XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8807

Fotogrametria com UAVs de baixo custo: Análise de viabilidade na documentação e *retrofit* do patrimônio moderno

Low-cost UAV photogrammetry: A feasibility analysis for modern heritage retrofitying

Maurício Carvalho Ayres Torres
Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Porto Alegre | Brasil | mauricio.torres@ufrgs.br
Lucas Pinzon Brauwers
Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Porto Alegre | Brasil | lucas.pinzon@ufrgs.br
Helena Rahn Amaral
Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Porto Alegre | Brasil | helena.amaral@ufrgs.br
Caetano de Oliveira Teixeira
Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Porto Alegre | Brasil | caetano.teixeira@ufrgs.br

Resumo

A reabilitação do patrimônio moderno enfrenta a escassez de documentação técnica das edificações, enquanto métodos de levantamento físico tradicionais revelam-se morosos, arriscados e sujeitos a erro humano. Pesquisas focam em soluções de alto custo, negligenciando o processamento de nuvens de pontos massivas em *softwares* BIM. Assim, este estudo investiga o uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (UAVs) de baixo custo como alternativa ágil e confiável para projetos de *retrofit*. O método emprega fotogrametria digital na geração de nuvens de pontos, comparando dois *softwares*, destinados à integração em ambientes HBIM (*Heritage Building Information Modeling*) essenciais para a preservação do patrimônio construído. Os resultados estabelecem correlação entre precisão geométrica e tamanho de arquivo, definindo parâmetros que favorecem a interoperabilidade e a fluidez gráfica operacional. Conclui-se que a democratização dessas técnicas é uma solução para resgatar a memória arquitetônica e fundamentar intervenções eficientes, superando barreiras metodológicas na preservação do patrimônio arquitetônico.

Palavras-chave: Nuvem de pontos. Levantamento *as-is*. Reabilitação de edificações. Desempenho computacional. HBIM.

Abstract

The rehabilitation of modern architectural heritage faces the challenge of scarce technical documentation, while traditional field survey methods are often time-consuming, costly, risky, and prone to human error. This study investigates the feasibility of low-cost Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) as a non-destructive alternative to support retrofit projects. Recent studies have primarily focused on high-cost solutions, overlooking the impact of processing large point clouds in BIM software environments. The methodology employs digital photogrammetry (SfM) for point cloud generation intended for integration into HBIM (Heritage Building Information Modeling) workflows, which are essential for the preservation of built heritage. The results reveal a correlation between geometric accuracy and file size, defining parameters that enhance interoperability and computational efficiency. It is concluded that the democratization of these techniques represents a feasible solution to recovering architectural memory and supporting efficient interventions, overcoming methodological barriers in architectural heritage preservation.

Keywords: Point cloud. As-is survey. Building Rehabilitation. Computational performance. HBIM.

INTRODUÇÃO

A preservação do patrimônio edificado é um pilar da sustentabilidade e identidade urbana. Nesse cenário, o *retrofit* moderniza instalações e adequa a eficiência e acessibilidade, sem descaracterizar a arquitetura original [1]. Em centros como Porto Alegre, com vasto acervo modernista construído [2, 3], essa salvaguarda é urgente. Contudo, as intervenções são dificultadas pela perda, incompletude ou inexistência da documentação original [4]. Sem essa memória, os levantamentos *as-is* tornam-se complexos e o planejamento da obra desenvolve-se sobre incertezas geométricas.

Para suprir essa lacuna, recorre-se a medições manuais de varredura a laser. Em edificações da arquitetura moderna, com fachadas complexas, elementos em balanço e geometrias singulares, demanda-se maior tempo de medição e estão sujeitos a simplificação na representação de detalhes arquitetônicos [5]. Além disso, a documentação de áreas elevadas requer múltiplas posições de observação ou estruturas de acesso, aumentando a complexidade e os custos das atividades de campo [6,7]. Nesse contexto, faz-se necessários métodos que ampliem o acesso visual aos elementos construtivos e às técnicas tradicionais de levantamento.

Como forma de complementá-las, métodos baseados em Veículos Aéreos Não Tripulados (UAVs), pela fotogrametria digital aérea, associada à técnica de Structure from Motion (SfM), possibilitam a reconstrução tridimensional de edificações pelo processamento de fotografias com múltiplos pontos de vista, gerando nuvens de pontos densas e detalhadas [8]. Esses dados subsidiam a elaboração de modelos HBIM e de Gêmeos Digitais para diagnóstico, monitoramento e simulação do patrimônio construído [9].

Apesar de promissores, a literatura concentra-se na validação de equipamentos com sensores avançados e sistemas de posicionamento em tempo real (*Real-Time Kinematic* – RTK), associados a fluxos de voo automatizados [10]. Embora essas soluções ampliem a precisão e a repetibilidade dos levantamentos, seus custos de aquisição e operação limitam sua adoção por pequenos escritórios e instituições de preservação patrimonial. Em contrapartida, plataformas de baixo custo podem ser alternativas para democratizar a documentação do patrimônio construído, se os parâmetros de captura forem controlados [11]. Ademais, ainda são escassos os estudos que investigam como a quantidade de imagens capturadas e a densidade das nuvens de pontos afetam o tempo de processamento, o uso de recursos computacionais (memória e processamento) e a interoperabilidade com plataformas BIM [12].

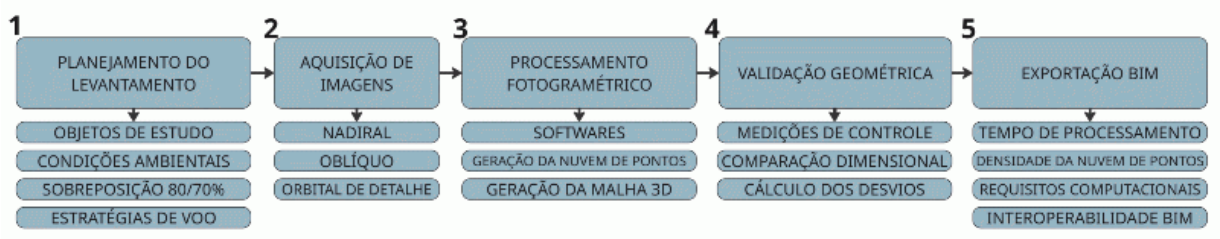
Nesse contexto, avalia-se o potencial de UAVs de baixo custo para a aquisição de dados fotogramétricos e modelagem geométrica de edificações existentes, considerando seus impactos na qualidade dos produtos gerados e no desempenho do processamento.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8807

METODOLOGIA

Esta pesquisa consiste em um estudo de caso comparativo de natureza aplicada e abordagem quantitativa, realizado em duas edificações modernistas do Campus Centro da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em Porto Alegre, RS. O método compreendeu cinco etapas: (1) planejamento do levantamento; (2) aquisição fotogramétrica de imagens pelo UAV de baixo custo; (3) processamento fotogramétrico nos *softwares*; (4) validação geométrica; e (5) exportação para integração em ambiente HBIM. A Figura 1 apresenta o fluxograma do método.

Figura 1: Fluxograma do método



Fonte: os autores.

OBJETOS DE ESTUDO

O objeto de estudo compreende os edifícios da Faculdade de Educação (FACED) e da Faculdade de Arquitetura (FA). Inventariados como patrimônio cultural [13], ambos representam a arquitetura moderna gaúcha e apresentam obsolescência térmica e energética, justificando intervenções de *retrofit* [14]. A FA já vem sendo estudada quanto à sua eficiência [15], mas necessitava de um modelo digital com medidas e caracterização da envoltória fidedignas. Com 5 pavimentos e área de 5.657 m², possui sua base maior e o segundo pavimento recuado, além de uma densa vegetação ao redor. Já o edifício da FACED tem 9 pavimentos e 5.580 m², com escassa proteção solar, ambientes que demandam a operação simultânea de até quatro aparelhos de ar-condicionado, tornando urgente um projeto de *retrofit* ambiental.

Contudo, a amnésia projetual inviabiliza a criação de modelos digitais geométricos e energéticos para análises, enquanto o uso de medições manuais pode expor pessoas a riscos de trabalho em altura, sendo suscetível a erros humanos, simplificações, e dependendo de uma extensa expedição *in loco* [16], justificando o uso de fotogrametria por meio de UAVs para a criação dos modelos digitais.

UAV, PLANEJAMENTO DO VOO E AQUISIÇÃO DE DADOS

Na captura da volumetria externa das edificações modernistas, optou-se por um UAV DJI Mini 4K (kit básico em torno de R$ 3.000,00), dotado de sensor CMOS 1/2.3" (12 MP) e autonomia de voo de 25 minutos por bateria. A adoção de plataformas de baixo custo tem sido amplamente discutida como vetor de democratização na documentação patrimonial, desde que os parâmetros de captura sejam controlados [11]. Grande parte dos estudos utiliza UAVs com SDK (*Software Development Kit*) [12] aberto, permitindo que *softwares* externos controlem automaticamente o plano de

voo [17]. Como o DJI Mini 4K possui SDK fechado, o levantamento foi realizado por pilotagem manual assistida.

O percurso manual foi estruturado de forma híbrida, contemplando três tipologias de trajetória:

- Voo Nadiral (Grelha Manual): câmera a 90° em relação ao solo, para captura das coberturas;
- Voo Oblíquo: inclinação entre 45° e 60°, para mapeamento de fachadas e marquises;
- Voo Orbital de Detalhe: aproximações em torno de pormenores arquitetônicos complexos, assegurando a redundância topológica exigida pelo SfM.

Para compensar a ausência de automação e garantir a sobreposição mínima recomendada de 80% frontal e 70% lateral [18], o operador utilizou linhas de grelha do aplicativo oficial com captura temporizada a cada 2 segundos, ajustando a velocidade de deslocamento do UAV para menos que 0,5 m/s. Devido à verticalidade dos objetos, as fotografias foram obtidas em alturas variáveis ao longo da fachada, priorizando um afastamento constante que assegura um GSD (Ground Sample Distance) subcentimétrico. Os voos foram realizados sob condições de iluminação difusa, uma vez que sombras duras, projetadas por elementos de fachada, geram ruídos e deformações geométricas durante a correlação de pixels.

Os modelos foram georreferenciados a partir das coordenadas GNSS registradas pelo UAV nos metadados das imagens. Não foram utilizados Pontos de Controle Terrestre (GCPs) nem correções RTK. A acurácia dimensional dos modelos foi verificada por meio de aferições com trena laser Bosch modelo GLM50C, comparando-se medidas de referência obtidas em campo com aquelas extraídas dos modelos fotogramétricos. Foram avaliadas três dimensões de controle (eixos X, Y e Z), calculando-se os erros absoluto e relativo para os modelos gerados nos aplicativos.

PROCESSAMENTO FOTOGRAMÉTRICO E COMPUTACIONAL

Em laboratório, foram analisados os custos de licenciamento e características de processamento de quatro *softwares* (tabela 1) amplamente utilizados na geração de modelos geométricos a partir de imagens obtidas por UAVs. Com base nessa avaliação, os *softwares Agisoft Metashape Professional* 2.3.0 [18] e o *RealityScan* 2.1.1 [19] foram escolhidos para os testes, devido à relação entre custo, desempenho computacional e qualidade dos produtos gerados. Ambos foram ajustados para processarem as imagens em configurações medianas, definição que implica na redução controlada (cerca de 50%) da resolução das fotos durante o processamento, garantindo agilidade na geração dos modelos geométricos sem comprometer a acurácia visual necessária para os testes propostos.

Tabela 1: Aplicativos de processamento e características

Software	Processamento	Valor estudantil	Valor comercial
Agisoft Metashape Professional	Local / rede	R$ 850,00	R$ 17.000,00 vitalício
RealityScan - Epic Games	Local	Gratuito	Gratuito[1]
Autodesk ReCap Pro	Local / rede	Gratuito[2]	R$ 1.540,00/ano
DroneDeploy	Rede	Sob demanda	R$ 9.000,00/ano

Nota: [1] para empresas com faturamento até U$D 1M/ano; [2] limite de processamento de 100 fotos. Fonte: os autores.

A distinção computacional entre *o Metashape* e *RealityScan* baseia-se no hardware e no fluxo de reconstrução. O *Metashape* utiliza processamento *in-core* baseado em RAM, enquanto o *RealityScan* adota arquitetura *out-of-core* com maior uso de GPU para inferir a malha 3D diretamente dos mapas de profundidade, suprimindo a etapa da nuvem densa, além do armazenamento ROM temporário. Utilizou-se um notebook com processador Intel i7 12650H, 16GB de RAM e placa de vídeo RTX 3050 de 4GB. As especificações foram documentadas por influenciarem diretamente os tempos de processamento e os requisitos computacionais analisados neste estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O levantamento geométrico por UAV do edifício da Faculdade de Arquitetura teve duas tentativas: uma com 600 fotos, que resultou em indefinições, e outra com 2200 imagens. Já o edifício da Faculdade de Educação recebeu apenas uma tentativa de voo, com 200 fotos. Os *softwares* analisados também geraram erros, resultados e tempos de processamento diferentes.

FACULDADE DE ARQUITETURA

Na primeira tentativa, a captura foi feita seguindo à risca o percurso de voo nadiral, oblíquo e orbital para detalhes, com uma distância horizontal do edifício de no máximo 3 metros, também limitada pelas árvores ao redor. Esse voo de captura consumiu duas baterias. A geometria, de maneira geral, ficou condizente com o esperado (Figura 2a), porém com algumas esquadrias sem definição, nas zonas cegas abaixo do balanço do segundo pavimento (Figura 2b), e atrás das árvores na fachada nordeste (Figura 2c), evidenciando que foram poucas fotos capturadas para a complexidade da edificação.

Figura 2: Primeiro modelo da FA (a); falha quanto ao recuo (b) e quanto às árvores (c)



Fonte: os autores.

O *RealityScan* evidencia onde há menos polígonos (poucas fotos) para construir o modelo, mostrando que as partes com erro foram as menos calculadas.

Para corrigir essas falhas, realizou-se um segundo voo com cerca de 2.200 fotografias. Além do padrão híbrido já descrito, foram intensificadas as capturas orbitais de detalhe — com aproximações às árvores, à fachada e com a câmera inclinada para cima no trecho do recuo do segundo pavimento. Esse voo consumiu 4 baterias, com disparos a cada 1 segundo nas áreas mais críticas. No *Metashape*, o modelo apresentou textura borrada e nuvem de pontos inviável para importação direta para o aplicativo BIM sem decimação. No *RealityScan* surgiu um erro geométrico em que uma fachada ultrapassava o limite da adjacente (Figura 3a). Um erro de processamento nos panos de vidro apareceu (Figura 3b), embora sem impacto na modelagem geométrica. A vegetação interferiu principalmente na coloração da fachada, com efeito reduzido sobre a geometria (Figura 3c).

Figura 3: Falha das fachadas, mas recuo resolvido (a); erro no pano de vidro (b) e de coloração (c)



Fonte: os autores.

FACULDADE DE EDUCAÇÃO

O edifício da FACED possui geometria mais simples que o anterior, por conta da ausência de recuos e reentrâncias, e menos vegetação em seu entorno. Por isso, a captura e o processamento das imagens foram facilitadas.

O plano de voo descrito no método foi seguido e foram feitas capturas ao longo do corpo da edificação, com uma distância relativamente grande de 35 metros por não haver obstáculos visuais. Esse modelo (Figura 4a) apresentou apenas imperfeições sem impacto geométrico, ficando evidente o erro de processamento dos panos de vidro no *RealityScan* (Figura 4b), que não acontecem com tanta frequência no *Metashape* (Figura 4c).

Figura 4: Modelo da FACED (a); detalhe das esquadrias no RealityScan (b) e no Metashape (c)



Fonte: os autores.

A validação geométrica indicou desvios inferiores a 2,5% em todas as medições (tabela 2). Foram obtidas medidas longas, médias e curtas, em X, Y e Z, ao entorno da FA. A quantidade de fotografias empregadas não produziu variações significativas nas dimensões aferidas, com diferenças inferiores a 0,1% entre os modelos analisados. O

Metashape apresentou melhor desempenho na dimensão vertical (erro de 0,78%), enquanto o *RealityScan* obteve maior precisão na medição horizontal (erro de 0,21%). Considerando o conjunto das aferições, ambos os *softwares* produziram modelos com precisão compatível com aplicações de levantamento arquitetônico e modelagem HBIM voltadas a projetos de *retrofit*.

Tabela 2: Avaliação da precisão geométrica dos *softwares* analisados, referente à Faculdade de Arquitetura

Eixo	Referência (m) trena laser	*Agisoft Metashape*		*RealityScan*	
		Metros	Erro (%)	Metros	Erro (%)
X	44,804	45,486	1,52	45,860	2,36
Y	19,165	19,482	1,65	19,205	0,21
Z	4,754	4,791	0,78	4,669	1,79

Fonte: os autores.

PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

O processamento utilizou a lógica de estrutura a partir do movimento (SfM) para a reconstrução geométrica. Sem RTK, os *softwares* identificam pontos homólogos em áreas de sobreposição e, via triangulação da variação de perspectiva, estimam a posição da câmera e geram a nuvem de pontos inicial.

O processamento de imagens 4K revelou gargalos computacionais, com alta demanda por RAM e GPU. No *Agisoft*, a geração da nuvem densa superou 20 horas de processamento (tabela 3), resultando em arquivos pesados para o BIM. Para garantir fluidez, aplicou-se decimação de 70%, mantendo a fidelidade geométrica. Esse equilíbrio é vital para o *hardware* convencional em escritórios. Já o *RealityScan* definiu previamente o peso da nuvem, utilizando no máximo dez milhões de pontos para assegurar a interoperabilidade com programas BIM.

Tabela 3: Fotos, tempo e malha do processamento

Objeto	Fotos	RealityScan			Agisoft Metashape		
		Tempo	Pontos	Faces	Tempo	Pontos	Faces
Faculdade de Arquitetura	600	1 hora	10M	44M	6 horas	24M	51M
Faculdade de Arquitetura	2200	3 horas	10M	138M	20 horas	130M	422M
Faculdade de Educação	200	20 min	3M	19M	1 hora	14M	27M

Fonte: os autores.

Na análise qualitativa, superfícies especulares (vidros) geraram resultados distintos. O *RealityScan* apresentou ruídos e vazios devido à sua abordagem matemática estrita de correspondência de pixels. Já o *Agisoft Metashape* obteve maior coesão por usar algoritmos de interpolação e suavização, preenchendo falhas a partir da geometria de elementos adjacentes, como caixilhos.

Na digitalização para BIM, a nuvem de pontos foi o padrão adotado para evitar a sobrecarga de malhas poligonais. No *Agisoft*, a limpeza classificou a semântica e remoção manual; no *RealityScan*, o isolamento ocorreu por filtragem manual. Os dados foram exportados em formatos universais .LAS ou .E57, mas exigiram indexação no *Autodesk ReCap* para conversão em .RCP ou .RCS, permitindo a interoperabilidade no *software Revit*.

DISCUSSÃO

Os resultados corroboram os estudos de Fabris et al. [8] e Ulvi [10], que apontam a fotogrametria baseada em *Structure from Motion* (SfM) como alternativa para a documentação tridimensional do patrimônio construído. Os desvios inferiores a 2,5% indicam potencial para levantamentos arquitetônicos e modelagem HBIM, desde que sejam feitas verificações ao nível do solo.

A complexidade arquitetônica influenciou na estratégia de captura, na densidade da nuvem de pontos e no custo computacional. O edifício da Faculdade de Arquitetura demandou mais imagens e processamento que o da FACED, de geometria mais simples. Os resultados também reforçam a argumentação de Jiménez-Jiménez et al. [11] sobre a democratização dessas tecnologias. A ausência do RTK embarcado e de algoritmos de voo autônomo não impediu a obtenção de modelos adequados, desde que fossem adotadas estratégias de captura e controle geométrico.

Além da precisão geométrica, a viabilidade da fotogrametria para aplicações HBIM depende do equilíbrio entre qualidade do modelo e custo computacional. Nesse sentido, os resultados ampliam as discussões de Braila et al. [4] e Jiang et al. [16], demonstrando que o aumento da densidade das nuvens de pontos e a quantidade de imagens comprometem a interoperabilidade com plataformas BIM, exigindo otimização. Essa condição ficou evidente no edifício da FA cuja maior complexidade geométrica exigiu mais imagens resultando em nuvens de pontos mais densos, enquanto a FACED apresentou demandas computacionais significativamente menores.

Por fim, as diferenças entre *os softwares* influenciam a qualidade geométrica e a eficiência computacional do fluxo de trabalho. Assim, o estudo contribui para a literatura ao evidenciar a aplicação de UAVs de baixo custo na documentação patrimonial e integração em fluxos HBIM, considerando a precisão dos modelos e sua viabilidade operacional.

CONCLUSÕES

A utilização de UAVs de baixo custo para a documentação digital demonstra potencial para aplicações em fluxos HBIM, ao produzir modelos com erros geométricos inferiores a 2,5%. A qualidade dos modelos depende do planejamento da captura e do processamento, já que a quantidade de imagens impacta na demanda computacional e interoperabilidade BIM. O *RealityScan* apresentou maior eficiência computacional, e o *Agisoft Metashape* melhor desempenho na reconstrução de superfícies complexas. Como apontam Fabris et al. [8] e Jiménez-Jiménez et al. [11], a fotogrametria SfM aérea consolida-se como alternativa acessível para a documentação, conservação e *retrofit* do patrimônio construído.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPERGS e à PROPESQ - UFRGS pelo fomento à pesquisa, à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, à Faculdade de Arquitetura e ao Laboratório de Conforto Ambiental pela infraestrutura e equipamentos disponibilizados.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, o segundo autor utilizou a ferramenta de Inteligência Artificial (IA) Consensus AI, na fase inicial da pesquisa, exclusivamente para auxiliar na localização de referências bibliográficas [1, 6, 7, 8, 9, 10, 16] relacionadas ao tema do estudo. Todas as referências identificadas foram posteriormente verificadas individualmente pelos autores, sendo selecionadas apenas aquelas consideradas pertinentes à análise após leitura crítica. A redação, a análise dos resultados, a interpretação das informações e as conclusões apresentadas no artigo são de inteira autoria e responsabilidade dos autores.

REFERÊNCIAS

[1] ALAWAG, A. M.; ALALOUL, W. S.; LIEW, M. S.; AL-AWAG, E. A.; BAARIMAH, A. O.; OMER, M. M. **Incorporating the applications of Building Information Modeling (BIM) technology in the sustainable retrofitting of heritage buildings: a systematic review.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINING HERITAGE: INNOVATIVE AND DIGITAL APPROACHES (ICSH), 2023. Proceedings [...]. [S. l.]: IEEE, 2023. DOI: https://doi.org/10.1109/ICSH57060.2023.10482819

[2] LUCCAS, L. H. H. **Arquitetura moderna brasileira em Porto Alegre: sob o mito do "gênio artístico nacional"**. 2004. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em: http://hdl.handle.net/10183/198707. Acesso em: 18 jun. 2026.

[3] XAVIER, Alberto; MIZOGUCHI, Ivan. **Arquitetura Moderna em Porto Alegre**, São Paulo: Pini, 1987

[4] BRAILA, N.; PANCHENKO, N.; KANKHVA, V. **Building Information Modeling for existing sustainable buildings**. E3S Web of Conferences, v. 244, p. 05024, 2021. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124405024

[5] YUSRI, M. H. A.; JOHAN, M. A.; RAMLI, M. H. **Preservation of cultural heritage: a comparison study of 3D modelling between laser scanning, depth image and photogrammetry methods**. Journal of Mechanical Engineering, 2022. DOI: https://doi.org/10.24191/jmeche.v19i2.19768

[6] RAZAK, N. N. A.; ABBAS, M. A.; KAMARUZZAMAN, M.; CHONG, A.; HASHIM, N. M. **Optimizing close-range photogrammetry solutions for network configuration with accessibility-related constraints**. International Journal of Engineering and Geosciences, 2025. DOI: https://doi.org/10.26833/ijeg.1645760

[7] ESCUDERO, P. A. **Scan-to-HBIM: automated transformation of point clouds into 3D BIM models for the digitization and preservation of historic buildings**. VITRUVIO – International Journal of Architectural Technology and Sustainability, 2023. DOI: https://doi.org/10.4995/vitruvio-ijats.2023.20413

[8] FABRIS, M.; GRANOTTO, P. F.; MONEGO, M. **Expeditious low-cost SfM photogrammetry and a TLS survey for the structural analysis of Illasi Castle (Italy)**. Drones, v. 7, n. 2, p. 101, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/drones7020101

[9] LOVELL, L. J.; DAVIES, R. J.; HUNT, D. **The application of Historic Building Information Modelling (HBIM) to cultural heritage: a review**. Heritage, v. 6, n. 10, p. 6811-6842, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/heritage6100350

[10] ULVI, A. **Documentation, three-dimensional (3D) modelling and visualization of cultural heritage by using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry and terrestrial laser scanners**. International Journal of Remote Sensing, v. 42, p. 1994-2021, 2021. DOI: https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1834164

[11] JIMÉNEZ-JIMÉNEZ, S. I.; OJEDA, W.; MARCIAL, M. D. J.; ENCISO, J. **Digital Terrain Models Generated with Low-Cost UAV Photogrammetry: Methodology and Accuracy.** ISPRS International Journal of Geo-Information, v. 10, n. 5, p. 285, abr. 2021. DOI: doi.org/10.3390/ijgi10050285

[12] PENJOR, T.; BANIHASHEMI, S.; HAJIRASOULI, A.; GOLZAD, H. **Heritage Building Information Modeling (HBIM) for heritage conservation: framework of challenges, gaps, and existing limitations of HBIM**. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, v. 35, e00366, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.daach.2024.e00366

[13] TONIOLI, R. M. **Cidade e universidade: arquitetura e configuração urbana do Campus Centro da UFRGS.** 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

[14] LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. 1997. **Eficiência energética na arquitetura.** 2 ed. São Paulo: ProLivros, 2004. 192p.

[15] BRAUWERS, L. P.; ANZOLCH, R. **O impacto dos brise-soleils na incidência solar e no consumo energético de uma edificação universitária.** In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2025. Anais [...]. [S. l.], 2025. DOI: 10.46421/encacelacac.v18i1.7144.

[16] JIANG, S.; JIANG, W.; WANG, L. **Unmanned Aerial Vehicle-based photogrammetric 3D mapping: a survey of techniques, applications, and challenges**. IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, v. 10, p. 135-171, 2022. DOI: https://doi.org/10.1109/MGRS.2021.3122248

[17] DJI. **DJI Mobile SDK Developer Guide.** Shenzhen: SZ DJI Technology Co., 2023. Disponível em: https://developer.dji.com/mobile-sdk/. Acesso em: 16 abr. 2026.

[18] AGISOFT LLC. **Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition**, Version 2.3. São Petersburgo, Rússia, 2025. Acesso em: 18 jun. 2026.

[19] EPIC GAMES. ***RealityScan Documentation***. Cary, NC, USA, 2025. Disponível em: https://www.realityscan.com. Acesso em: 18 jun. 2026.