XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Uso da fotogrametria para obtenção de modelo 3D de edificações a partir da captura de imagens com veículo aéreo não tripulado (VANT)

Use of photogrammetry to obtain a 3D model of buildings from the capture of images with an unmanned aerial vehicle (UAV)

Rayara Pinto Costa
UFRGS | Porto Alegre | Brasil | rayarapintocosta@gmail.com
Luara Lopes de Araujo Fernandes
UFBA | Salvador | Brasil | luara.fernandes@gmail.com
Luís Filipe Muta
UFSC | Florianópolis | Brasil | lfmuta@outlook.com
Eduardo Luis Isatto
UFRGS | Porto Alegre | Brasil | isatto@ufrgs.br
Dayana Bastos Costa
UFBA | Salvador | Brasil | dayanabcosta@ufba.br

Resumo

O objetivo desse trabalho é avaliar a qualidade de um modelo gerado por fotogrametria com drone, comparando-o ao modelo BIM de projeto de uma edificação. O objeto de estudo foi um bloco do conjunto habitacional MCMV em Camaçari-BA. Os dados foram coletados com o VANT DJI Phantom 4 V1.2 e desenvolveu-se o modelo no software Autodesk Recap. Apesar de apresentar algumas falhas, o modelo proporcionou grau satisfatório de precisão quando comparado ao modelo 3D BIM de projeto, com erro médio de -1,68% e máximo de 8,97%. Sugere-se novas pesquisas empregando outros métodos de captura de informações para comparar a precisão.

Palavras-chave: BIM. Fotogrametria. Modelo 3D. VANT.

Abstract

This work aims to assess the quality of a model generated by photogrammetry using a drone, comparing it to the building BIM model. The object of study was a block of an MCMV housing

Como citar:
COSTA, R. P.; FERNANDES, L. L. A.; MUTA, L. F.; ISATTO, E. L.; COSTA, D. B. Uso da fotogrametria para obtenção de modelo 3D de edificações a partir da captura de imagens com veículo aéreo não tripulado (VANT). In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-13.

complex in Camaçari-BA. The data were collected with the DJI Phantom 4 V1.2 UAV and the model was developed in Autodesk Recap software. Despite having some flaws, the model provided a satisfactory degree of accuracy when compared to the 3D BIM design model, with an average error of -1.68% and a maximum of 8.97%. Further research using other information capture methods is suggested to compare accuracy.

Keywords: BIM. Photogrammetry. 3D Model. UAV.

INTRODUÇÃO

O setor da construção civil tem empregado a tecnologia da informação para ampliar a produtividade, a eficiência e a qualidade dos empreendimentos. Essas tecnologias digitais, embasadas na representação de dados visuais, possibilitam um melhor monitoramento e controle do desenvolvimento de obras [1], [2]. Dentre as tecnologias que possibilitam a representação visual está a Modelagem da Informação da Construção (*Building Information Modeling – BIM*) [3] [4].

Entretanto, além do BIM, que é utilizado predominantemente na fase de projeto e de construção, existe uma demanda crescente por técnicas e tecnologias que façam a aquisição de dados da construção de maneira semiautomática ou automática, em contraste aos métodos tradicionais de monitoramento do progresso da construção, os quais são demorados, caros e propensos a erros [1][5].

Técnicas como o escaneamento 3D e a fotogrametria têm sido utilizadas nesse aspecto para gerar modelos 3D [6]. A fotogrametria pode ser definida então com a geração de um modelo de nuvem de pontos 3D, conhecido como modelo as-built, de qualquer objeto a partir de fotografias digitais [7][8]. Esta técnica pode ser empregada para avaliar o progresso comparando o modelo construído com modelos 3D de BIM [5][9][7]. Além disso, essa técnica é mais barata que o escaneamento 3D [9][10] sendo, portanto, mais empregada.

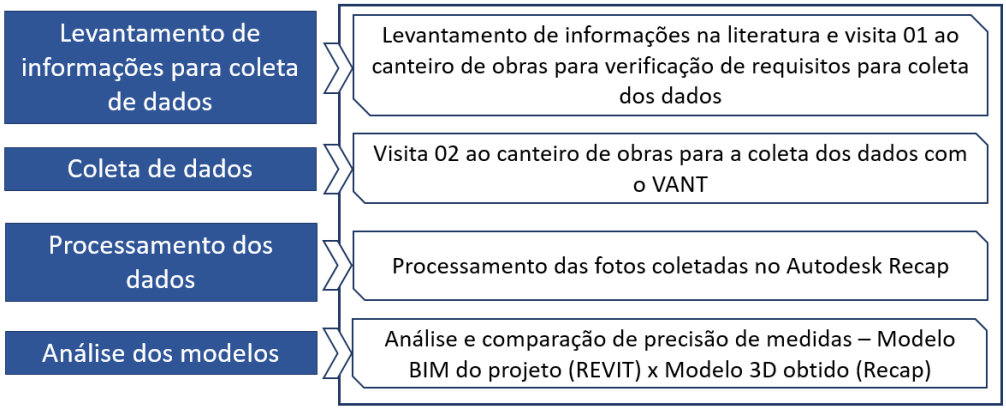
Todavia, apesar das vantagens aqui elencadas, ainda há uma hesitação na adoção da fotogrametria. Uma das causas é a falta de conhecimento das vantagens da tecnologia e, principalmente, dos procedimentos necessários para obtenção de um modelo adequado [2][5]. Na fotogrametria utilizando o VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) como instrumento de coleta, a qualidade do modelo e da nuvem de pontos está diretamente relacionado aos procedimentos utilizados (número de fotos capturadas, rota do drone, condições ambientais, etc), forma de processamento das imagens, especificações dos equipamentos, georreferenciamento, entre outros [2][12][13]. Além disso, outros desafios são elencados, como a detecção de alterações, oclusões e ruídos no modelo gerado e a dificuldade em juntar as fotografias do interior e do exterior para reconstruir um modelo sólido em vez de um modelo de superfície [14] [13].

Neste aspecto, esta pesquisa tem como objetivo avaliar a qualidade de modelo gerado por fotogrametria com uso de drone. Essa verificação se dará comparando suas medidas com as do modelo BIM de projeto da edificação e analisando como os procedimentos adotados para coleta de dados afetam a qualidade do modelo/nuvem de pontos.

MÉTODO DE PESQUISA

A estratégia de pesquisa adotada neste trabalho foi o estudo de caso. O delineamento do estudo está apresentado na Figura 1.

Figura 1: Delineamento do estudo



Fonte: o autor.

LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES PARA COLETA DE DADOS

A primeira etapa do desenvolvimento do estudo consistiu no levantamento de informações na literatura, relacionada aos requisitos necessários para o voo com o VANT e coleta das imagens fotográficas para geração de modelo 3D [15] [12] [16][17]. Dessa forma, foi realizada uma primeira visita ao canteiro de obras com o intuito de realizar registro fotográfico por meio da câmera de um celular e processar essas imagens no Autodesk Recap. Foram verificados alguns problemas como o posicionamento do indivíduo para captura das imagens e os primeiros modelos gerados não trouxeram um resultado adequado para geração do modelo 3D. Assim, optou-se por utilizar um drone para auxiliar na captura de imagens.

COLETA DE DADOS

A coleta dos dados foi desenvolvida em um canteiro de obras de uma habitação de interesse social, parte do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), localizada na cidade de Camaçari-BA (Figura 2). A obra possui área construída total de 25.596,25 m², composta por 24 edifícios residenciais de 5 andares e área comum condominial composta por 25781,34.

Figura 2: Canteiro de obras no qual a coleta de dados foi realizada



Fonte: o autor.

A segunda etapa do estudo consistiu no levantamento dos registros fotográficos a partir de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), popularmente conhecido como drone, modelo DJI Phantom 4 V1.2. O drone possui uma câmera EXMOR ½.3" de 20 megapixels acoplada, a qual captura fotos e vídeos, e os disponibiliza nos formatos JPEG e DNG (fotos) e MP4 (vídeos). A operação e controle da aeronave foi realizada a partir de controle remoto e do aplicativo DJI GO 4, instalado em um smartphone Android Samsung Galaxy A5. Estes equipamentos foram disponibilizados pelo Grupo de Pesquisa e Extensão em Gestão e Tecnologia das Construções (GETEC) da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

O voo foi realizado em 29 de outubro de 2020, por volta das 09:15 da manhã. O protocolo de voo foi dividido em três etapas principais, conforme orienta Rey (2020) [18]:

(a) Antes do voo - foram verificadas as condições do voo, como a presença de postes e rede elétrica, árvores, condições climáticas. Vale ressaltar a ida ao canteiro foi adiada duas vezes devido ao período de chuvas no local. No dia do voo, o equipamento alertou diversas vezes, através do celular, que havia muito vento na região, recomendando cautela na realização do percurso.

Também foram verificadas as condições do equipamento, objetivo e dados do voo, percurso do VANT e posicionamento do piloto e do observador [18]. Os itens a serem verificados nesta etapa foram estabelecidos através de estudos e estão definidos na Figura 3[18].

Figura 3: Check-list para início da missão com VANT

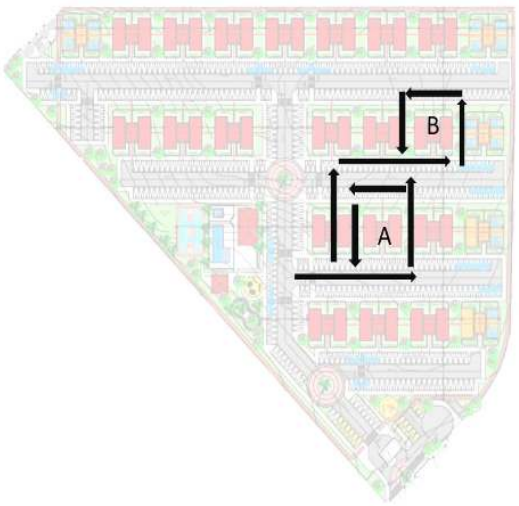
Checklist para início da Missão com VANT		Comentários
1. Retirar controle remoto da caixa	❑	
2. Ligar roteador (tablet ou celular)	❑	
3. Verificar cartão SIM	❑	
4. Ligar controle remoto	❑	
5. Levantar antenas	❑	
6. Retirar VANT da caixa	❑	
7. Remover proteção da câmera	❑	
8. Inserir cartão micro SD	❑	
9. Inserir bateria do VANT	❑	
10. Colocar o VANT em lugar aberto e seguro para a decolagem e para que ele possa retomar a localização se a função "return to HOME" for acionada	❑	
11. Checar encaixe das hélices	❑	
12. Ligar bateria do VANT	❑	
13. Conectar cabo USB	❑	
14. Ligar aplicativo de controle (DJI go)	❑	
15. Verificar visualização da câmera	❑	
16. Verificar conexão de satélite (número)	❑	
17. Verificar níveis de bateria para um voo seguro (bateria do VANT, do roteador e do controle remoto) (%)	❑	
18. Verificar a indicação de "safe to fly" no aplicativo de controle	❑	

Dados do Voo	
Data	
Localização	
Fase de projeto	
Condições climáticas	
Horário de início	
Nome do Piloto	
Nome do observador	
Modalidade do Voo	autônomo manual

Fonte: [18].

(b) durante o voo – foi realizada a coleta das informações em campo. O percurso VANT está apresentado na Figura 4. O trajeto foi realizado capturando fotos do canteiro como um todo e de dois edifícios em específico (A e B na Figura 4). Foram necessárias duas pessoas para a realização do voo: um piloto e um observador. O piloto possuía treinamento adequado para essa atividade.

Figura 4: Percurso do VANT no canteiro de obra estudado



Fonte: o autor.

Uma dificuldade associada à realização do voo é a duração da bateria do equipamento, que é de apenas 15 minutos. O VANT utilizado possui duas baterias disponíveis, o que permite, no total, 30 min de voo. Ao atingir 30% de bateria o equipamento emite um sinal visual e sonoro de alerta para retorno da aeronave, visando um pouso seguro. Em caso de perda de conexão, o equipamento, através do GPS, retorna de maneira automática para a posição de onde decolou. Assim, é importante que a decolagem seja feita de um local aberto e sem restrições para o pouso, pois caso haja um erro no cálculo do equipamento, a aterrissagem ainda seja realizada de maneira segura. Além disso, é fundamental que as rotas estejam bem traçadas e a quantidade de fotos necessárias seja estabelecida antes do voo, para evitar a necessidade de novas idas ao canteiro.

(c) após o voo – finalização do voo e registro dos dados. Após o estacionamento da aeronave, a mesma foi conectada a um notebook através de cabo USB para transferência das fotos capturadas (101 fotos no total).

PROCESSAMENTO DOS DADOS

Após esta etapa, foi realizado o processamento das imagens no software *Autodesk Recap Photo* para geração de um modelo a partir das fotos coletadas pelo VANT. O edifício A foi escolhido para a geração do modelo 3D, uma vez que este já estava em uma fase mais avançada e poderíamos explorar os detalhes de forma mais precisa.

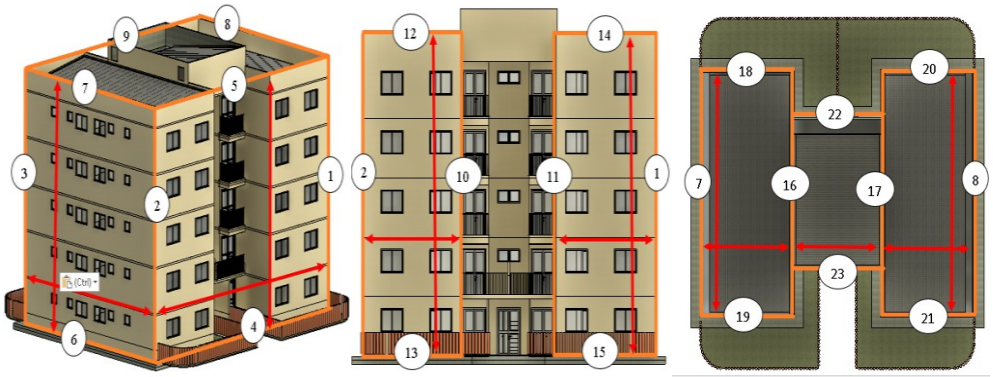
Foram realizadas 5 tentativas de modelagem, sendo a última adotada no modelo final. As três primeiras tentativas de modelagem visaram a obtenção de um modelo específico para o edifício A (Figura 4), compreendendo cerca de 50 fotos. Porém,

observou-se que os modelos obtidos em cada uma dessas tentativas apresentavam diversos vazios e distorções, além de partes do canteiro que o software foi identificando nas fotos. A solução adotada para obter um modelo com menos imperfeições foi gerar modelos com praticamente todas as fotos obtidas com o drone (foram obtidas 101 fotos e o software só permite a inserção de 100, uma vez que se utilizou uma versão estudantil).

ANÁLISE DOS MODELOS

Nesta etapa, analisou-se a qualidade do modelo *Recap* comparando-o ao modelo BIM da edificação. Para facilitar a visualização do modelo produzido por fotogrametria, eliminou-se, com uso de ferramenta de seleção do *Recap*, todos os elementos irrelevantes contidos ao redor da edificação estudada. Além disso, o modelo passou por tratamento para preencher vazios inicialmente não detectados pelo software e para suavizar seus limites. Vale ressaltar, que o modelo está geolocalizado, não podendo assim ser transformado ou ter sua escala alterada. Posteriormente, definiu-se dimensões horizontais e verticais, conforme Figura 5, para investigar a precisão do modelo gerado por fotogrametria comparativamente ao modelo BIM produzido no software *Autodesk Revit*.

Figura 5: Medidas gerais (à esquerda), de elementos de fachada (ao centro) e do telhado (à direita) da edificação.



Fonte: o autor.

RESULTADOS

O modelo gerado no software *Recap* por fotogrametria está apresentado na Figura 6. Pode-se observar que o mesmo possui aparência similar à edificação estudada, embora essa técnica apresente a limitação de ser dependente do que é capturado nas fotos [19]. Assim, uma adequada sequência de fotos e a boa qualidade das mesmas são essenciais para garantir um modelo representativo.

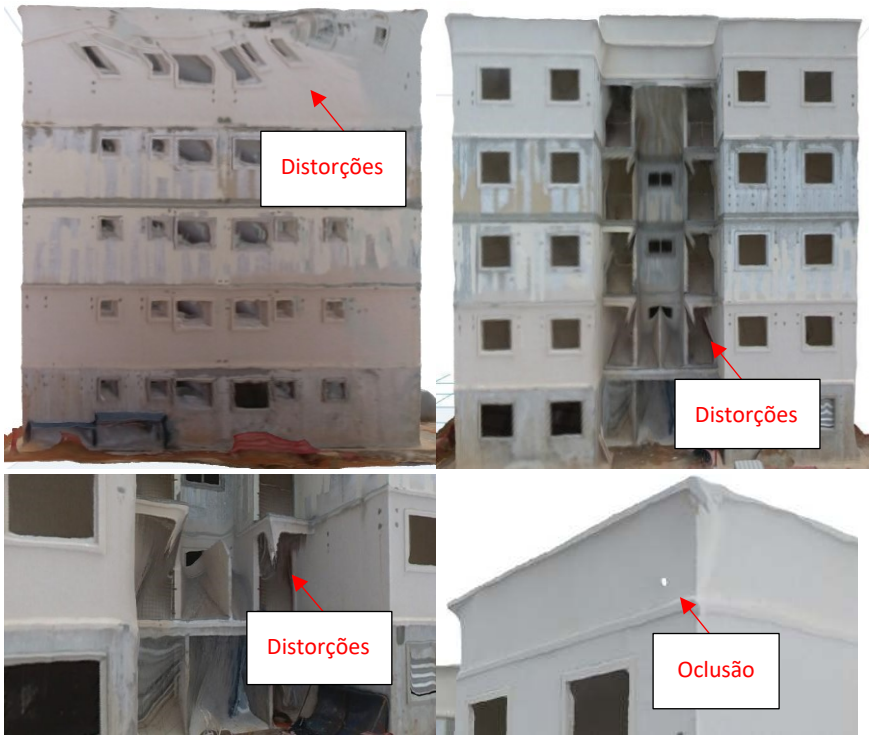
Figura 6: Modelo gerado no Recap por fotogrametria com diferentes vistas: geral (à esquerda acima); fachada I (à direita acima), fachada II (à esquerda abaixo) e cobertura (à direita abaixo).



Fonte: o autor.

Entretanto, embora esse modelo seja visualmente similar à edificação estudada, ele contém certas inconsistências, conforme apresentado na Figura 7. Alguns pontos apresentam representação errônea da aparência e das medidas. Isso acontece quando o modelo tenta autogerar a estrutura por ausência de informações suficientes. Ou ainda, pode haver a presença de vazios que em alguns casos podem ser corrigidos. As oclusões podem ser eliminadas no software *Recap* na função *Edit* com o emprego da ferramenta *Fill Hole*. Caso o software não consiga detectá-los, pode-se empregar também a função *Detect and fix model issues* em *Analyze*. Outra opção é alimentar o modelo com novas fotos das regiões onde foram observadas as inconsistências para realizar novo processamento. Lembra-se, entretanto, que o software na versão estudante possui restrição de 100 fotos. Além disso, para o caso aqui avaliado não foi possível revisitar o local para retirar novas fotos.

Figura 7: Inconsistências do modelo gerado pelo software Recap a partir das fotos coletadas pelo drone: representação errônea da aparência e medidas (à esquerda acima), (à direita acima) e (à esquerda abaixo); presença de vazios (à direita abaixo).



Fonte: o autor.

Após a criação do modelo no *Recap*, o mesmo foi exportado para formato FBX e convertido por meio do software FME *workbench* para DWG. Em seguida, abriu-se o formato DWG no software Autodesk Revit para a coleta das dimensões verticais e horizontais definidas na seção Métodos. A Figura 8 apresenta a nuvem de pontos gerada por fotogrametria e aplicada no software *Autodesk Revit*. Nota-se nesse modelo que algumas arestas estão onduladas, ou seja, com deformações, o que pode comprometer a precisão de certas medidas. Desse modo, as mesmas podem variar moderadamente de acordo com o usuário.

[2][12][13]**Figura 8: Nuvem de pontos gerada por fotogrametria e aplicada no software Autodesk Revit: geral (à esquerda), fachada I (ao centro) e fachada II (à direita) da edificação.**



Fonte: o autor.

Além disso, também foram coletadas as dimensões horizontais e verticais do modelo BIM no software *Autodesk Revit* para a comparação da precisão dos dois exemplares.

Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1. Com exceção das medidas N. 22 (ΔL = 0,04 m) e 23 (ΔL = 0,05 m), todas as dimensões avaliadas do modelo gerado com fotogrametria foram superiores às medidas do modelo BIM, com erro médio de -0,11 m (-1,68%) e erro máximo de 0,42 (8,97%) na dimensão n. 9. Os três maiores desvios dimensionais, foram os de números 9 (0,42 m), 8 (0,306 m) e 5 (0,302 m), sendo esses localizadas no telhado da edificação. Esses resultados indicam a existência de certa divergência entre os dois modelos, o que pode sugerir inadequação entre o *as-built* e o modelo BIM de projeto, ou a falta de precisão do modelo gerado por fotogrametria. Para o caso aqui avaliado, sabe-se que o modelo apresentou certo nível de inconsistência com distorções e oclusões, o que pode ter afetado a qualidade do mesmo. Deve-se atentar que na fotogrametria por VANT a qualidade do modelo influi na aplicação fim. O modelo gerado depende diretamente do número e qualidade das fotos tiradas, do processamento de imagem, da nuvem de pontos, das especificações dos equipamentos, do georreferenciamento, entre outros [2][12] [13]. Assim, sugere-se que sejam estabelecidas margens de tolerância condizentes com o tipo de aplicação do modelo de fotogrametria afim de identificar o nível de adequação do mesmo.

Tabela 1: Comparação das dimensões verticais e horizontais do modelo BIM e por fotogrametria

N. dimensão	L_1 (As-Built BIM) [m]	L_2 (Fotogrametria) [m]	ΔL (m)	ΔL (%) *
1	14,960	15,006	-0,046	-0,307
2	14,960	15,034	-0,074	-0,492
3	14,960	15,096	-0,135	-0,898
4	18,267	18,447	-0,180	-0,977
5	18,267	18,569	-0,302	-1,628
6	13,707	13,708	-0,001	-0,007
7	13,707	13,763	-0,056	-0,408
8	13,707	14,013	-0,306	-2,184
9	18,267	18,694	-0,427	-2,284
10	14,960	14,999	-0,039	-0,257
11	14,960	15,044	-0,084	-0,558
12	0,610	0,638	-0,028	-4,314
13	0,610	0,62672	-0,016	-2,604
14	0,610	0,655	-0,045	-6,830
15	0,610	0,629	-0,019	-2,977
16	13,707	13,934	-0,227	-1,631
17	13,707	13,976	-0,269	-1,924
18	0,621	0,665	-0,044	-6,664
19	0,621	0,656	-0,035	-5,367
20	0,621	0,665	-0,044	-6,667
21	0,621	0,660	-0,039	-5,965
22	0,585	0,545	0,040	7,402
23	0,585	0,537	0,048	8,968
		Erro médio ($\varepsilon_{méd}$)*	-0,1	-1,67

	Erro máximo ($\varepsilon_{máx}$)*	0,42	8,97%

* Os seguintes itens foram calculados conforme as fórmulas:

Eq 1. $\Delta L = L_1 - L_2$

Eq 2. $\Delta L\ (\%) = ((L_1/L_2) - 1) * 100$

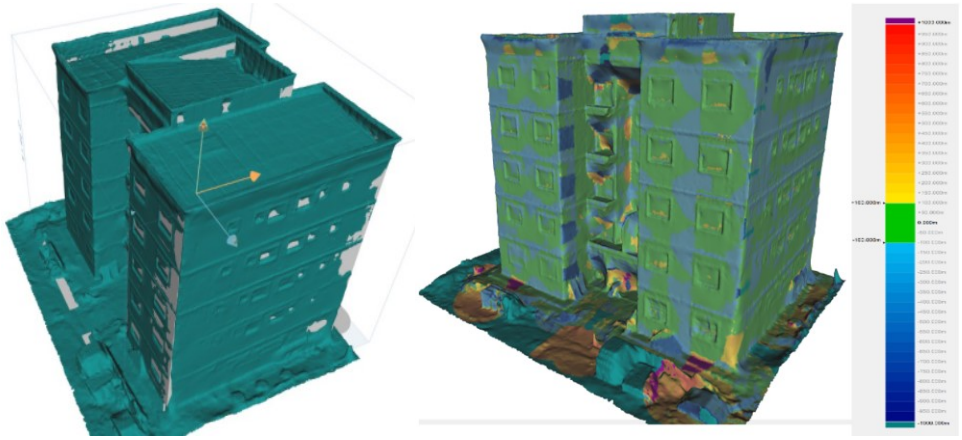
Eq 3. $\varepsilon_{méd} = (\sum_0^n \Delta L)/n$

Eq4. $\varepsilon_{máx} = \Delta L_{máx}$

Fonte: o autor.

Finalmente, após a geração do modelo por fotogrametria e avaliação da representatividade do modelo manualmente, os resultados da comparação do modelo do software *Recap* com o modelo 3D de projeto são mostrados na Figura 10. Nessa Figura, os dois modelos são sobrepostos no software *Recap* onde é feita uma segunda avaliação da sua precisão. Na Figura 10 **(à direita)** tem-se que as áreas em verde possuem uma variação de 0,1 m nas medidas, enquanto aquelas em escalas de azul e amarelo/vermelho possuem variações entre 0,1 m e 1 m respectivamente. No modelo, observa-se a prevalência da cor verde e de tonalidade de azul claro.

Figura 10 - Sobreposição dos modelos (à esquerda) e relatório de comparação da precisão pelo software Recap (à direita).



Fonte: o autor.

DISCUSSÕES

A partir dos resultados expostos na seção anterior, verifica-se que o modelo gerado precisa de melhorias Ele mostrou aparência similar à edificação do estudo de caso, mas com certos defeitos de representação errônea ao tentar autogerar partes da edificação por ausência de informações suficientes. Logo, a precisão das dimensões do modelo tem certa limitação. Como mencionado anteriormente, algumas medidas mostraram um grau menor de precisão pois alguns elementos não foram adequadamente capturados pelas imagens coletadas.

O emprego de veículo aéreo não tripulado (VANT) foi importante para conseguir uma sequência apropriada de fotos com ampla visão da edificação, o que não foi possível com o emprego de imagens obtidas por câmera fotográfica de celular, conforme teste realizado na primeira visita. O VANT é uma ferramenta de relativo baixo custo, quando

comparada a outras tecnologias que são usadas para o mesmo fim, sendo acessível para uso em canteiros de obra. Além disso, o equipamento possibilitou o acesso a locais com restrições de circulação.

Apesar dos benefícios apresentados, o uso VANT possui uma série de limitações que precisam ser consideradas no processo de tomada de decisão, sendo elas:

- Dependência direta das condições climáticas: o tempo deverá se apresentar sem chuvas e ventos para ser possível realizar voo com o drone. O equipamento que foi utilizado nesse estudo informa se as condições climáticas estão adequadas, porém as duas pessoas responsáveis por este devem estar atentas, pois a falta de atendimento a essas condições (ou a mudança repentina delas) podem tornar o uso dessa ferramenta inseguro no canteiro de obras;
- Baixa capacidade da bateria do equipamento: essa limitação é apresentada em diversos estudos que utilizam o drone como ferramenta de captura de imagens. O VANT utilizado nesse estudo possui duas baterias, com 15 minutos de duração em voo cada. Assim, as rotas de voo e os elementos a serem capturados devem estar bem estabelecidos antes da coleta dos dados propriamente dita. Em canteiros de grande extensão e com necessidade de captura de muitos elementos, pode ser necessário muitos dias de voo ou a compra de várias baterias a serem substituídas a cada 15 min, para efetiva coleta;
- Necessidade de capacitação prévia: é mandatória a realização de capacitação dos profissionais envolvidos, através de treinamentos para uso do VANT. Estas capacitações devem incluir os procedimentos para a realização dos voos, bem como a compreensão das regulamentações para uso do VANT publicadas pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicação) e DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo) [18] [20];
- Atendimento às documentações e exigências das agências regulatórias: para voos até 120m, a ANAC e a ANATEL exigem uma série de documentos, sendo eles: (a) homologação e cadastro da aeronave na ANATEL, (b) cadastro emitido junto à ANAC e sua identificação na aeronave, (c) seguro com cobertura de danos a terceiros (exceto das aeronaves de entidades controladas pelo Estado), (d) avaliação de risco, (e) manual de voo [18].
- Além disso, a DECEA faz uma série de recomendações relativas a utilização do espaço aéreo, conforme apresentado por Rey (2020) [18], sendo elas: (a) o distanciamento de terceiros, isto é, realizar voos em áreas que a distância horizontal entre a aeronave e as pessoas não envolvidas e não anuentes, seja suficiente para não oferecer riscos à segurança (distância horizontal mínima de 30m), (b) o distanciamento de 30m das edificações (com a anuência do proprietário pode-se realizar operações específicas em distâncias menores), (c) respeito ao espaço aéreo de aeroportos e heliportos, sendo o local de operação do VANT fora do raio de 5,4 km do aeroporto para voos de até 30m de altura, e fora do raio de 9 km para voos com altura entre 30m e 120m;

Ainda com todas as limitações apresentadas acima, considerando a precisão obtida nesse estudo e o tempo gasto para produção dos modelos, tem-se no VANT uma alternativa bastante adequada para o levantamento de dados de projetos já existentes, ou mesmo para o controle de qualidade em obras durante o processo construtivo.

CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade de modelo gerado por fotogrametria com uso de drone. Primeiramente, embora o modelo apresente aparência similar ao modelo BIM, ele contém em alguns pontos, representação errônea de medidas e da aparência, decorrentes da tentativa do programa de autogerar partes da edificação por ausência de informações suficientes. Além disso, precisão foi avaliada a partir da comparação das medidas com o modelo BIM do edifício no *Autodesk Revit*. O modelo gerado por fotogrametria apresentou erro máximo e médio de 8,97% e -1,68%. Isso mostra o quão importante são os procedimentos de coleta de dados e como eles podem afetar o resultado, inclusive quanto à precisão. Sugere-se que trabalhos futuros investiguem o uso de diferentes tecnologias para coletar dados para geração de modelo 3D de um mesmo elemento, sendo possível assim verificar quais tecnologias oferecem melhor precisão, os benefícios e limitações em cada uma delas. Também se sugere complementarmente, o desenvolvimento de soluções (ex. inteligência artificial) para auxiliar na detecção de alterações e incertezas no modelo, como ruídos e oclusões.

REFERÊNCIAS

[1] YANG, J.; PARK, M. W.; VELA, P. A.; GOLPARVAR-FARD, M. Construction performance monitoring via still images, time-lapse photos, and video streams: Now, tomorrow, and the future. **Advanced Engineering Informatics**, vol. 29, n. 2, pp. 211–224, 2015. DOI: 10.1016/j.aei.2015.01.011

[2] QURESHI, A. H.; ALALOUL, W. S.; WING, W. K.; SAAD, S.; AMMAD, S.; MUSARAT, M. A. Factors impacting the implementation process of automated construction progress monitoring. **Ain Shams Eng. J**., vol. 13, n. 6, p. 101808, 2022. DOI: 10.1016/j.asej.2022.101808.

[3] ÁLVARES, J. S. **Monitoramento visual do progresso de obras com uso de mapeamento 3D de canteiros por VANT e modelos BIM 4D.** 2019. 246 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019.

[4] DEZEN-KEMPTER, E.; SOIBELMAN, L.; CHEN, M.; MÜLLER, A.V. Escaneamento 3D a laser, fotogrametria e modelagem da informação da construção para gestão e operação de edificações históricas. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 113-124, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v10i2.102710

[5] ALALOUL, W. S.; QURESHI, A. H.;MUSARAT, M. A.;SAAD, S. Evolution of close-range detection and data acquisition technologies towards automation in construction progress monitoring. **J. Build. Eng.**, vol. 43, n. June, p. 102877, 2021. DOI: 10.1016/j.jobe.2021.102877.

[6] GROETELAARS, N. J.; AMORIM, A. L. Tecnologia 3D Laser Scanning: características, processos e ferramentas para manipulação de nuvens de pontos. n: SIGRADI 2011 -

CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 15., 2011, Santa Fé. **Anais eletrônicos...** Santa Fé: SIGRADI, 2011.

[7] REJA, V. K.; VARGHESE, K.;HA, Q. P.Evolution of close-range detection and data acquisition technologies towards automation in construction progress monitoring. **Autom. Constr**., vol. 138, n. June, p. 104245, 2022. DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104245.

[8] MELO JÚNIOR, C. M.; EVANGELISTA JUNIOR, F.; SILVA, L. S.; NEPOMUCENO, A. A. Geração de mapas de danos de fachadas de edifícios por processamento digital de imagens capturadas por Vant e uso de fotogrametria digital," **Ambient. Construído**, vol. 18, n. 3, pp. 211–226, 2018. DOI: 10.1590/s1678-86212018000300277.

[9] TANNÚS, J.; FAVARETO, I.; LAMOUNIER JÚNIOR, E.; CARDOSO, A. Comparação entre Técnicas de Fotogrametria e Escaneamento de Luz Estruturada para Reconstrução de Objetos em 3D. In: WORKSHOP DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - SIMPÓSIO DE REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA (SVR), 21, 2019, Rio de Janeiro. **Anais** [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2019. p. 21-22. DOI: https://doi.org/10.5753/svr_estendido.2019.8458

[10] JAMES, D. W.; BELBLIDIA, F.; ECKERMANN, J. E.; SIENZ, J. An innovative photogrammetry color segmentation based technique as an alternative approach to 3D scanning for reverse engineering design. **Comput. Aided. Des. Appl.**, vol. 14, n. 1, pp. 1–16, 2017. DOI: 10.1080/16864360.2016.1199751.

[11] WHITING, M.; SALLEY, S. W.; JAMES, D. K.; KARL, J. W.; BRUNGARD, C. W. Rapid bulk density measurement using mobile device photogrammetry. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, vol. 84, no. 3, pp. 811–817, 2020. DOI: 10.1002/saj2.20063.

[12] SUN, J.; PENG, B.; CHANGXIN, C.; CHEN, K.; ZHONG, B.; WU, J. Building displacement measurement and analysis based on UAV images. **Automation in Construction**, vol. 140, n. December, 2021, p. 104367, 2022.

[13] HUANG, R.; XU, Y.; HOEGNER, L.;STILLA, U. Semantics-aided 3D change detection on construction sites using UAV-based photogrammetric point clouds. **Autom. Constr.**, vol. 134, n. June, p. 104057, 2022, DOI: 10.1016/j.autcon.2021.104057.

[14] HU, X.; ZHOU, Y.; VANHULLEBUSCH, S.; MESTDAGH, R.; CUI, Z.; LI, J..Smart building demolition and waste management frame with image-to-BIM. **J. Build. Eng**., vol. 49, n. January, p. 104058, 2022, DOI: 10.1016/j.jobe.2022.104058.

[15] ELKHRACHY, I. Accuracy Assessment of Low-Cost Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry. **Alexandria Eng. J.**, vol. 60, no. 6, pp. 5579–5590, 2021. DOI: 10.1016/j.aej.2021.04.011.

[16] FREIMUTH, H.; KÖNIG, M. Planning and executing construction inspections with unmanned aerial vehicles. **Autom. Constr**., vol. 96, n. October, pp. 540–553, 2018.DOI: 10.1016/j.autcon.2018.10.016.

[17] NEX, F. *et al.* UAV in the advent of the twenties: Where we stand and what is next. ISPRS J. Photogramm. **Remote Sens.**, vol. 184, n. December, pp. 215–242, 2022. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2021.12.006.

[18] REY, R. Sistema informatizado para inspeção da segurança em canteiros de obra apoiado por VANT, dispositivos móveis e técnicas de reconhecimento de padrão. **Dissertação** (mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2020.

[19] ZHAO, S.; KANG, F.; LI, J.;MA, C. Structural health monitoring and inspection of dams based on UAV photogrammetry with image 3D reconstruction. **Autom. Constr**., vol. 130, no. July, p. 103832, 2021. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103832.

[20] AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Regulamento Brasileiro da aviação Civil Especial (RBAC-E nº94)**. Brasília, DF: 2017.