

Documentação da volumetria de edificações históricas através de nuvens de pontos: um experimento no Pelourinho, em Salvador na Bahia

Documentation of the volume of historical buildings through point clouds: an experiment at Pelourinho in Salvador, Bahia

Documentación del volumen de edificios históricos a través de nubes de puntos: un experimento en Pelourinho en Salvador, Bahía

Recebido: 28/11/2019 | Revisado: 29/11/2019 | Aceito: 29/11/2019 | Publicado: 04/12/2019

Laís Simonelli

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4881-6108>

Universidade Federal da Bahia, Brazil

E-mail: laissimonelli@hotmail.com

Arivaldo Leão de Amorim

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0359-9464>

Universidade Federal da Bahia, Brazil

E-mail: alamorim@ufba.br

Natalie Johanna Groetelaars

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6353-0509>

Universidade Federal da Bahia, Brazil

E-mail: natgroet@ufba.br

Resumo

Neste trabalho, foi proposto um fluxo de processos para construção dos modelos geométricos de um conjunto de edificações localizadas no Pelourinho, em Salvador na Bahia. O fluxo de trabalho para construção dos modelos texturizados em SketchUP, demandou a aquisição de imagens aéreas e terrestres das edificações, a geração de nuvens de pontos e ortofotos por processos fotogramétricos no Photoscan, o tratamento das ortofotos no Photoshop, e por fim, a produção de seções das nuvens de pontos no AutoCAD. As etapas definidas para a construção dos modelos geométricos possibilitaram que o objetivo fosse atingido. No entanto, novas metodologias precisam ser desenvolvidas e aperfeiçoadas para simplificar os processos, reduzindo o emprego de mão de obra e o tempo de processamento.

Palavras-chave: Modelagem geométrica; Processos fotogramétricos; Nuvem de pontos; Aquisição de imagens.

Abstract

In this work, a process flow was proposed for the construction of geometric models of a set of buildings located in Pelourinho, Salvador in Bahia. The workflow for the construction of textured models in SketchUP required the acquisition of aerial and terrestrial images of the buildings, the generation of point clouds and orthophotos by photogrammetric processes in Photoscan, the orthophoto treatment in Photoshop, and finally the production of point cloud sections in AutoCAD. The steps defined for the construction of geometric models made it possible to reach the goal. However, new methodologies need to be developed and refined to simplify processes, reducing labor and processing time.

Keywords: Geometric modeling; Photogrammetric processes; Point cloud; Image acquisition.

Resumen

En este trabajo, se propuso un flujo de proceso para la construcción de modelos geométricos de un conjunto de edificios ubicados en Pelourinho, Salvador, Bahía. El flujo de trabajo para la construcción de modelos texturizados en SketchUP requirió la adquisición de imágenes aéreas y terrestres de los edificios, la generación de nubes de puntos y ortofotos mediante procesos fotogramétricos en Photoscan, el tratamiento de ortofoto en Photoshop y finalmente la producción de secciones de nube de puntos en AutoCAD. Los pasos definidos para la construcción de modelos geométricos permitieron alcanzar el objetivo. Sin embargo, se deben desarrollar y refinar nuevas metodologías para simplificar los procesos, reduciendo la mano de obra y el tiempo de procesamiento.

Palabras clave: Modelado geométrico; Procesos fotogramétricos; Nube de puntos; Adquisición de imagen.

1. Introdução

O processo acelerado de urbanização impõe inúmeros desafios ao planejamento e à gestão das cidades. Segundo a Organização das Nações Unidas (2019), 55% da população mundial reside em cidades atualmente e, até 2050, 70% da população do planeta residirá em áreas urbanas. Assim sendo, os problemas relacionados com o tráfego, o suprimento de energia, a saúde humana, o clima, a gestão de resíduos sólidos, bem como, aqueles relacionados com a poluição da atmosfera, do solo e da água atingirão proporções ainda maiores. Essa situação demandará cada vez mais a elaboração de soluções inteligentes para as cidades (Ahvenniemi, Huovila, Pinto-Seppä & Airaksinen, 2017).

O uso de tecnologias inteligentes, econômicas e integradas é visto como um fator chave tanto na elaboração e análise de soluções para lidar com os problemas das cidades do século XXI, quanto no desenvolvimento de dispositivos que reduzam as emissões de gases de efeito estufa e aumentem a eficiência energética das cidades (Ahvenniemi et al., 2017).

Tendo em vista os problemas encontrados nas cidades do século XXI, bem como, a demanda por ferramentas tecnológicas para projetistas, operadores, planejadores e construtores, surge a Modelagem da Informação da Cidade ou *City Information Modeling* - CIM (em inglês), um novo paradigma em formulação.

A Modelagem da Informação da Cidade pode ser entendida, em primeira instância, como uma extensão do conceito de *Building Information Modeling* (BIM) aplicado às cidades. Assim, enquanto o BIM está no contexto da edificação, o CIM está no contexto da cidade (Khemlani, 2016).

Segundo Xu, Ding, Luo & Ma (2014), o CIM requer a integração das tecnologias *Building Information Modeling* (BIM) e *Geographic Information System* (GIS), e várias outras, bem como de outras ferramentas de representação, simulação, monitoramento e gestão urbana, que podem fornecer soluções eficazes no contexto da Modelagem da Informação da Cidade.

O termo CIM foi utilizado pela primeira vez por Khemlani (2005). No entanto, existem outros termos encontrados na literatura para se referir à modelagem da cidade. Tah, Oti & Abanda (2017) utilizaram o termo *Built environment Information Modelling* (BeIM) ou Modelagem da Informação do Ambiente Construído.

Diferentes autores propõem diferentes conceituações para o CIM, no entanto, as mesmas não são suficientemente abrangentes para contemplar toda a complexidade do CIM (Amorim, 2015). Diante de tal cenário, apresenta-se aqui a conceituação proposta por Chen, Lu, Xue, Tang & Li (2018, p. 22):

Um modelo de informações da cidade contém dados espaciais e a representação virtual de todos os objetos de interesse de uma área urbana. Um modelo CIM bem desenvolvido pode facilitar o trabalho dos planejadores da cidade e os projetos urbanos na abordagem de problemas tais como tráfego, acessibilidade, conectividade e impactos de desastres naturais (Chen et al., 2018, p. 22, tradução nossa).

Para que cumpram seu papel satisfatoriamente, os modelos de informações urbanas devem possuir interoperabilidade, estabilidade e fácil compartilhamento (Amorim, 2015). Com essas características, os modelos são úteis na proposição de respostas aos problemas existentes no âmbito do planejamento urbano, na realização de simulações e, até mesmo, na documentação do patrimônio arquitetônico.

A documentação do patrimônio arquitetônico e de sítios históricos requer um conjunto de informações relevantes, tais como imagens e textos. A realização da documentação é imprescindível, tendo em vista os riscos que o patrimônio cultural normalmente está exposto, como por exemplo, acidentes, intempéries, incêndios, vandalismos etc. Nesse contexto, a construção de modelos geométricos é uma alternativa para a documentação de edificações históricas. Esses modelos podem ser úteis para divulgar o patrimônio arquitetônico contribuindo para conscientizar os diversos gestores urbanos e a população em geral da importância desse patrimônio, bem como, atrair e orientar turistas (Balsa-Barreiro & Fritsch, 2018). Além disto, a documentação pode ainda contribuir para a preservação da memória do patrimônio construído para as gerações futuras em caso de perda dos mesmos.

Na literatura há diferentes métodos que podem ser utilizados na aquisição de dados tridimensionais, entretanto, a fotogrametria possui o menor custo e a menor complexidade no desenvolvimento de modelos geométricos fotorrealísticos (Yalcin & Fritsch, 2015; Balsa-Barreiro & Fritsch, 2018; Kowlessar, Benjamin, Moffat & Van Duivenvoorde, 2019).

A fotogrametria permite a geração de modelos precisos e detalhados, principalmente quando se utiliza os sistemas terrestres e aerotransportados de modo integrado. A fotogrametria terrestre possibilita a reconstrução de fachadas, com extração simultânea da geometria e da textura (em alta resolução), mas apresenta limitações quanto ao registro de grandes áreas e de partes elevadas (como as coberturas das edificações). A fotogrametria aérea (a partir de voos tripulados ou por meio de drones) permite o rápido registro de áreas mais extensas, sendo mais usada como base para a modelagem das edificações (volumetria geral do exterior), dos terrenos, vias, passeios etc.

Para obtenção de modelos geométricos precisos são utilizadas várias imagens fotográficas digitais extraídas a partir de diferentes ângulos com grandes áreas de sobreposição (Kowlessar et al., 2019).

Os modelos geométricos obtidos por fotogrametria ou outros métodos, geralmente precisam ser armazenados e compartilhados entre diferentes usuários. Para facilitar essas tarefas, surgiu em 2008 a primeira versão do padrão CityGML. O *City Geography Markup Language*, CityGML, pode ser entendido como um padrão aberto e livre baseado na linguagem XML (*eXtensible Markup Language*), onde é possível armazenar e trocar modelos em cinco diferentes níveis de detalhes (*Level of Detail* - LoD): LoD0, LoD1, LoD2, LoD3 e LoD4. O LoD0 é o menor nível de detalhamento. Nesse LOD, o modelo possui apenas a superfície do terreno e as “pegadas” (*footprints*) das edificações. Em LoD1, as edificações aparecem como blocos prismáticos com paredes verticais e “telhados” horizontais (Gröger & Plümer, 2012).

Por sua vez, as edificações em LoD2 são representadas com a forma generalizada do telhado sem o beiral (Bremer, Mayr, Wichmann, Schmidtner & Rutzinger, 2016).

Em LoD3, as edificações possuem arquitetura mais rica que em LoD2. Isso porque em LoD3 é possível visualizar as saliências dos telhados e detalhes, tais como, fachadas e aberturas (Donkers, Ledoux, Zhao & Stoter, 2016). No LoD4 é adicionado ao LoD3 o detalhamento interno das edificações, como por exemplo, o mobiliário (CityGML, 2019).

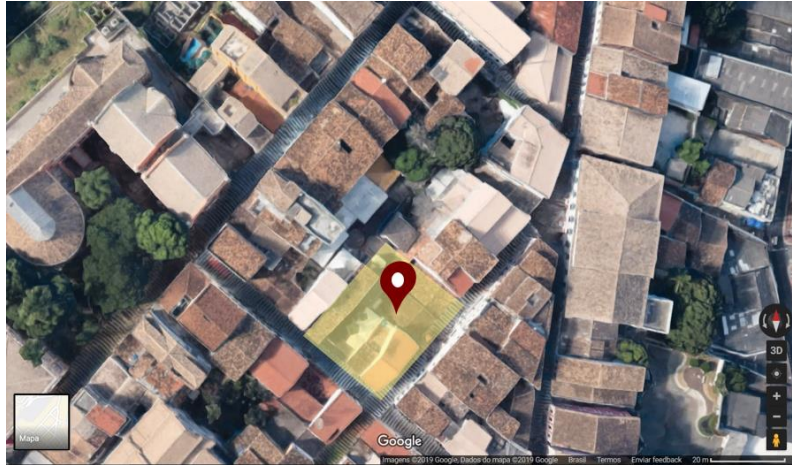
O interesse por tecnologias voltadas para a medição e a modelagem geométrica por meio da utilização de imagens, característico na fotogrametria, tornou-se crescente, tendo em vista o surgimento de vários softwares. Com isso, conseqüentemente, houve um aumento no número de pesquisas relacionadas à reconstrução de modelos geométricos a partir de imagens, recurso fundamental para a documentação e a análise do patrimônio cultural (Aicardi, Chiabrand, Lingua & Noardo, 2018).

Tendo em vista que há vários estudos recentes desenvolvidos para a modelagem geométrica de edificações históricas (Liang, Shen, Gong, Liu & Zhang, 2017; Toschi et al., 2017a; Toschi et al., 2017b; Buyukdemircioglu et al., 2018; Pendyala, Kalluri, Venkataraman & Rao, 2019), este trabalho apresenta o uso de um método manual para construção de modelos em LoD2 de um conjunto de edificações localizadas no Pelourinho, no Centro Histórico de Salvador (CHS), na Bahia. Esse estudo objetiva discutir as potencialidades e limitações do método utilizado, buscando desta forma, evidenciar o direcionamento para pesquisas futuras.

2. Caracterização do objeto

É apresentada na Figura 1 a localização do conjunto de edificações cuja volumetria foi documentada neste trabalho. Conforme a Prefeitura Municipal de Salvador (2019), em razão de suas características históricas e arquitetônicas, o Pelourinho integra a lista do patrimônio cultural da humanidade, da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO). Além disso, vale ressaltar que o Pelourinho é um bairro que possui muitos atrativos culturais, tendo em vista a presença de igrejas, museus, teatros, restaurantes, bares, entre outros.

Figura 1: Localização das edificações estudadas

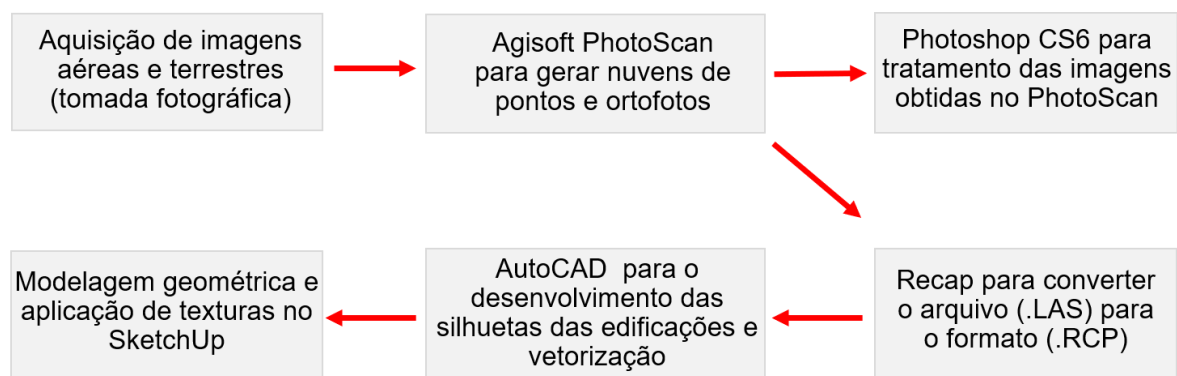


Fonte: Google Maps (2019)

3. Construção da volumetria das edificações

A Figura 2 mostra o fluxo de trabalho elaborado para a obtenção dos modelos geométricos das edificações de interesse.

Figura 2: Fluxo de trabalho empregado na modelagem das edificações



Fonte: Autores

Na sequência são apresentadas e discutidas cada uma das etapas presentes na Figura 2.

3.1 Aquisição de imagens

A aquisição de imagens usadas na construção dos modelos geométricos das edificações foi feita a partir de fotos tomadas a partir do nível do solo e de fotos aéreas. Para isto foram empregadas as seguintes câmeras: Nikon D300 com objetiva de 12 mm e, Nikon D600, com objetiva de 18-200 mm, enquanto que para as imagens aéreas foi utilizado um drone Phantom 4

Pro, dotado de uma câmara DJI, modelo F3, objetiva FOV 94°, com distância focal de 20 mm. No planejamento do voo foi utilizado o aplicativo Pix4Dcapture.

3.2 Geração da nuvem de pontos e das ortofotos

As nuvens de pontos e as ortofotos das edificações foram obtidas no Agisoft Photoscan (atualmente denominado de Agisoft MetaShape, a partir de 2019). Inicialmente, as imagens foram processadas para obter a nuvem de pontos esparsa (Figuras 3 (a) e (b)).

Figura 3: Nuvem de pontos esparsa, Rua João de Deus (a) e Rua Açouginho (b)



Fonte: Autores

Após obtenção da nuvem de pontos esparsa foi obtida a nuvem de pontos densa (Figuras 4 (a) e (b)), sendo gerado na sequência a malha triangular irregular (*Triangular Irregular Network* – TIN) texturizada.

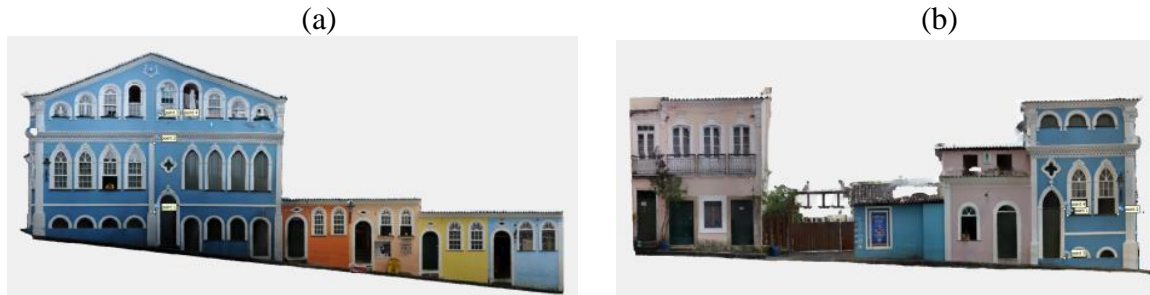
Figura 4: Nuvem de pontos densa, Rua João de Deus (a) e Rua Açouginho (b)



Fonte: Autores

A partir da nuvem de pontos densa foi realizada a alocação de marcas (*markers*) que seriam usadas na definição dos eixos x e y no momento da geração das ortofotos. Dessa forma foi possível gerar as ortofotos a partir das imagens terrestres (Figuras 5 (a) e (b)) e aéreas (Figura 6), uma vez que havia identificação de planos de projeção (paralelos aos eixos x e y definidos). É importante ressaltar que as imagens aéreas e terrestres foram processadas em lotes separados.

Figura 5: Ortofotos obtidas pelo processamento das fotos terrestres, Ruas João de Deus (a) e Rua Açouguinto (b)



Fonte: Autores

Figura 6: Ortofoto obtida pelo processamento das fotos aéreas



Fonte: Autores

3.3 Correção das texturas

A correção das texturas foi realizada porque algumas imagens apresentavam falta de informação ou a presença de elementos indesejados. O tratamento consistiu no processamento das ortofotos no Photoshop CS6 para completar as regiões que apresentavam falta de informação e para retirar elementos indesejados. As Figuras 7 (a) e (b) mostram as edificações da Rua Açouguinto antes e depois do tratamento, respectivamente. Por sua vez, as ortofotos da Rua João de Deus antes e depois do tratamento também são apresentadas nas Figuras 8 (a) e (b), respectivamente. As ortofotos dos telhados também foram tratadas em virtude das justificativas anteriores.

Figura 7: Ortofotos das edificações da Rua Açouguinto (antes (a) e após (b) o tratamento)

(a)



(b)



Fonte: Autores

Figura 8: Ortofotos das edificações da Rua João de Deus (antes (a) e após (b) o tratamento)

(a)



(b)



Fonte: Autores

Após as ortofotos terem sido tratadas no Photoshop, as texturas foram segmentadas, conforme mostra a Figura 9, para que pudessem ser aplicadas individualmente no modelo geométrico de cada edificação, na etapa seguinte.

Figura 9: Segmentação das ortofotos mostrando diferentes partes das edificações



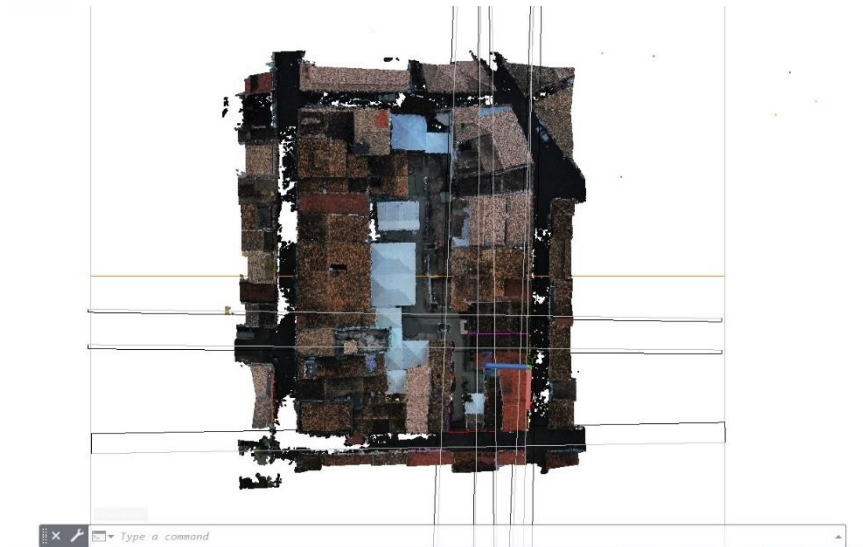
Fonte: Autores

3.4 Construção dos modelos geométricos

Na modelagem geométrica das edificações, o arquivo das nuvens de pontos no formato LAS, foi convertido para o formato RCP por meio do software Recap da Autodesk. Essa conversão de formato foi necessária para permitir a importação do arquivo de nuvem de pontos no AutoCAD, onde foram gerados perfis (seções horizontais e verticais) das edificações.

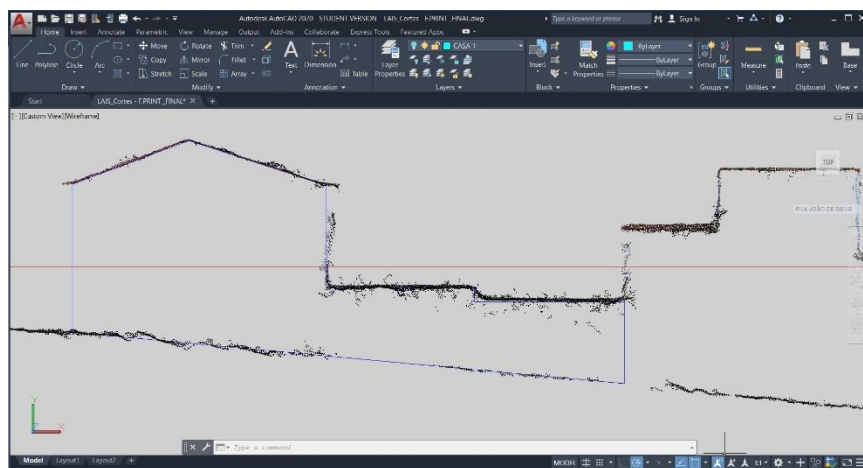
A partir do fatiamento da nuvem foi possível obter os volumes principais das edificações, como a forma dos telhados (inclinação e altura), contornos das paredes externas (*footprints* e alturas), inclinação das vias (*greide*) e outros dados geométricos. A Figura 10 mostra os locais onde as edificações foram seccionadas (traços dos planos secantes). Na Figura 11, é mostrada uma das seções obtidas a partir do fatiamento da nuvem de pontos.

Figura 10: Seccionamento da nuvem de pontos



Fonte: Autores

Figura 11: Seção obtida pelo fatiamento da nuvem de pontos



Fonte: Autores

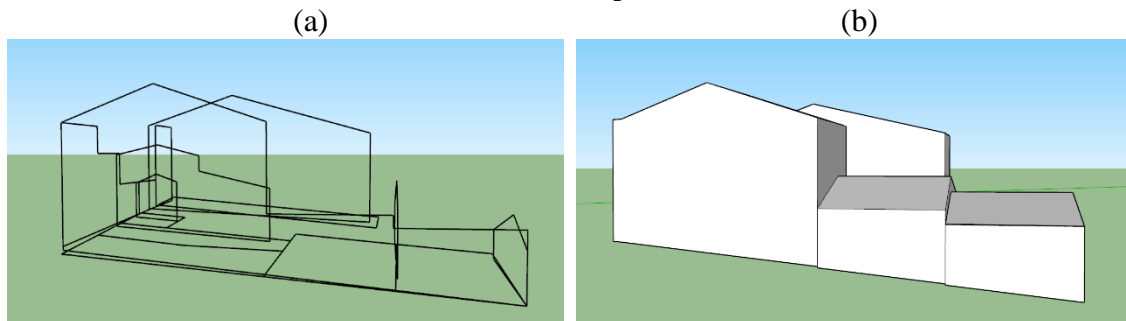
As seções das edificações obtidas no AutoCAD foram importadas para o SketchUp visando a construção dos modelos geométricos, conforme mostra a Figura 12 (a) e (b). Assim, a partir da forma principal das edificações em *wireframe*, os poliedros foram fechados de forma a definir o volume de cada uma das edificações.

Em seguida, foram aplicadas as ortofotos em cada uma das superfícies para o acabamento dos modelos finais texturizados, em LoD 2 (Figuras 13 (a), (b), (c) e (d)).

É possível observar que algumas paredes ficaram sem texturas. Isto deveu-se ao fato de que não foi possível fotografar essas superfícies de forma adequada para gerar as ortofotos e as correspondentes texturas. Por se tratarem de locais de difícil acesso, teria que ser gerado um plano de voo específico para a obtenção das fotos de cada uma destas superfícies. Isto

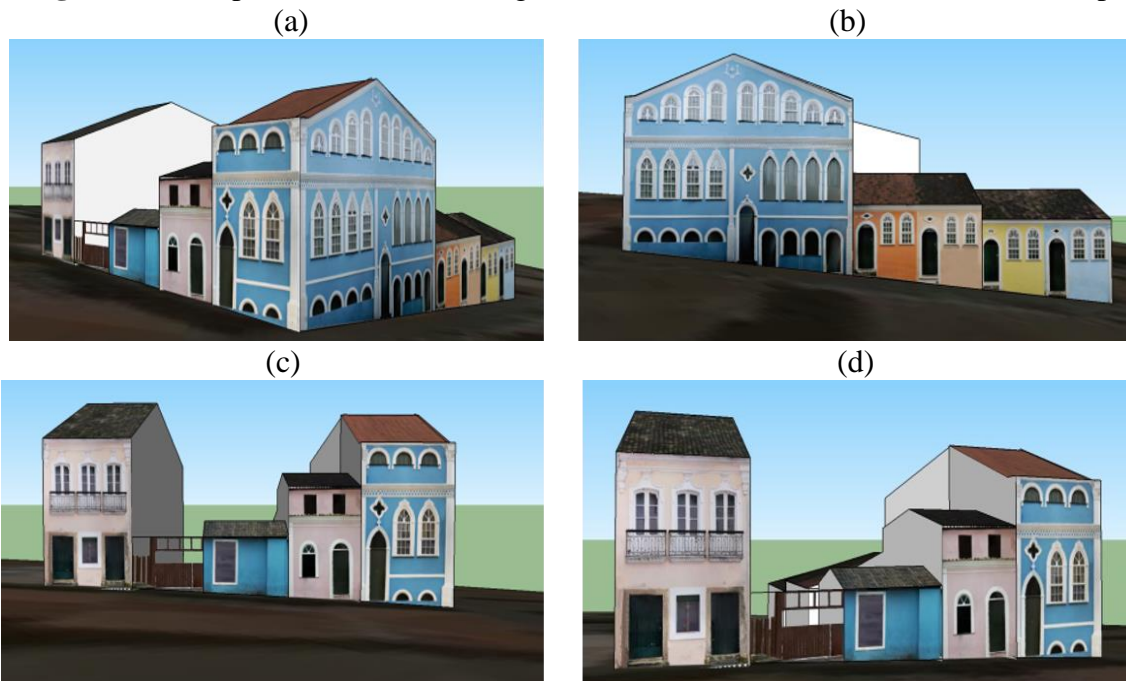
representava tempo, custos e riscos à execução do trabalho, além de não agregara valor científico ao mesmo.

Figura 12: Seções das edificações importadas (a) e modelo geométrico (b) gerado no Sketchup



Fonte: Autores

Figura 13: Perspectivas dos modelos geométricos (LoD2) texturizados no SketchUp



Fonte: Autores

3.5 Vetorização

A vetorização das fachadas das edificações foi realizada no AutoCAD. Nesse processo, foi necessário utilizar as ortofotos obtidas pela fotogrametria terrestre e os modelos geométricos construídos pelo fatiamento da nuvem de pontos. Enquanto as ortofotos foram fundamentais para representar a fachada, o modelo geométrico foi útil para obter informações complementares para representação das coberturas. Assim sendo, a vetorização foi possível em

razão da junção de todas as texturas e dados (aéreos e terrestres), o que evidencia a importância do uso combinado da fotogrametria aérea e terrestre.

Nas Figuras 14 e 15 são apresentados os desenhos das fachadas das ruas João de Deus e Açouginho, enquanto que na Figuras 16 (a) e (b), são mostrados os detalhes de duas esquadrias. Assim, vistas ortográficas das fachadas é mais um produto que pode ser gerado a partir da vetorização de modelos geométricos texturizados.

Figura 14: Desenho das fachadas da Rua João de Deus



Fonte: Autores

Figura 15: Desenho das fachadas da Rua do Açouginho



Fonte: Autores

Figura 16: Detalhes da fachada (ortofotos e desenhos): (a) Esquadria 1; (b) Esquadria 2



Fonte: Autores

4 Resultados e discussão

Esse trabalho apresentou um método de geração de modelos geométricos texturizados em LOD2, a partir do processamento de nuvens de pontos geradas por fotogrametria aérea e terrestre.

Foi possível produzir resultados de elevada qualidade, tanto no que se refere à geometria como à texturização fotorrealística, o que permite que esses modelos possam ser usados para uma gama de aplicações, tais como para a documentação e divulgação do patrimônio arquitetônico (seja através da representação bi ou tridimensional), criação de plataformas para gestão urbana, realização de diversos tipos de simulações, exportação para sistemas de realidade virtual e aumentada, turismo, etc.

Como no LoD2 é feita a representação do telhado das edificações, é possível, por exemplo, utilizá-lo para avaliação das áreas mais favoráveis à incidência solar. Isso possibilita definir as melhores regiões para a instalação de painéis solares fotovoltaicos ou térmicos. Além disso, esses modelos podem ser aplicados para as mesmas simulações realizadas com os modelos em LoD1, tais como, inundações (Varduhn, Mundani & Rank, 2015), visibilidade (Ellul, Adjrads & Groves, 2016), sombras (Strzalka, Alam, Duminil, Coors & Eicker, 2012; Jaugsch & Löwner, 2016; Peronato, Bonjour, Stoeckli, Rey & Andersen, 2016), entre outras.

Neste trabalho, a vetorização, um produto adicional obtido, foi possível em razão da utilização das texturas e dos dados fotogramétricos aéreos e terrestres, o que evidencia a

importância da combinação dos dois métodos de fotogrametria utilizados. Se por um lado a fotogrametria terrestre foi limitada na obtenção de dados de áreas extensas e elevadas, por outro, permitiu reconstruir as fachadas em alta resolução e com a extração simultânea da textura e da geometria. As dificuldades encontradas na fotogrametria terrestre são superadas pelo uso da fotogrametria aérea, que possibilita o registro de áreas extensas e elevadas, tais como as coberturas.

O fluxo usado no desenvolvimento do trabalho mostrou-se adequado para representação da geometria e da aparência das edificações. Apesar disso, é importante ressaltar que processos automatizados ou semiautomatizados precisam ser desenvolvidos com o intuito de diminuir o trabalho manual e exaustivo.

5. Conclusão

O levantamento bibliográfico deste estudo indicou que a fotogrametria é a técnica mais utilizada na modelagem geométrica de cidades. Assim sendo, a mesma foi selecionada para a documentação de edificações localizadas no Pelourinho, em Salvador.

Tendo em vista que pode ser aplicada na aquisição de dados tridimensionais de objetos que compõem o espaço urbano, a fotogrametria pode ser entendida como uma ferramenta tecnológica no contexto do paradigma CIM. A modelagem da informação da cidade requer a aquisição de dados de grandes áreas e, nesse contexto, a fotogrametria mostra-se precisa e detalhada na geração de modelos, principalmente quando são empregados os sistemas terrestres e aerotransportados em conjunto. Neste trabalho, essa integração permitiu a obtenção de um modelo texturizado equivalente ao LoD2 do CityGML.

Em razão da integração das texturas e dos dados fotogramétricos terrestres e aerotransportados foi possível realizar a vetorização das edificações, um produto adicional do processo empregado. No entanto, deve-se ressaltar que para a execução do fluxo de trabalho proposto nesta pesquisa, o manuseio das nuvens de pontos requer pessoal técnico devidamente capacitado. É importante ressaltar ainda que, apesar da elevada qualidade dos produtos gerados, tanto no que se refere à geometria como à texturização fotorrealística, o método adotado demandou bastante tempo de trabalho interativo, e vários processamentos realizados separadamente em diferentes ferramentas digitais.

Por fim, o modelo geométrico obtido pode ser utilizado em diferentes tipos de simulações (potencial solar, visibilidade, sombras, inundações etc.). Em razão de ter sido realizada a aquisição de dados de edificações de valor histórico, o modelo desenvolvido é útil para a documentação do patrimônio e para atrair e orientar turistas.

References

- Amorim, A. L. (2015). Discutindo city information modeling (CIM) e conceitos correlatos. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, 10(2), 87-100.
- Ahvenniemi, H., Huovila, A., Pinto-Seppä, I. & Airaksinen, M. (2017). What are the differences between sustainable and smart cities?. *Cities*, 60, 234-245.
- Aicardi, I., Chiabrando, F., Lingua, A. M. & Noardo, F. (2018). Recent trends in cultural heritage 3D survey: The photogrammetric computer vision approach. *Journal of Cultural Heritage*, 32, 257-266.
- Anuar, M. R. & Abdullah, A. Z. (2016). Challenges in biodiesel industry with regards to feedstock, environmental, social and sustainability issues: a critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 208-223.
- Balsa-Barreiro, J. & Fritsch, D. (2018). Generation of visually aesthetic and detailed 3D models of historical cities by using laser scanning and digital photogrammetry. *Digital applications in archaeology and cultural heritage*, 8, 57-64.
- Buyukdemircioglu, M., Kocaman, S. & Isikdag, U. (2018). Semi-automatic 3D city model generation from large-format aerial images. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(9), 339.
- Bremer, M., Mayr, A., Wichmann, V., Schmidtner, K. & Rutzinger, M. (2016). A new multi-scale 3D-GIS-approach for the assessment and dissemination of solar income of digital city models. *Computers, Environment and Urban Systems*, 57, 144-154.
- Brenner, C. & Haala, N. (1998). Rapid acquisition of virtual reality city models from multiple data sources. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 32, 323-330.
- CityGML (2019, 18 de junho). What is CityGML? [Web page]. Retrieved from <https://www.citygml.org/>.

Chen, K., Lu, W., Xue, F., Tang, P. & Li, L. H. (2018). Automatic building information model reconstruction in high-density urban areas: Augmenting multi-source data with architectural knowledge. *Automation in Construction*, 93, 22-34.

Donkers, S., Ledoux, H., Zhao, J. & Stoter, J. (2016). Automatic conversion of IFC datasets to geometrically and semantically correct CityGML LOD3 buildings. *Transactions in GIS*, 20(4), 547-569.

Ellul, C., Adjrad, M. & Groves, P. (2016, October). The Impact of 3D Data Quality on Improving GNSS Performance Using City Models-Initial Simulations. In *ISPRS Annals* (Vol. 4). International Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

Google Maps (2019, 15 de junho). Salvador, Pelourinho [Web page]. Retrieved from <https://www.google.com.br/maps>.

Gröger, G. & Plümer, L. (2012). CityGML–Interoperable semantic 3D city models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 71, 12-33.

Jaugsch, F. & Löwner, M. O. (2016). Estimation of solar energy on vertical 3D building walls on city quarter scale. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42.

Khemlani, L (2016, 15 de Junho). City Information Modeling. Retrieved from <http://www.aecbytes.com/feature/2016/CityInformationModeling.html>.

Khemlani, L (2005, 15 de Junho). Hurricanes and their Aftermath: How Can Technology Help? Retrieved from <https://web.archive.org/web/20111008085537/http://aecbytes.com/buildingthefuture/2005/HurricaneTechHelp.html>.

Kowlessar, J., Benjamin, J., Moffat, I. & Van Duivenvoorde, W. (2019). Multi-scaler 3D modelling to reconstruct an experiential landscape: An example from a worker's cottage at Mount Dutton Bay, South Australia. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 23, 478-489.

Lee, J. H. & Hancock, M. (2012). Toward a framework for smart cities: A comparison of Seoul, San Francisco and Amsterdam. *Research Paper, Yonsei University and Stanford University*.

Liang, J., Shen, S., Gong, J., Liu, J. & Zhang, J. (2017). Embedding user-generated content into oblique airborne photogrammetry-based 3D city model. *International Journal of Geographical Information Science*, 31(1), 1-16.

Organização das Nações Unidas (2019, 19 de fevereiro). ONU prevê que cidades abriguem 70% da população mundial até 2050 [Web page]. Retrieved from <https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701>.

Pendyala, V. G. K., Kalluri, H. K., Venkataraman, V. R. & Rao, C. V. (2019). Comparative Study of Automatic Urban Building Extraction Methods from Remote Sensing Data. In *First International Conference on Artificial Intelligence and Cognitive Computing* (pp. 605-611). Springer, Singapore.

Peronato, G., Bonjour, S., Stoeckli, J., Rey, E. & Andersen, M. (2016). Sensitivity of calculated solar irradiation to the level of detail: insights from the simulation of four sample buildings in urban areas. In *Proceedings of PLEA 2016, 32th international Conference on Passive and Low Energy Architecture* (No. CONF).

Prefeitura Municipal de Salvador (2019, 15 de outubro). Pelourinho dia e noite [Web page]. Retrieved from <http://pelourinhodiaenoite.salvador.ba.gov.br/>.

Shanoer, M. M. & Abed, F. M. (2018). Evaluate 3D laser point clouds registration for cultural heritage documentation. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(3), 295-304.

Strzalka, A., Alam, N., Duminil, E., Coors, V. & Eicker, U. (2012). Large scale integration of photovoltaics in cities. *Applied Energy*, 93, 413-421.

Tah, J. H. M., Oti, A. H. & Abanda, F. H. (2017). A state-of-the-art review of built environment information modelling (BeIM). *Organization, Technology and Management in Construction: an International Journal*, 9(1), 1638-1654.

Toschi, I., Nocerino, E., Remondino, F., Revolti, A., Soria, G. & Piffer, S. (2017a). GEOSPATIAL DATA PROCESSING FOR 3D CITY MODEL GENERATION, MANAGEMENT AND VISUALIZATION. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42.

Toschi, I., Ramos, M. M., Nocerino, E., Menna, F., Remondino, F., Moe, K., ... & Fassi, F. (2017b). Oblique photogrammetry supporting 3D urban reconstruction of complex scenarios. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 519-526.

Varduhn, V., Mundani, R. P. & Rank, E. (2015). Multi-resolution models: Recent progress in coupling 3D geometry to environmental numerical simulation. In *3D Geoinformation Science* (pp. 55-69). Springer, Cham.

Xu, X., Ding, L., Luo, H. & Ma, L. (2014). From building information modeling to city information modeling. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 19, 292-307.

Yalcin, G. & Selcuk, O. (2015). 3D city modelling with Oblique Photogrammetry Method. *Procedia Technology*, 19, 424-431.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Laís Simonelli – 33,34%

Arivaldo Leão de Amorim – 33,33%

Natalie Johanna Groetelaars – 33,33%