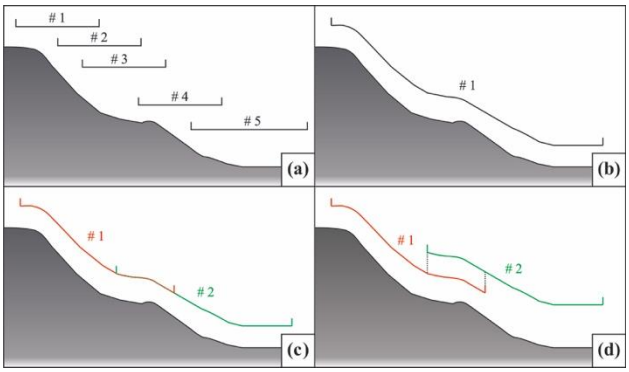


**Figura 1. Configurações de voo para obtenção de resolução e sobreposição quase uniformes em terrenos desnivelados: (a) múltiplos voos em sobreposição; (b) voo único seguindo o terreno; (c) voos em sobreposição seguindo o terreno e (d) voos em diferentes alturas em sobreposição e seguindo o terreno (elaborado pelos autores).**

Este trabalho objetiva analisar o processamento de imagens obtidas em uma das configurações de sobrevoo (Figura 1.d), comparando processamento individual dos voos #1 e 2, alinhados e juntados pelo *software* de processamento, com processamento único dos voos #1 e #2.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A plataforma utilizada foi o veículo aéreo não tripulado (VANT) DJI Phantom 4 com receptor GNSS de navegação embarcado (GPS e GLONASS), com precisão variando entre 1 e 10 m. A plataforma tem sensor integrado, câmera fotográfica RGB de 12,4 MP de resolução, com estabilização fornecida por mecanismo de compensação em três eixos (*gimbal*), responsável por estabilizar a câmera na posição de planejamento ou em nadir, por exemplo. Um resumo das principais características da plataforma e sensor consta da Tabela 1 [4]. A resolução (*Ground Sample Distance* – GSD) estimada e cobertura imageada em terreno para as alturas de voo sobre o solo de 50m e 60m podem ser vistas na Figura 2 [5].

A localização nos VANTs é resolvida, na maior parte das vezes, com base em sistemas de posicionamento por satélites, como o GPS e GLONASS de navegação. Além disso, outros sensores são empregados na finalidade como as Unidades de Medições Inerciais (IMUs, do inglês *Inertial Measurement Units*) e dos sensores de bússola, que combinados fornecem uma estimativa de localização global do VANT, permitindo posicionamento em falhas temporárias do GPS. O posicionamento por satélites é sujeito a imprecisões, falhas e degradação do sinal e também não pode ser utilizado para o posicionamento em relação a objetos, de forma que, como mitigação, ocorre a integração de múltiplos sensores para a estimativa de posições [6].

**Tabela 1. Principais especificações da plataforma aérea e sensor utilizados.**

| **Plataforma aérea – DJI Phantom 4** | |
|---|---|
| **Alcance** | 5000 m |
| **Autonomia** | 28 min |
| **Peso** | 1,38 kg |
| **Tamanho (diagonal)** | 350 mm |
| **Velocidade** | 72 km/h |
| **Sistemas GNSS** | GPS e GLONASS |
| **Sensor integrado – câmera RGB** | |
| **Sensor** | 1/2,3" CMOS |
| **Resolução** | 14,4 MP efetivo |
| **Lente** | *Field of View* 94° - 20mm f/2.8 no infinito |
| **ISO** | 100-1600 |
| **Obturador Eletrônico** | 8 - 1/8000 s |
| **Tamanho da Imagem** | 4000 x 3000 pixel |

A falta de precisão do posicionamento e orientação das imagens pelo sistema embarcado de navegação é mitigada durante o processamento. Dependendo do tipo de aplicação da fotogrametria aérea podem-se utilizar apenas as informações do GPS de navegação uma vez que a acurácia pode chegar até 2m em imagens de baixa-altura.

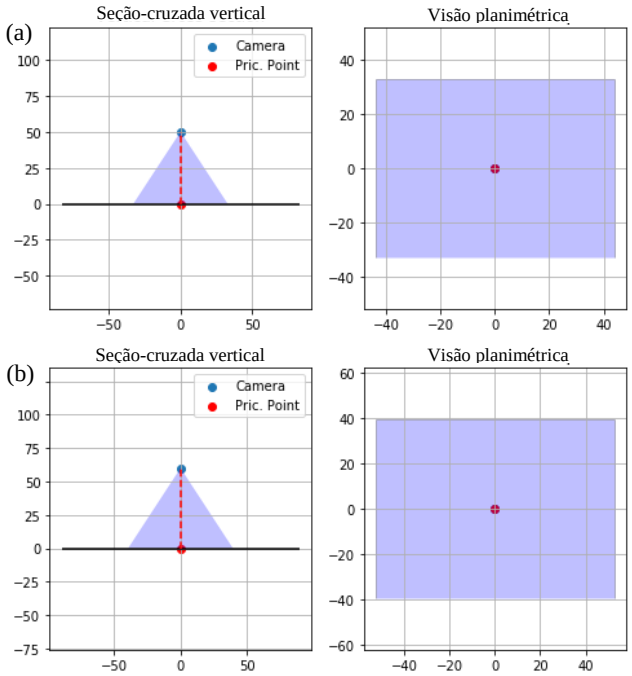


**Figura 2. (a) cobertura a uma altura de voo sobre o solo de 50m: 5.738m² com GSD teórico de 2,19 cm/pix; (b) e para uma altura de 60m: 8.263m² de cobertura estimada e GSD teórico de 2,63 cm/pix.**

Já para o processamento com pontos de apoio considera-se que a acurácia alcança entre 0,05 e 0,2m, dependente do GSD das imagens (da altura sobre o solo de voo) [7].

As aquisições das imagens aéreas, realizadas por meio da plataforma aérea e sensor discriminados, ocorreram mediante planejamento de missão de voo prévio, por meio de aplicativo especializado (Figura 3).

O aplicativo utilizado, MapPilot da DronesMadeEasy [8], permite a inserção de um MDE, através da função *Terrain Awareness* que utiliza dados da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) de 30 m/pixel, para que a altura sobre o solo em terrenos desnivelados seja aproximadamente constante. O planejamento de voo considera as informações do terreno para os blocos fotogramétricos e linhas de voo automaticamente. Assim, permite uma resolução e sobreposição entre imagens aproximadamente constante, gerando uma aquisição de dados consistente mesmo em terrenos declivosos ou irregulares, como aqueles suscetíveis a movimentos de massa.

Os conjuntos de imagens foram processados no *software* comercial Agisoft PhotoScan Professional [9]. Este programa representa o pacote de soluções fotogramétricas por *Structure from Motion* e *Multiview Stereo* (SfM-MVS) mais acessível comercialmente atualmente. Sua solução é completa em termos de fluxo de trabalho SfM-MVS e bastante utililizado para aplicações em geociências [10].

SfM-MVS é uma técnica fotogramétrica, que como a fotogrametria convencional, objetiva gerar medidas 3D. No entanto, o SfM utiliza um conjunto de algoritmos das ciências de visão computacional que facilitam a extração de medidas de imagens bidimensionais, quando sobrepostas umas às outras e tomadas de diferentes orientações e posições, através da detecção e alinhamento automático de feições em múltiplas imagens para triangular suas posições e gerar nuvens de pontos em três dimensões. Também é conhecido como fotogrametria de múltiplas visadas ou *multi-view photogrammetry* [11], [12].

A técnica pode ser resumida em múltiplas exposições da área de interesse tomadas em diferentes posições com uma câmera digital gerando as imagens digitais. Um identificador e descritor analisa o conjunto de imagens identificando os pontos de feições em comum suficientes para estabelecer relações espaciais entre as localizações das imagens originais em um sistema arbitrário de coordenadas 3D [13]. O descritor mais comum utilizado é o *Scale Invariant Feature Transform* (SIFT), proveniente da visão computacional, é essencial para a calibração da câmera, registro entre as imagens, reconhecimento de objetos e sua reconstrução tridimensional [14].

Todos os processamentos seguiram o seguinte procedimento metodológico, interno ao Agisoft PhotoScan Pro: criação de um bloco de trabalho (*chunk*), adição das fotografias por voo e em conjunto, separados pelos blocos, conversão das coordenadas para as de projeto, remoção das fotografias desfocadas, identificação (descritor SIFT) e correspondência entre pontos (pontos homólogos), alinhamento entre pares de fotografias áreas, reconstrução da geometria e *bundle adjustment* (*optimize*) para melhoria da geometria 3D do modelo gerado.

## 3. RESULTADOS

Foram realizados dois voos na data de 11/10/2017, onde foram capturadas 155 fotografias no total, a partir do DJI Phantom 4. O primeiro voo (voo #1) foi configurado a uma altura sobre o solo de 50m (GSD teórico de 2,19 cm/pix) e o segundo (voo #2) a 60m (GSD teórico de 2,63 cm/pix), com recobrimento suficiente entre eles para que houvesse possibilidade de processamento conjunto, único.

O aplicativo de planejamento e controle de voo utilizado foi o MapPilot da Drones Made Easy, por permitir voos com altura sobre o solo quase constante devido à possibilidade de se utilizar MDE para alinhar o voo ao terreno (Figura 4).

As imagens foram obtidas em formato RAW (DNG), cuja característica principal é a de não ter nenhuma compressão, preservando a qualidade e tornando os arquivos como referência. Em seguida ocorreu conversão para JPG para facilitar a manipulação e processamento.

Os voos foram processados no software Agisoft PhotoScan Professional, com os parâmetros de entrada padronizados e recomendados no manual do desenvolvedor,

**Figura 3. (a) planejamento de voo em escritório por meio de aplicativo para dispositivo móvel (captura de tela do MapPilot); (b) conferência, em campo, pré-voo dos parâmetros para aquisição de dados (foto: José Fernando P. dos Santos).**

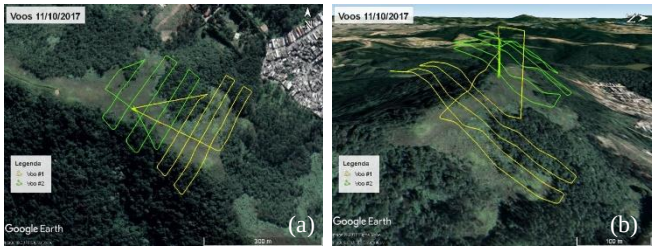


**Figura 4. Rastreamento do VANT com base nos voos realizados para aquisição de imagens aéreas da área de pesquisa em (a) visão em planta e (b) obliqua (imagens: Google Earth).**

da seguinte forma: separados em (1) voo #1 e (2) voo #2, com posterior (3) alinhamento (*align*) e junção (*merge*) dentro do *software* por ferramentas próprias e, por fim, (4) em um único processamento dos voos #1 e #2, combinados. Os resultados estão sumarizados na Tabela 2.

## 4. DISCUSSÃO

Ao comparar os voos #1 e #2 de diferentes alturas observa-se o aumento do erro de reprojeção com o aumento da altura média sobre o solo. Este comportamento é esperado uma vez que as feições do terreno são menos reconhecidas em cada imagem aérea fazendo com que a busca por pontos homólogos pelo identificador e descritor SIFT seja dificultada. Com o aumento da altura do voo ocorre o esperado aumento do valor da resolução GSD e do erro total de posicionamento (considerando o GNSS embarcado).

O Agisoft PhotoScan Pro calcula o GSD para cada um dos casos, como pode ser visto pelos valores de resolução média para cada um dos processamentos. Os valores são ligeiramente diferentes entre o processamento por alinhamento e junção (*align* e *merge*) dos individuais, realizados por uma ferramenta própria ao software e o processamento único. Os valores obtidos pela junção se aproximam mais de uma média aritmética do que os obtidos pelo processamento único.

Em termos de pontos válidos encontrados, o processamento único leva vantagem numérica, 173.435 pontos, por não depender dos processamentos individuais, onde as fotografias aéreas são analisadas pelo *software* em sua totalidade, contra os 169.166 pontos válidos do processamento individual seguido de junção.

**Tabela 2. Comparação entre processamentos automáticos no Agisoft PhotoScan Professional dos voos #1 e #2 realizados em alturas sobre o solo diferentes, com sobreposição entre eles.**

| Propriedades | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| Altura média sobre o solo (m) | 60,6 | 88,5 | 71,9 | 71,4 |
| GSD médio (cm/pix) | 2,67 | 3,77 | 3,12 | 3,07 |
| Câmeras alinhadas/total | 88/95 | 60/60 | 148/155 | 148/155 |
| Pontos homólogos válidos/total | 83.374/ 87.288 | 85.792/ 89.742 | 169.166/ 177.030 | 173.435/ 181.727 |
| Projeções | 191.266 | 201.914 | 393.180 | 404.657 |
| Erro reprojeção RMS (pix) | 0,32 | 0,53 | 0,44 | 0,46 |
| Erro reprojeção máx. (pix) | 7,38 | 16,58 | 16,58 | 17,10 |
| Georreferenciamento (GNSS de navegação embarcado) | | | | |
| Erro total (m) | 1,26 | 2,30 | 1,77 | 1,85 |
| Erro X (m) | 0,56 | 1,01 | 0,75 | 0,80 |
| Erro Y (m) | 1,01 | 1,70 | 1,33 | 1,37 |
| Erro Z (m) | 0,52 | 0,95 | 0,90 | 0,95 |

[1]voo #1; [2]voo #2; [3]alinhamento (*align*) e junção (*merge*) dos voos #1 e #2 no *software*; [4]processamento único dos voos #1 e #2.

O erro posicional entre os processamentos não varia significativamente, considerando o erro do GNSS embarcado. Como esperado os erros são menores quanto menor a altura de voo sobre o solo e se aproximam de uma média ao juntar ou processar as imagens.

## 5. CONCLUSÕES

Não ocorrem diferenças significativas entre o processamento individual para os diferentes voos, com posterior alinhamento seguido de junção *in software*, e o processamento único ou combinado dos voos. No entanto, em termos de processamento único, o número de pontos válidos é maior e a resolução ligeiramente menor.

As diferenças entre os erros de reprojeção (RMS e máximo) produzidos para as duas formas de processamento podem ser devido ao número diferente de pontos homólogos válidos identificados, com a tendência a ser maior no processamento único, que também tem maior número de pontos válidos.

Desta forma, em casos de aquisições aéreas distintas a diferentes alturas constantes de voo sobre o solo, desde que tenham recobrimento suficiente, os dados sugerem que o processamento dos conjuntos de imagens obtidas por diferentes voos seja único, otimizando a etapa de processamento.

## 6. AGRADECIMENTOS

À FAPESP (proc. #2016/006628-0) pelo apoio financeiro, à Defesa Civil de São Paulo/Perus pelo suporte em campo, ao SGB-CPRM pelo apoio a L.F.S. e ao pessoal do SpamLab (IEE-USP) pelas discussões e suporte em campo. C.H.G. é bolsista de Produtividade CNPq (307647/2015-3).

## 7. REFERÊNCIAS

[1] Rosa, R. "Geotecnologias na geografia aplicada". *Revista do Departamento de Geografia*, v.16, pp.81-90, 2005.

[2] Bitar, O.Y.; Iyomasa, W.S. e Cabral Jr., M. "Geotecnologia: tendências e desafios", *São Paulo Perspectiva*. v.14, n.3, 2000.

[3] GSI-DCG Geospatial Information Authority of Japan, Geospatial Information Department Disaster Countermeasures Group Responses of Geospatial Inf. Dept. to the 2016 Kumamoto Quake. 2016 Disponível em: <http://www.gsi.go.jp>, 2017.

[4] DJI DJI – The future of possible. Disponível em: <http://www.dji.com/>. Acesso em: 15 out. 2018.

[5] Dietrich, J. offNadir_resolution_v1-0.py. Disponível em: <https://github.com/geojames/ py_offNadir_Res>. Acesso em: 09 mai. 2018.

[6] Merino, L.; Caballero, F.; Forssen, P.; Wiklund, J.; Ferruz, J.R.; Martihez-de-Dios, A.; Moe, K.; Nordberg, K. e Ollerno, A. "Single and Multi-UAV Relative Position Estimation Based on Natural Landmarks", *Adv. Unmanned Aerial Vehicles*. pp.267-307, 2007.

[7] Küng, O.; Strecha, C.; Beyeleer, A.; Zufferey, J.; Floreano, D. e Fua, P. "The accuracy of automatic photogrammetric techniques on ultra-light UAV imagery", *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XXXVIII-1/C22, pp.6, 2011.

[8] MapPilot for DJI. Drones Made Easy. Disponível em: <http://dronesmadeeasy.com/>, 2018.

[9] AgiSoft PhotoScan Professional (Version 1.4.2) (Software). Disponível em: <http://www.agisoft.com/downloads/>, 2018.

[10] Carrivick, J.L. Smith, M.W. e Quincey, D.J. "Structure from Motion in the Geosciences", Wiley Blackwell, USA, pp.197, 2016.

[11] Westoby, M.J. "Structure from Motion photogrammetry: a low cost, effective tool for geoscience applications", *Geomorphology*, v.179, pp.179-300, 2012.

[12] Peterson, E.B.; Klein, M. e Stewart, R.L. "Whitepaper on Structure from Motion (SfM) Photogrammetry: Constructing Three Dimensional Models from Photography", EUA, pp.46, 2015.

[13] Michelleti, N.; Chandler, J.H. e Lane, S.N. "Structure from motion (SfM) photogrammetry". *Geomorphological techniques*, chap.2 sec. 2.2, 2015.

[14] Lowe, D.G. "Distinctive image features from scale-invariant keypoints", *Int. Journal of Computer Vision*, pp.28, 2004.