

**SBTIC
2019**

VIRTUALIZAÇÃO INTELIGENTE

NO PROJETO E NA CONSTRUÇÃO

2º Simpósio Brasileiro de Tecnologia

da Informação e Comunicação na

Construção

UNICAMP | 19 a 21 de agosto

PROTOCOLO DE AQUISIÇÃO DE IMAGENS DE VANTS PARA MODELAGEM 3D DE FACHADAS DE EDIFÍCIOS HISTÓRICOS

UAV Image Acquisition Protocol for 3D Modeling of Historic Buildings Facades

Eloisa Dezen-Kempton

Universidade Estadual de Campinas | Limeira, SP | elo@ft.unicamp.br

Pedro Victor Vieira de Paiva

Universidade Estadual de Campinas | Limeira, SP | pedro.paiva@pos.ft.unicamp.br

Camila Kimi Cogima

Universidade Estadual de Campinas | Limeira, SP | camila.cogima@pos.ft.unicamp.br

Marco Antônio Garcia Carvalho

Universidade Estadual de Campinas | Limeira, SP | magic@ft.unicamp.br

RESUMO

O principal desafio para a conservação de edifícios históricos é compreender suas condições reais. A demanda para a representação digital leva à aplicação de novas tecnologias de aquisição. Dados geométricos e de textura obtidos através de multi-sensores apresentam-se como soluções promissoras. Esses sensores, como escâner a laser 3D e métodos de restituição fotogramétrica, geralmente geram estruturas de nuvens de pontos. Este trabalho desenvolve um protocolo para melhorar a qualidade de modelos densos de superfície (DSM) gerados em levantamentos fotográfico com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT). Um experimento que avalia o método proposto é apresentado. O protocolo recomendado foi comparado com outro trabalho (Murtiyoso, 2016), e os resultados mostraram melhorias na qualidade do DSM gerado.

Palavras-chave: Veículo aéreo não tripulado; Protocolo; Fotogrametria; Levantamento.

ABSTRACT

The main challenge for historical constructions conservation is to understand its real conditions. Digital representation demand leads to the application of new acquisition technologies. Geometric and texture data obtained through multi-sensors presents as promising solutions. Such sensors, like 3D laser scanners and photogrammetric methods, commonly generate point cloud structures. This work develops a protocol to improve the quality of dense surface models (DSM) generated in photographic survey with Unmanned Aerial Vehicle (UAV). An experiment that evaluate the method proposed is presented. The proposed protocol was compared with other work (Murtiyoso, 2016), and the results showed improvements in the quality of the DSM generated.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle; Protocol; Photogrammetry; Survey.

1 INTRODUÇÃO

A utilização das edificações pode se estender por várias décadas, ou até séculos, o que cria um desafio para as atividades de operação e manutenção (O&M) devido à necessidade de um banco de dados confiável e que armazene o histórico de eventos relacionados com o edifício assim como as informações de mudanças associadas a estes eventos (AKCAMETE; AKINCI; GARRETT, 2010). Esse quadro é agravado quando a edificação de interesse tem importância histórica, com características únicas, pois a ausência ou imprecisão da documentação arquitetônica original, e mudanças não registradas impedem compreender o real estado deste tipo de edifício, que é parte essencial em trabalhos de preservação, de documentação da condição atual desses edifícios (*as-is*), reconstrução, entre outras (REMONDINO, 2011).

Estudos atuais sobre a tecnologia BIM aplicada na fase de O&M, abordam a transferência de informações das fases de projeto e construção para a fase de operações, permitindo a criação e a captura de informações digitais da edificação durante todo o seu ciclo de vida. O BIM para patrimônio (HBIM) inclui edifícios altamente protegidos que geralmente exigem projetos de intervenção mais amplos e um gerenciamento cuidadoso do ciclo de vida. Em HBIM, diferentemente da tecnologia BIM aplicada à edifícios novos, o modelo deve ser construído a partir da captura da condição *as-is*, o que inclui alimentar os programas modeladores com dados geométricos, de materiais, de patologias e históricos da edificação existente.

Essa tarefa ainda depende fortemente de levantamentos manuais onde, medições tomadas in loco são usadas na criação de modelos digitais. Métodos tradicionais como estações totais, fitas métricas, ou mesmo tomadas fotográficas geram resultados imprecisos e de forma dispendiosa ao serem aplicados em larga escala (TANG et al., 2010). Parte fundamental no processo de preservação de edificações históricas é entender o seu estado atual, para tal, se fazem necessários métodos precisos de mapeamento (FOTAKIS et al., 2006).

As funcionalidades introduzidas por múltiplos sensores ópticos e técnicas avançadas de fotogrametria surgem como alternativas para essa tarefa. Sensores laser 3D vem sendo usados de forma intensa em um processo extremamente preciso de detecção de superfície, devido a sua capacidade de coletar densas nuvens de pontos com precisão milimétrica, porém com um alto custo associado, inclusive na formação de operadores especializados. Dados similares podem ser gerados utilizando-se um alto número de imagens e algoritmos específicos (BAYRAM et al., 2015) e, diferente de sensores laser, câmeras fotográficas podem ser adquiridas por uma fração do valor de estações de varredura laser, além de possuírem alta manuseabilidade.

O uso de câmeras de alta resolução acopladas a Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) vem se mostrando cada vez mais comum, devido à excelente relação custo-benefício com a popularização desses equipamentos. No entanto, devido à recente adoção de VANTs para o mapeamento de edificações, as estratégias de aquisição das imagens necessárias à geração dos modelos densos de superfície (DSM) ainda não são largamente difundidas. Além disso, seu emprego recente na área patrimonial ainda é insuficiente para o estabelecimento de metodologias padronizadas para aquisição de imagens. Portanto, a ausência de um protocolo de aquisição universal com esses aparelhos, torna esse um processo, embora efetivo, ainda experimental (MURTIYOSO et al., 2016; CHIABRANDO; DONADIO; RINAUDO, 2015; ACHILLE et al., 2015).

Dentre os estudos sintetizados por Murtyoso et al. (2016), diferentes procedimentos de aquisição compartilham recomendações como: condições controláveis para calibração dos equipamentos; alta convergência de ângulos de captura; imagens com altíssimas taxas de sobreposição.

Graças a alta mobilidade dos VANTs, um amplo espectro de ângulos pode ser atingido garantindo alta cobertura dos objetos, satisfazendo assim as propriedades de convergência e de sobreposição. Em contrapartida, a limitação de peso para carga dessas aeronaves pode limitar o uso de sensores com alto grau de ajuste.

De forma análoga à fotogrametria, métodos *Structure from Motion* (SfM) fazem uso de fotografias sobrepostas para realizar medições, com a vantagem de eliminar marcações controles já que posicionamento e orientação podem ser determinados por parâmetros internos das câmeras (MICHELETTI; CHANDLER; LANE, 2015). Embora diversas implementações possam ser encontradas na literatura (YI et al., 2014), em essência, uma técnica SfM apresenta estágios de:

- Um alto número de imagens de múltiplos pontos de vista de um objeto é passado como entrada.
- Pontos comuns entre as imagens são calculados aplicando uma transformação invariante a escala estabelecendo assim uma relação geométrica em um sistema de coordenadas.
- Parâmetros internos das câmeras determinam as relações entre coordenadas nas imagens e no mundo físico.
- As posições no espaço 3D são então refinadas por processos chamados *bundle adjustment*, que segundo Triggs, Zisserman e Szeliski, (2003), consiste em uma minimização robusta e não linear dos erros de re-projeção, recuperando estrutura e movimento de maneira precisa.

Como resultado, uma nuvem de pontos com informações espaciais e de textura é gerada podendo variar quanto à densidade. Para que uma estimativa efetiva das estruturas, é de suma importância uma quantidade alta de imagens similares rotacionadas (nos eixos vertical e horizontal) além de variações de distância e profundidade.

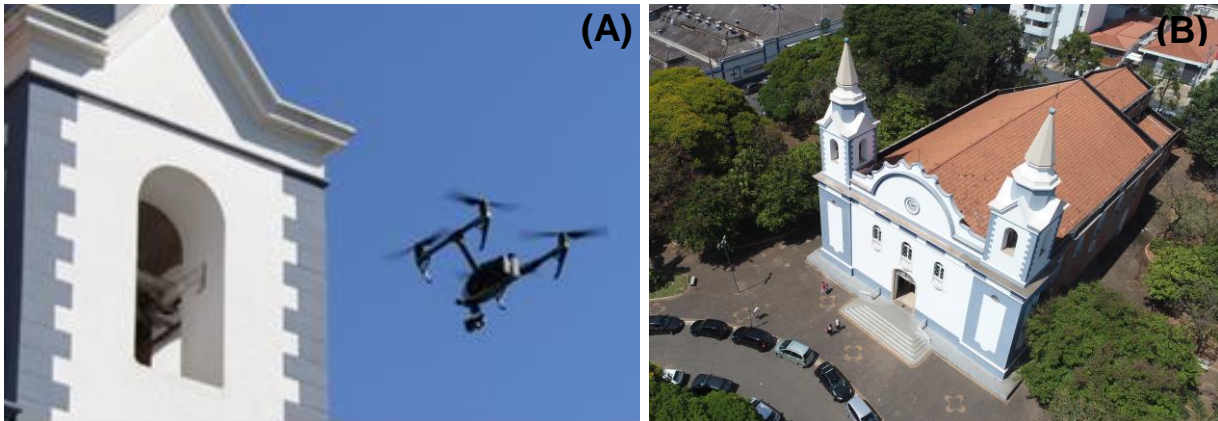
Sanar a falta de regularidade na obtenção de imagens não é uma tarefa trivial, mas pode ser atacada reutilizando procedimentos estabelecidos em estações fixas de captura e, refletindo na captura as características que fortaleçam a acurácia intrínseca dos algoritmos de geração dos DSM. Sendo assim, dominar as minúcias desses métodos é imprescindível para criação de uma estratégia geral de aquisição com VANT. Este trabalho tem por objetivo desenvolver um protocolo de aquisição para melhorar a qualidade da nuvem de pontos do modelo denso de superfície gerado no levantamento fotográfico com VANT.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para validar a metodologia proposta foi escolhido um edifício histórico na cidade de [omitido], a Igreja Nossa Senhora da Boa Morte e Assumpção, finalizada em 1867. Esta pesquisa teve como objeto de estudo somente a fachada principal da igreja (Figura 1a).

O VANT utilizado nessa pesquisa foi um quadricóptero, modelo DJI Inspire 2 Professional, com plataforma de asa rotativa elétrica (Figura 1b). A câmera empregada foi uma Zenmuse X4S com sensor tipo CMOS (*complementary metal-oxide semiconductor*), com resolução de 20 MP (5472x3648), lente F/2.8-11, 8.8 mm (equivalente a 24mm no formato 35mm) e FOV 84°. A câmera é montada em um gimbal de 3 eixos, com grande estabilidade, que possibilita um giro da câmera no eixo de z de -320° a +320°, sua inclinação entre +40° a -130° e rolagem de -20° a +20° para ajustar o nível horizontal durante o voo.

Figura 1: Drone DJI Inspire 2 no processo de tomadas fotográficas (A) e imagem da Igreja da Boa Morte tirada pelo Drone (B).

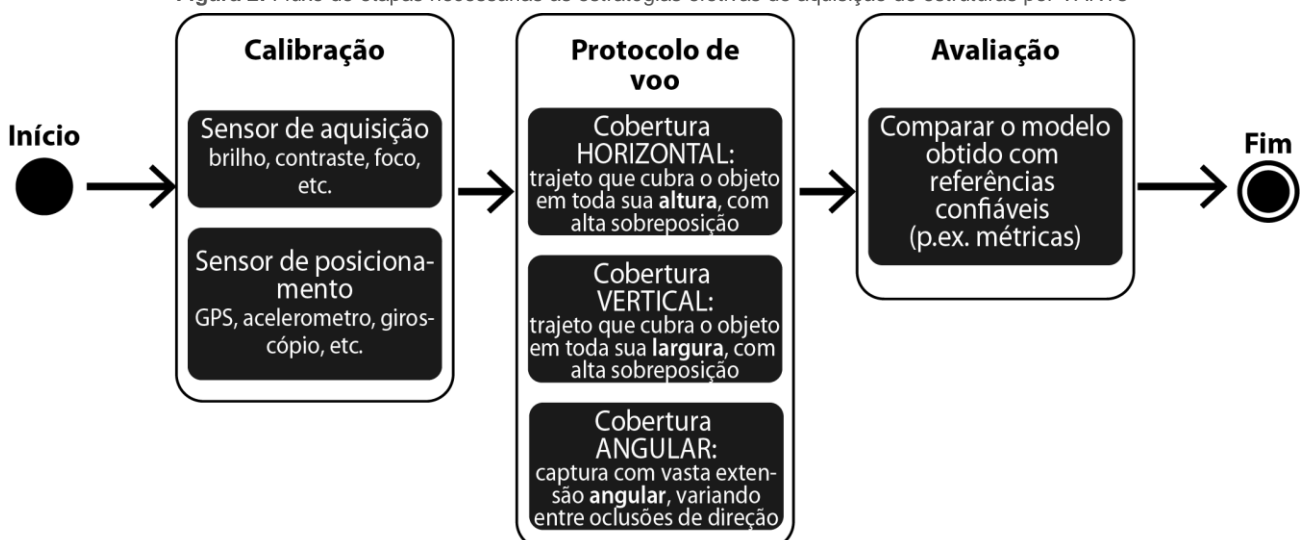


Fonte: os autores.

Os softwares proprietários utilizados nesse trabalho foram ferramentas de processamento de imagens (Pix4D) e ferramentas de manipulação da nuvem de pontos (Meshlab e CloudCompare). Os aplicativos Pix4D e DJI Go, para dispositivos móveis, foram empregados como auxiliares no processo de captura das imagens com o VANT.

Seguindo os planos de aquisição de estações fixas e as nuances exigidas por técnicas SfM, dois estágios principais se mostram evidentes: uma fase de ajustes dos sensores e uma de aquisição total do objeto alvo, atentando-se à maximização de cobertura angular. Sendo assim, um planejamento deve conter as etapas ilustradas na Figura 2.

Figura 2: Fluxo de etapas necessárias às estratégias efetivas de aquisição de estruturas por VANTs



Fonte: os autores.

Uma implementação desse fluxo para VANTs similares a esta pesquisa pode seguir os seguintes passos:

Calibração

Parte fundamental na etapa de construção dos modelos 3D é estimar com precisão a posição do sensor de captura, e para que o maior número possível de satélites seja sincronizado aos VANT a incidência de obstáculos deve ser minimizada. Posicionar o veículo em uma elevada altura pode beneficiar o georreferenciamento, partindo da hipótese de que a maior parte das obstruções se encontram a nível do solo.

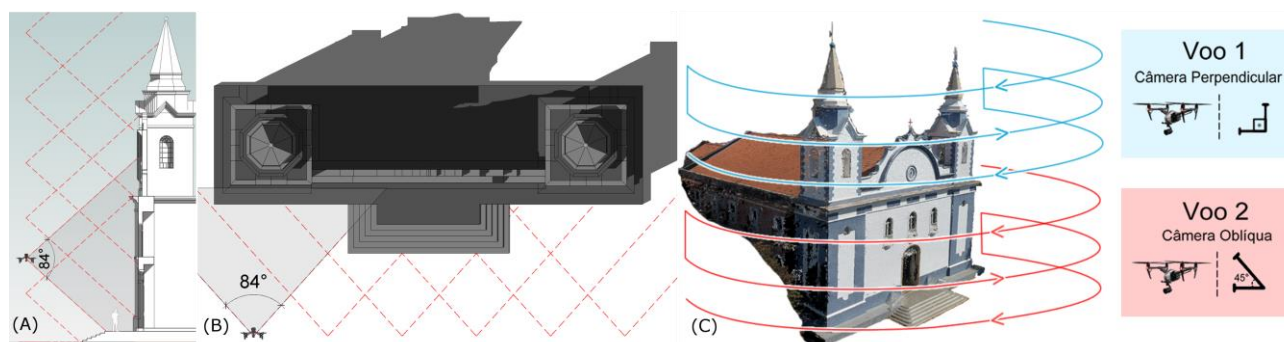
Quanto à câmera, fatores como correção de iluminação, foco e saturação estão bem estabelecidos nos sensores atuais em modo automático, o que permite um ajuste com qualidade satisfatória sem uma intervenção direta do usuário.

Protocolo de Voo

Conduzir capturas que cubram a totalidade do objeto de interesse, quando não existe limitação de distância, é tarefa trivial. Entretanto, em levantamento de fachadas, quando a proximidade é exigida, voos repetidos cobrindo porções do todo pode solucionar este problema. As Figuras 3A e 3B mostram a vista lateral e a superior da fachada da igreja, respectivamente, com o ângulo do campo de visão da câmera do VANT empregado para a varredura fotográfica.

O principal desafio no planejamento de voo é traçar um trajeto capaz de assegurar a maior variação angular de captura possível, ou seja, um intervalo de 180° , tanto em paralelo quanto perpendicular à estrutura. Deslocar a aeronave em um percurso levemente curvo (Fig.3C) traz resultados similares à cobertura total na horizontal e, repetindo o método para faixas de altura também é obtido resultado similar na vertical.

Figura 3: (a) Plano de voo com alta taxa de variação angular enquanto (b) faixas de altura e largura são completamente cobertas



Fonte: (autor, 2018).

Avaliação

O DSM gerado pelo processamento foi a validado comparando-o com uma nuvem de pontos gerada por um laser escâner terrestre e alguns pontos de referência levantados por uma Estação Total.

3 RESULTADOS

O protocolo proposto pode ser avaliado de forma qualitativa ao se comparar as nuvens de uma mesma construção obtidas por diferentes abordagens para aquisição e processadas pelo mesmo algoritmo SfM. Empregando-se o software Pix4D, duas nuvens da fachada da Igreja da Boa Morte foram geradas, ambas a partir de 300 fotos georreferenciadas.

Comparando-se as duas nuvens de pontos geradas no Pix4D, a primeira (Fig. 4A) seguindo o protocolo empregado por Murtiyoso et al. (2016), e a segunda (Fig. 4B) seguindo os parâmetros do protocolo proposto neste trabalho, percebeu-se na primeira distorções, oclusões e falhas.

Figura 4: (A) imagens coletadas e processadas segundo o protocolo empregado por Murtiyoso; (B) imagens coletadas e processadas segundo o protocolo proposto



Embora seja necessária uma avaliação mais extensa e com maior rigor matemático, é possível inferir que o protocolo de aquisição descrito neste trabalho tem potencial de ampliar a precisão de modelos fotogramétricos gerados por processamento SfM.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi proposto um fluxo de etapas capaz de gerar modelos densos de superfície (DSM) com alto grau de fidelidade aos objetos de referência, baseados nas propriedades dos algoritmos utilizados e em técnicas já consolidadas em estações fixas de captura, tomando proveito das características únicas dos VANTs.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio à pesquisa concedido processo nº 2016/04991-0, e às bolsas de mestrado nº 2017/01237-5 e 2017/02787-9.

REFERÊNCIAS

ACHILLE, Cristiana et al. UAV-based photogrammetry and integrated technologies for architectural applications—Methodological strategies for the after-quake survey of vertical structures in Mantua (Italy). **Sensors**, v. 15, n. 7, p. 15520-15539, 2015.

AKCAMETE, Asli; AKINCI, Burcu; GARRETT, James H. Potential utilization of building information models for planning maintenance activities. In: **Proceedings of the international conference on computing in civil and building engineering**. June, 2010. p. 151-157.

BAYRAM, B. et al. Comparison of laser scanning and photogrammetry and their use for digital recording of cultural monument. Case study: Byzantine land walls-Istanbul. In: **International Archiv. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.** Taipei, Taiwan, Vol. II-5/W3, p.17-24, 2015

CHIABRANDO, F.; DONADIO, E.; RINAUDO, F. SfM for orthophoto to generation: A winning approach for cultural heritage knowledge. **The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 40, n. 5, p. 91, 2015.

FOTAKIS, Costas et al. **Lasers in the preservation of cultural heritage: principles and applications**. CRC Press, 2006.

MICHELETTI, Natan; CHANDLER, Jim H.; LANE, Stuart N. **Structure from motion (SfM) photogrammetry photogrammetric heritage** Geomorphological Techniques, British Society of Geomorphology, p. 1-12, 2015.

MURTIYOSO, A. et al. Acquisition and processing experiences of close-range UAV images for the 3D modeling of heritage buildings. In: **Euro-Mediterranean Conference**. Springer, Cham, 2016. p. 420-431.

REMONDINO, F. Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning. **Remote Sensing**, v. 3, n.6, p. 1104–1138, jun. 2011.

TANG, P. et al. Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. **Automation in construction**, v. 19, n. 7, p. 829–843, 2010.

TRIGGS, Bill et al. Bundle adjustment—a modern synthesis. **Vision Algorithms: Theory and Practice**, v. 13, n. 5, p. 47-71, 2000.

YI, Gao et al. Survey of structure from motion. In: **Proceedings of 2014 International Conference on Cloud Computing and Internet of Things**. IEEE, 2014. p. 72-76.