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.v21i1.8488

Modelagem BIM de Edifícios Existentes para o Apoio da Gestão da Manutenção

BIM Modeling of Existing Buildings to Support Maintenance Management

Vitória Gomes Moraes
Universidade Federal de Pelotas | Pelotas | Brasil | engvitoriagm@gmail.com
Vanessa Chapper Ehlers
Universidade Federal de Pelotas | Pelotas | Brasil | arq.vanessachapper@gmail.com
Helena Insaurriaga Pätzold dos Santos
Universidade Federal de Pelotas | Pelotas | Brasil | helena.insaurriaga@gmail.com
Fábio Kellermann Schramm
Universidade Federal de Pelotas | Pelotas | Brasil | fabioks@ufpel.edu.br

Resumo

A fase de operação e manutenção concentra os maiores prazos e custos no ciclo de vida das edificações. Nesse cenário, o BIM destaca-se na gestão de edifícios existentes, embora demande levantamentos prévios para a criação de modelos digitais confiáveis. Este estudo objetiva analisar as principais tecnologias e métodos de modelagem BIM nesses edifícios por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (2016-2025), avaliando 50 artigos. Os resultados apontam o *Laser Scanning* (TLS e MLS) e a fotogrametria com UAVs como principais métodos de aquisição de dados, complementados por IoT, sensores e documentação existente. Contudo, desafios na automação do processo *Scan-to-BIM*, segmentação semântica e interoperabilidade ainda limitam sua adoção em larga escala. A pesquisa consolida o conhecimento da área e identifica oportunidades para a gestão de ativos.

Palavras-chave: BIM; Edifícios Existentes; Scan-to-BIM; Manutenção Predial.

Abstract

The operation and maintenance phase accounts for the most significant time and costs within the building lifecycle. In this context, BIM stands out in the management of existing buildings, although it requires prior surveying to generate reliable digital models. This study aims to analyze the main technologies and methods for BIM modeling of existing buildings through a Systematic Literature Review (2016–2025), assessing 50 articles. The results highlight Laser Scanning (TLS and MLS) and UAV photogrammetry as the primary data acquisition methods, complemented by IoT, sensors, and existing documentation. However, challenges regarding Scan-to-BIM automation, semantic segmentation, and interoperability still hinder its widespread adoption. This research consolidates current knowledge in the field and identifies opportunities for asset management.

Keywords: BIM; Existing Buildings; Scan-to-BIM; Building Maintenance.

MORAES, V. G.; EHLERS, V. C.; SANTOS, H. I. P.; SCHRAMM, F. K. Modelagem BIM de edifícios existentes para o apoio da gestão da manutenção. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

INTRODUÇÃO

A fase de operação e manutenção (O&M) representa o período mais longo do ciclo de vida de uma edificação, sendo responsável por acumular entre 65% e 85% dos custos totais associados ao gerenciamento das instalações [1]. Contudo, a eficácia da gestão da manutenção é frequentemente limitada pela fragmentação das informações técnicas e pela inexistência de documentação *as-built* confiável, realidade predominante em edifícios projetados antes da disseminação do *Building Information Modeling* (BIM) [2]. Assim, a metodologia BIM atua como uma facilitadora estratégica ao prover um repositório centralizado de dados gráficos e semânticos, permitindo o acesso imediato a manuais, garantias e históricos, reduzindo o tempo de manutenção e prolongando a vida útil dos ativos [3].

Todavia, sua aplicação na manutenção enfrenta o desafio quando a maioria dos imóveis existentes foram projetados e construídos antes da difusão dessa tecnologia, carecendo de modelos digitais para a gestão [4]. A necessidade de realizar processos de engenharia reversa e modelagem *as-built*, por meio de técnicas como o *Scan-to-BIM*, torna-se pré-requisito fundamental para a modernização desses ativos [5]. No Brasil, a urgência desse tema é reforçada pela Estratégia Nova BIM BR [6] e pelo cronograma do Decreto nº 10.306/2020, que prevê a obrigatoriedade da metodologia para o gerenciamento e manutenção de obras públicas federais a partir de 2028 [7].

O estudo objetiva consolidar os requisitos técnicos e as melhores práticas, permitindo transformar informações fragmentadas em modelos inteligentes para uma manutenção predial eficiente. Diante disso, justifica-se a realização de uma Revisão Sistemática da Literatura, visando a existência de uma lacuna de pesquisas aplicadas com foco na fase operacional, conforme evidenciado por um estudo sobre as aplicações do BIM na gestão da manutenção predial [1].

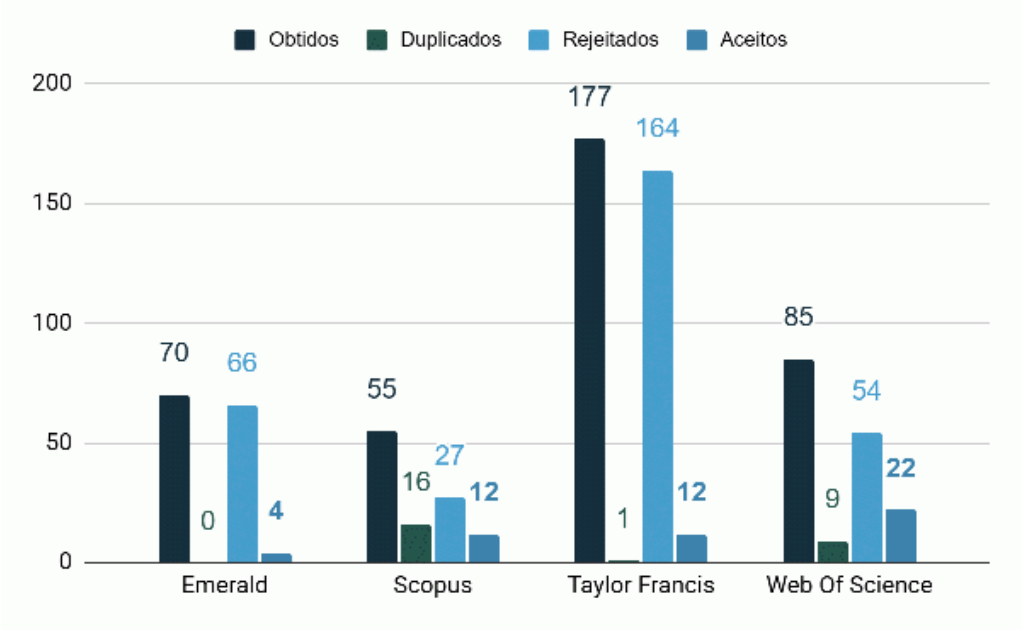
MÉTODO

Uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi conduzida para identificar tecnologias de modelagem BIM em edifícios existentes, tendo como base artigos publicados entre 2016 e 2025. As buscas ocorreram nas bases Scopus, Web of Science, Emerald Insight e Taylor & Francis, selecionadas pela relevância nas áreas de engenharia, arquitetura e construção. Os critérios de inclusão abrangeram artigos completos revisados por pares, publicados em periódicos dessas bases, com acesso integral e redigidos em inglês, português ou espanhol.

A estratégia de busca empregou a combinação: "*Existing buildings*" AND (*"Building Information Modeling" OR "BIM"*) AND "*Maintenance*", aplicada aos campos título, resumo e palavras-chave. Dos 387 artigos iniciais processados no *software* Parsifal, 26 duplicatas foram removidas. Após a aplicação manual dos critérios de exclusão (idioma, ausência de revisão por pares, falta de acesso, fuga ao tema ou formato não científico), 311 trabalhos foram rejeitados, resultando em 50 artigos selecionados. O Gráfico 1 resume este processo.

Gráfico 1: Número de artigos por critérios de seleção.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8488



Fonte: os autores (2025).

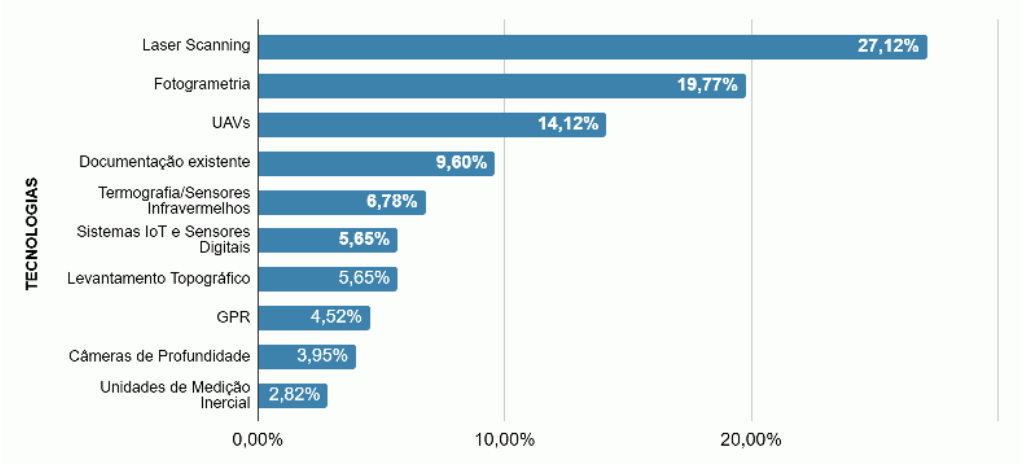
Ainda foi utilizada a ferramenta Notebook LM, que através da Inteligência Artificial, pesquisou dentro dos artigos aceitos as respostas para os questionamentos dessa pesquisa. Salienta-se que a partir dos resultados da ferramenta foram averiguados para ver a precisão e acurácia das respostas.

MODELAGEM BIM DE EDIFÍCIOS EXISTENTES

PRINCIPAIS TECNOLOGIAS PARA A MODELAGEM

Com base nos resultados da Revisão Sistemática da Literatura (RSL), a Gráfico 02 sintetiza as tecnologias de levantamento utilizadas na modelagem BIM de edifícios existentes. Das dez tecnologias identificadas, seis delas corresponderam a 83,05% das menções, o que as tornam relevantes e objeto de atenção e discussão por esse artigo.

Gráfico 2: Porcentagem de menções nos artigos das tecnologias de levantamento.



Fonte: os autores (2025).

LASER SCANNING

As tecnologias baseadas em laser são recorrentes na literatura analisada, com o *Laser Scanning,* englobando o *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) e o *Mobile Laser Scanning* (MLS), sendo citada em 48 dos 50 artigos. Trata-se de uma técnica amplamente reconhecida para a aquisição de dados geométricos precisos de edificações existentes [8].

O *Laser Scanning* caracteriza-se como uma tecnologia não destrutivo, aspecto relevante em edificações históricas e patrimoniais, sendo empregado em projetos de *Heritage Building Information Modeling* (HBIM), para a geração do modelo global do edifício [9][10]. Essa técnica possibilita a aquisição eficiente de grandes volumes de dados, incluindo áreas de difícil acesso por métodos convencionais, resultando em nuvens de pontos tridimensionais de alta densidade e precisão [8][11][12].

As diferenças entre o *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) e o *Mobile Laser Scanning* (MLS) é que o primeiro utiliza sistemas estacionários, normalmente posicionados em pontos fixos, enquanto o segundo baseia-se em plataformas móveis, nas quais o scanner pode ser embarcado em veículos ou transportado por operadores, permitindo a aquisição contínua de dados ao longo da trajetória de deslocamento. Essa mobilidade confere ao MLS maior flexibilidade operacional e maior viabilidade econômica, especialmente em levantamentos de grandes áreas ou em ambientes com restrições de tempo de levantamento [13][14][15].

FOTOGRAMETRIA

A fotogrametria é uma alternativa de menor custo comparada ao *Laser Scanning*, apresentando vantagens na obtenção de informações visuais detalhadas, como cores e texturas realistas das superfícies [10][12], sendo relevante para a documentação do estado de conservação de fachadas, elementos arquitetônicos e componentes construtivos [16][17][18].

A fotogrametria utiliza algoritmos como *Structure-from-Motion* (SfM) e *Multi-View Stereo* (MVS) [16][19]. Sendo possível gerar nuvens de pontos densas e modelos 3D a partir de fotografias capturadas por câmeras terrestres ou embarcadas em Veículos Aéreos Não Tripulados (UAVs/VANTs) [10].

VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (UAVS)

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (UAVs) ou drones, são plataformas essenciais para o transporte de sensores fotográficos e sistemas de varredura a laser [11], frequentemente aliados à técnica *Structure-from-Motion* (SfM) [16]. Sua principal aplicação ocorre no levantamento de fachadas, coberturas e áreas de difícil acesso [10][16][18], aumentando a segurança e eficiência ao dispensar andaimes ou plataformas elevatórias [16][19]. Além de otimizarem o tempo de campo [20], os drones são combinados ao *Mobile* (MLS) e *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) para gerar modelos mais completos e contínuos de edifícios existentes [11][14][18][21].

Documentação existente

Documentos existentes, como plantas 2D e arquivos CAD, fundamentam a reconstrução de modelos BIM [22][23], sendo essenciais quando o levantamento em campo é inviável por restrições de acesso ou orçamento [24]. Embora a modelagem baseada nesses registros seja predominantemente manual e sujeita a inconsistências ou desatualizações [15], tais dados são cruciais para edifícios antigos com escassez de *as-built* confiáveis.

Estudos indicam o uso dessa documentação como complemento a técnicas avançadas (*Laser Scanning* e fotogrametria), auxiliando na interpretação semântica e na validação geométrica de dados de campo [23]. Assim, dados legados são vitais em abordagens híbridas de levantamento.

Termografia e sensores infravermelhos

A termografia e o uso de sensores infravermelhos constituem técnicas voltadas à identificação de variações de temperatura na superfície das edificações, permitindo a detecção de patologias e anomalias não perceptíveis a olho nu [25]. Entre as principais aplicações destacam-se a identificação de pontes térmicas, infiltrações de umidade, falhas de isolamento térmico e descontinuidades na envoltória do edifício [26][27].

Sensores IoT e Sensores Digitais

Os sistemas de Internet das Coisas (IoT) e sensores digitais englobam uma variedade de sensores voltados ao monitoramento ambiental, estrutural e energético, viabilizando a coleta sistemática de dados sobre temperatura, umidade, consumo energético e comportamento térmico dos elementos construtivos [25][28]. Entre as tecnologias mais avançadas identificadas, destaca-se o Imageamento Hiperespectral (*Hyperspectral Imaging – HSI*), utilizado para a caracterização química e material das superfícies [26], bem como os Sensores de Fluxo de Calor (*Heat Flux Sensors – HFS*), empregados na medição quantitativa da transmitância térmica da envoltória [29].

Aplicação das Tecnologias de Levantamento na Modelagem de Instalações e Equipamentos (MEP)

Após a aquisição dos dados de realidade, o desafio é convertê-los em modelos BIM semânticos e paramétricos. Técnicas de Reconhecimento Óptico de Caracteres (OCR) automatizam a leitura de anotações técnicas (como diâmetros e alturas de dutos), sendo validadas por dicionários de componentes (*Mechanical, Electrical, and Plumbing - MEP*) para garantir a consistência semântica do modelo [30].

Na etapa subsequente, realiza-se a detecção de formas geométricas primitivas e a modelagem. Algoritmos como o *Random Sample Consensus* (RANSAC) e a Transformada de Hough são aplicados à nuvem de pontos para identificar cilindros associados à geometria de tubulações e planos relacionados a paredes e lajes [16][30][31]. Programas como o EdgeWise auxiliam na geração automática de redes de tubulação ao detectar e ajustar cilindros à nuvem de pontos e ao sugerir conexões como cotovelos nas extremidades dos tubos. Para elementos extrudados, como vigas

e colunas, o software pode extrair o perfil do objeto e modelá-lo a partir de um catálogo [31].

A criação do modelo é apoiada por processos de automação, nos quais ferramentas de programação visual, como o Dynamo, são utilizadas para gerar elementos paramétricos a partir de parâmetros extraídos da nuvem de pontos. O Dynamo permite a criação de tubos e conexões com base na lógica gráfica, minimizando erros. Ainda assim, a conversão de dados ocultos complexos em modelos paramétricos precisos exige a intervenção humana para verificação e ajustes manuais [19][32][33].

Outra forma de identificar elementos MEP é através da detecção de interferências (*clash detection*), realizada pela sobreposição do modelo MEP aos modelos de arquitetura e estrutura em *softwares* de coordenação, como o Navisworks, permitindo a identificação de conflitos espaciais entre dutos, tubulações e elementos estruturais [34].

PECULIARIDADES TÉCNICAS REPORTADAS

As peculiaridades técnicas reportadas diferem-se de acordo com a técnica de digitalização empregado, variando com relação à precisão, à resolução, ao tempo de captura, aos requisitos de pós-processamento, aos custos estimados e aos *softwares* utilizados.

O *Laser Scanning* apresenta a maior precisão geométrica entre as tecnologias, com valores reportados entre ±2mm e ±3mm em condições ideais, além de resolução configurável, frequentemente ajustada para espaçamento de 5mm a distâncias de até 50m [35][36]. A fotogrametria, embora menos precisa, pode atingir acurácia da ordem de ±1 cm em modelos otimizados [18], sendo capaz de gerar nuvens de pontos densas e ortofotos com resolução aproximada de 2,5 mm por pixel [23].

O tempo de captura via *Laser Scanning* dura, em média, de 7 a 12 minutos por estação [20][36], podendo demandar horas em campo; um estudo registrou 6 horas para o levantamento de uma residência de dois pavimentos [35]. Em contrapartida, a fotogrametria com UAVs é mais rápida em áreas externas, operando entre 1,5 e 5 m/s [14][19]. No pós-processamento, o *Laser Scanning* exige limpeza e registro intensivos das nuvens de pontos [20], enquanto a fotogrametria demanda alto poder computacional para algoritmos SfM e MVS [16], além de calibração óptica [14][26]. Já os dados topográficos requerem ajuste de poligonais e georreferenciamento global [17].

Por fim, a literatura reporta o uso de uma variedade de *softwares* ao longo do processo. Para captura e processamento de nuvens de pontos, são mencionados equipamentos e plataformas como Leica ScanStation C10, FARO Focus 350, Trimble X7, Leica Cyclone e Autodesk ReCap [20][35][36][37]. Para modelagem geométrica e tratamento de malhas, destacam-se Rhinoceros 5 com plug-ins específicos [38], MeshLab, Polyworks e Geomagic Wrap [10] e CloudCompare [31]. A fotogrametria é suportada por *softwares* como Agisoft Metashape e Reality Capture [10][14]. A modelagem BIM é realizada principalmente em plataformas como Autodesk Revit e Archicad, com apoio de ferramentas de automação como o Autodesk Dynamo e seus

plug-ins [39]. Também são citados *softwares* para análises estruturais e energéticas, além de formatos de interoperabilidade como IFC e gbXML [22][40], sistemas GeoBIM [16], ferramentas de reconhecimento de texto [23][41] e bases de dados geoespaciais [16][42][43].

Práticas e resultados reportados sobre a integração de modelos as-built na gestão da manutenção

A literatura destaca a transição entre construção e operação como fase crítica para mitigar a perda de dados e otimizar o desempenho do ciclo de vida [32]. O modelo as-built atua como suporte ativo ao *Facility Management* (FM), manutenção preditiva e planejamento, superando a função meramente documental [36].

Como "fonte única da verdade", o modelo consolida dados geométricos e não geométricos, integrando manuais e históricos de inspeção [36]. Sistemas de codificação (como WBS) e *QR Codes* em ativos permitem o acesso móvel rápido a históricos e registros de defeitos [32][44].

A automação, via programação visual, mapeia parâmetros entre o BIM e sistemas de gestão, reduzindo erros manuais [39]. Complementarmente, a interoperabilidade com planilhas permite que equipes não técnicas atualizem dados de manutenção sem operar *softwares* complexos [24], enquanto a integração BIM-GIS amplia a análise espacial em grandes conjuntos edificados [42].

Na manutenção preditiva, a integração de sensores IoT aos modelos as-built configura Gêmeos Digitais, permitindo o monitoramento em tempo real (ex: HVAC e elétrica) e diagnósticos baseados na condição real dos ativos [28][45]. Os resultados indicam ganhos em eficiência financeira e temporal, com redução de custos operacionais e de energia [29][43]. A visualização intuitiva e o uso de nuvem melhoram a tomada de decisão e a acessibilidade para gestores e usuários [23][24][29].

Lacunas, limitações e recomendações

As pesquisas apontam lacunas de gestão e normatização que restringem a adoção do BIM em larga escala. A ausência de padrões universais para os requisitos de dados na fase de operação e manutenção (O&M) resulta em definições subjetivas de escopo e acurácia [11][18]. Além disso, a escassez de documentação em edifícios antigos exige levantamentos completos e onerosos [46], enquanto a falta de análises de custo-benefício desencoraja investimentos por proprietários [33][34].

Tecnicamente, o processo *Scan-to-BIM* enfrenta limitações: a captura é ágil, mas a modelagem tridimensional permanece manual, pois os *softwares* não automatizam satisfatoriamente a diversidade de elementos existentes [37][47]. Geometrias complexas, como paredes curvas e ornamentos, possuem baixa taxa de sucesso na automação [39], ao passo que superfícies reflexivas ou escuras ainda desafiam a precisão do Laser Scanning [12][48].

A segmentação semântica e a interoperabilidade são limitações críticas. Algoritmos de IA ainda apresentam dificuldades na classificação de elementos, frequentemente confundindo mobiliário com estruturas devido à escassez de dados para treinamento

[15][33][49]. Além disso, o intercâmbio entre plataformas, especialmente via formatos abertos e sistemas GIS, resulta em perdas de metadados [16]. Tais problemas são agravados por erros de coordenadas e pelo alto custo computacional de nuvens de pontos densas, que podem exceder a capacidade de *hardware* das equipes de gestão [16][39][42].

Diante das lacunas, as pesquisas recomendam priorizar a integração de sensores e IoT para criar Gêmeos Digitais em tempo real [25][30][43]. Destaca-se também a necessidade de bibliotecas BIM específicas para edifícios antigos [34][50] e a adoção de modelagem sob demanda, focada apenas em elementos críticos [11][39]. Por fim, sugere-se a fusão de múltiplas fontes de dados [12][33] e o uso de plataformas de código aberto para ampliar a acessibilidade e adoção do BIM no parque edificado existente [42][43].

CONCLUSÕES

A modelagem BIM de edifícios existentes consolida-se como uma estratégia relevante para apoiar a gestão da operação e manutenção das edificações, especialmente com a crescente digitalização do parque edificado. Esse estudo realizou uma Revisão Sistemática da Literatura com o objetivo de identificar as principais tecnologias, métodos e abordagens utilizados na modelagem BIM de edificações existentes, focando em aplicações voltadas à gestão da manutenção e de ativos.

Os resultados indicam que as tecnologias de aquisição de dados baseadas em *Laser Scanning*, constituem as abordagens mais recorrentes na literatura, destacando-se pela elevada precisão geométrica e capacidade de gerar nuvens de pontos densas. A fotogrametria, associada ao uso de veículos aéreos não tripulados (UAVs), também apresenta ampla aplicação, especialmente em levantamentos de fachadas e áreas de difícil acesso. Além dessas técnicas, a literatura evidencia o uso complementar de documentação existente, sensores infravermelhos, sistemas IoT, levantamento topográfico e tecnologias de diagnóstico não destrutivo, indicando uma tendência de adoção de abordagens híbridas de levantamento para aumentar a confiabilidade e a completude dos modelos BIM.

Apesar dos avanços identificados, persistem desafios relacionados à automação do processo *Scan-to-BIM*, à segmentação semântica de elementos construtivos e à interoperabilidade entre diferentes plataformas digitais. A ausência de padrões consolidados para requisitos informacionais na fase de operação e manutenção e as limitações associadas ao processamento de grandes volumes de dados também são apontadas como barreiras à adoção em larga escala. Assim, pesquisas futuras devem priorizar o desenvolvimento de métodos mais robustos de automação, o avanço de algoritmos de inteligência artificial e a integração entre BIM, sistemas de gestão de ativos e tecnologias IoT, contribuindo para a consolidação de ambientes digitais voltados à gestão eficiente do ciclo de vida das edificações.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, todos os autores utilizaram o ChatGPT (OpenAI, modelo GPT-5.5) e o NotebookLM (Google) como ferramentas de apoio para revisão e aprimoramento da redação, organização do conteúdo e síntese dos artigos da revisão bibliográfica. Após a utilização dessas ferramentas, os autores revisaram e editaram o manuscrito conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] A. M. Wojciechowski, F. K. Schramm, e J. Zambrano, “Investigação das aplicações do BIM na gestão da manutenção predial”, apresentado em **XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, Maceió, Brasil, out. 2024, p. 1–14. DOI: 10.46421/entac.v20i1.6381.

[2] N. C. Diehl, T. Saquet, M. M. Stumpp, F. P. D. Silva, L. M. Bruscato, e É. G. M. Schmitt, “Levantamento cadastral faculdade de arquitetura: aprimoramento da modelagem BIM com nuvem de pontos.”, apresentado em **V Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção Civil (SBTIC)**, set. 2025. DOI: 10.46421/sbtic.v5i00.7516.

[3] E. M. Y. Borrelli e S. Scheer, “Aplicação da modelagem da informação da construção nas atividades de manutenção e operação de edificações”, **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, v. 13, p. e022023, jul. 2022, DOI: 10.20396/parc.v13i00.8665320.

[4] TOLEDO, Josilene; GOMES, Luana; HIPPERT, Maria Aparecida. O USO DO BIM NA MANUTENÇÃO DE EDIFÍCIOS: UMA REVISÃO DA LITERATURA NACIONAL. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2020. p. 1–8. DOI: 10.46421/entac.v18i.1177.

[5] J. C. Giazzon, E. L. Isatto, e J. H. A. Santos, “Desafios da implementação do BIM em edificações existentes”, apresentado em **V Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção Civil (SBTIC)**, set. 2025. DOI: 10.46421/sbtic.v5i00.7567.

[6] M. do D. BRASIL Indústria, Comércio e Serviços, “Plano de trabalho Nova BIM BR”, Plano Nova Estratégia BIM BR, n. Versão 3, 2023.

[7] BRASIL, “**Decreto no 10.306, de 2 de abril de 2020**”, 2020.

REFERÊNCIAS DA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Os artigos abaixo que não foram citados no texto da RSL serão assinalados com um asterisco.

[8] M. Hess, V. Petrovic, M. Yeager, e F. Kuester, “Terrestrial laser scanning for the comprehensive structural health assessment of the Baptistery di San Giovanni in Florence, Italy: an integrative methodology for repeatable data acquisition, visualization

and analysis", **Structure and Infrastructure Engineering,** v. 14, n. 2, p. 247–263, fev. 2018, DOI: 10.1080/15732479.2017.1349810.

[9] J. E. Nieto-Julián, J. Farratell, M. Bouzas Cavada, e J. Moyano, "Collaborative Workflow in an HBIM Project for the Restoration and Conservation of Cultural Heritage", **International Journal of Architectural Heritage**, v. 17, n. 11, p. 1813–1832, nov. 2023, DOI: 10.1080/15583058.2022.2073294.

[10] J. Moyano, J. E. Nieto-Julián, L. M. Lenin, e S. Bruno, "Operability of Point Cloud Data in an Architectural Heritage Information Model", **International Journal of Architectural Heritage,** v. 16, n. 10, p. 1588–1607, out. 2022, DOI: 10.1080/15583058.2021.1900951.

[11] M. Krämer e Z. Besenyői, "Towards Digitalization of Building Operations with BIM", **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 365, p. 022067, jun. 2018, DOI: 10.1088/1757-899X/365/2/022067.

[12] K. Amano, E. C. W. Lou, e R. Edwards, "Integration of point cloud data and hyperspectral imaging as a data gathering methodology for refurbishment projects using building information modelling (BIM)", Journal of Facilities Management, v. 17, n. 1, p. 57–75, fev. 2019, DOI: 10.1108/JFM-11-2017-0064.

[13] H. Morgenstern e M. Raupach, "A Novel Approach for Maintenance and Repair of Reinforced Concrete Using Building Information Modeling with Integrated Machine-Readable Diagnosis Data", **CONSTRUCTION MATERIALS**, v. 2, n. 4, p. 314–327, dez. 2022, DOI: 10.3390/constrmater2040020.

[14] D. Infantes-Lopez, A. Sanchez-Riera, J. Casals Fernandez, e O. Pons-Valladares, "Massive Data Capture Approach for Modeling Existing Building Stocks", **Applied Sciences,** v. 15, n. 4, p. 1995, fev. 2025, DOI: 10.3390/app15041995.

[15] J. Martens e J. Blankenbach, "VOX2BIM+ - A Fast and Robust Approach for Automated Indoor Point Cloud Segmentation and Building Model Generation", **PFG**, v. 91, n. 4, p. 273–294, ago. 2023, DOI: 10.1007/s41064-023-00243-1.

[16] J. Zhang et al., "AI-empowered digital twin modeling for high-precision building defect management integrating UAV and GeoBIM", **Building Simulation**, v. 18, n. 10, p. 2531–2558, out. 2025, DOI: 10.1007/s12273-025-1332-9.

[17] C. Rodríguez-Moreno, J. F. Reinoso-Gordo, E. Rivas-López, A. Gómez-Blanco, F. J. Ariza-López, e I. Ariza-López, "From point cloud to BIM: an integrated workflow for documentation, research and modelling of architectural heritage", **Survey Review**, v. 50, n. 360, p. 212–231, maio 2018, DOI: 10.1080/00396265.2016.1259719.

[18] I. Skrzypczak, G. Oleniacz, A. Leśniak, K. Zima, M. Mrówczyńska, e J. K. Kazak, "Scan-to-BIM method in construction: assessment of the 3D buildings model accuracy in terms inventory measurements", **Building Research & Information**, v. 50, n. 8, p. 859–880, nov. 2022, DOI: 10.1080/09613218.2021.2011703.

[19] Z. Li, Q. Wang, H. Yue, e X. Nie, "Toward Automatic 3D Model Reconstruction of Building Curtain Walls from UAV Images Based on NeRF and Deep Learning", **Remote Sensing**, v. 17, n. 19, p. 3368, out. 2025, DOI: 10.3390/rs17193368.

[20] T. A. Nguyen, S. T. Do, L. Le-Hoai, V. T. Nguyen, e T.-A. Pham, "Practical workflow for cultural heritage digitalization and management: a case study in Vietnam", **International Journal of Construction Management**, v. 23, n. 13, p. 2305–2319, out. 2023, DOI: 10.1080/15623599.2022.2054268.

[21] Y. Yang, Y.-T. Chen, C. Hancock, N. A. S. Hamm, e Z. Zhang, "A Novel Approach for As-Built BIM Updating Using Inertial Measurement Unit and Mobile Laser Scanner", **Remote Sensing**, v. 16, n. 15, p. 2743, jul. 2024, DOI: 10.3390/rs16152743.

[22] Y. Byun e B.-S. Sohn, "ABGS: A System for the Automatic Generation of Building Information Models from Two-Dimensional CAD Drawings", **SUSTAINABILITY**, v. 12, n. 17, set. 2020, DOI: 10.3390/su12176713.

[23] D. Wang e Y. Fang, “Automatic BIM Reconstruction for Existing Building MEP Systems from Drawing Recognition”, **Buildings**, v. 15, n. 6, p. 924, mar. 2025, DOI: 10.3390/buildings15060924.

[24] A. Radziejowska, W. Ciepłucha, e M. Majta, “Pilot implementation of a digital building model for operational management”, **Archives of Civil Engineering**, p. 365–365, mar. 2025, DOI: 10.24425/ace.2025.153339.

[25] N. Janotte et al., “Application of a combination of innovative non-destructive measurement techniques for structural, energetic and safety analysis of buildings”, **Journal of Building Engineering**, v. 95, p. 109937, out. 2024, DOI: 10.1016/j.jobe.2024.109937.

[26] F. Mellado, P. F. Wong, K. Amano, C. Johnson, e E. C. W. Lou, “Digitisation of existing buildings to support building assessment schemes: viability of automated sustainability-led design scan-to-BIM process”, **Architectural Engineering and Design Management**, v. 16, n. 2, p. 84–99, mar. 2020, DOI: 10.1080/17452007.2019.1674126.

[27] H. Alhaidary, A. K. Al-Tamimi, e H. Al-Wakil, “The combined use of BIM, IR thermography and HFS for energy modelling of existing buildings and minimising heat gain through the building envelope: a case-study from a UAE building”, **Advances in Building Energy Research,** v. 15, n. 6, p. 709–732, nov. 2021, DOI: 10.1080/17512549.2019.1703812.

[28] J. Merino, X. Xie, N. Moretti, J. Y. Chang, e A. Parlikad, “Data integration for digital twins in the built environment based on federated data models”, **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Smart Infrastructure and Construction**, v. 176, n. 4, p. 194–211, set. 2023, DOI: 10.1680/jsmic.23.00002.

[29] F. Banfi, R. Brumana, G. Salvalai, e M. Previtali, “Digital Twin and Cloud BIM-XR Platform Development: From Scan-to-BIM-to-DT Process to a 4D Multi-User Live App to Improve Building Comfort, Efficiency and Costs”, **Energies**, v. 15, n. 12, p. 4497, jun. 2022, DOI: 10.3390/en15124497.

[30] F. Sadeghineko e B. Kumar, “Application of semantic Web ontologies for the improvement of information exchange in existing buildings”, **Construction Innovation**, v. 22, n. 3, p. 444–464, jun. 2022, DOI: 10.1108/CI-03-2021-0058.

[31] Y.-C. Lee, J. W. Ma, e F. Leite, “A parametric approach towards semi-automated 3D as-built modeling”, **ITcon**, v. 28, p. 806–825, dez. 2023, DOI: 10.36680/j.itcon.2023.041.

[32] L. Pinti e S. Bonelli, “A Methodological Framework to Optimize Data Management Costs and the Hand-Over Phase in Cultural Heritage Projects”, **Buildings**, v. 12, n. 9, p. 1360, set. 2022, DOI: 10.3390/buildings12091360.

[33] J. Chen, Y. Liang, Z. Xie, S. Wang, e Z. Xu, “Automated Reconstruction of Existing Building Interior Scene BIMs Using a Feature-Enhanced Point Transformer and an Octree”, **Applied Sciences**, v. 13, n. 24, p. 13239, dez. 2023, DOI: 10.3390/app132413239.

[34] W. Tang, “Application of BIM technology in the reinforcement and renovation of existing building inspection projects”, **Alexandria Engineering Journal**, v. 82, p. 240–247, nov. 2023, DOI: 10.1016/j.aej.2023.09.075.

[35] A. Borodinecs, J. Zemitis, M. Dobelis, e M. Kalinka, “3D scanning data use for modular building renovation based on BIM model”, **MATEC Web Conferences,** v. 251, p. 03004, 2018, DOI: 10.1051/matecconf/201825103004.

[36] T. McKenna, M. Minehane, B. O’Keeffe, G. O’Sullivan, e K. Ruane, “Bridge information modelling (BrIM) for a listed viaduct”, **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Bridge Engineering**, v. 170, n. 3, p. 192–203, out. 2016, DOI: 10.1680/jbren.16.00007.

[37] Y. Pan, A. Braun, A. Borrmann, e I. Brilakis, “3D deep-learning-enhanced void-growing approach in creating geometric digital twins of buildings”, **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Smart Infrastructure and Construction**, v. 176, n. 1, p. 24–40, dez. 2022, DOI: 10.1680/jsmic.21.00035.

[38] D. Antón, B. Medjdoub, R. Shrahily, e J. Moyano, “Accuracy evaluation of the semi-automatic 3D modeling for historical building information models”, **International Journal of Architectural Heritage**, v. 12, n. 5, p. 790–805, jul. 2018, DOI: 10.1080/15583058.2017.1415391.

[39] B. Bortoluzzi, I. Efremov, C. Medina, D. Sobieraj, e J. J. McArthur, “Automating the creation of building information models for existing buildings”, **Automation in Construction**, v. 105, p. 102838, set. 2019, DOI: 10.1016/j.autcon.2019.102838.

[40] L. Zhao, H. Zhang, Q. Wang, e H. Wang, “Digital-Twin-Based Evaluation of Nearly Zero-Energy Building for Existing Buildings Based on Scan-to-BIM”, **Advances in Civil Engineering**, v. 2021, n. 1, p. 6638897, jan. 2021, DOI: 10.1155/2021/6638897.

[41] K. Kang, I. Ra, e S. Park, “Hash-Based Method for Generating Building Information Models From 2D CAD Drawings”, **IEEE Access**, v. 12, p. 147065–147072, 2024, DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3472610.

[42] G. Vacca e E. Quaquero, “BIM-3D GIS: an integrated system for the knowledge process of the buildings”, **Journal of Spatial Science**, v. 65, n. 2, p. 193–208, maio 2020, DOI: 10.1080/14498596.2019.1601600.

[43] T. Fortunato, S. Bruno, F. Fatiguso, e M. De Fino, “From GIS to HBIM and Back: Multiscale Performance and Condition Assessment for Networks of Public Heritage Buildings and Construction Components”, **International Journal of Architectural Heritage**, v. 19, n. 12, p. 3071–3095, dez. 2025, DOI: 10.1080/15583058.2025.2482053.

[44] N.-H. Pan e K.-Y. Chen, “Facility Maintenance Traceability Information Coding in BIM-Based Facility Repair Platform”, **ADVANCES IN CIVIL ENGINEERING**, v. 2020, ago. 2020, DOI: 10.1155/2020/3426563.

[45] C. Piselli, A. Guastaveglia, J. Romanelli, F. Cotana, e A. L. Pisello, “Facility Energy Management Application of HBIM for Historical Low-Carbon Communities: Design, Modelling and Operation Control of Geothermal Energy Retrofit in a Real Italian Case Study”, **ENERGIES**, v. 13, n. 23, dez. 2020, DOI: 10.3390/en13236338.

[46] D. Dvornik Perhavec e R. Kamnik, “The Use of Artificial Intelligence in Building Engineering for Historic Buildings Built in the Austro-Hungarian Monarchy”, J**ournal on Computing and Cultural Heritage**, v. 18, n. 1, p. 1–23, mar. 2025, DOI: 10.1145/3706424.

[47] L. Chen, Q. Lu, e X. Zhao, “A semi-automatic image-based object recognition system for constructing as-is IFC BIM objects based on fuzzy-MAUT”, **International Journal of Construction Management**, v. 22, n. 1, p. 51–65, jan. 2022, DOI: 10.1080/15623599.2019.1615754.

[48] R. Volk, T. H. Luu, J. S. Mueller-Roemer, N. Sevilmis, e F. Schultmann, “Deconstruction project planning of existing buildings based on automated acquisition and reconstruction of building information”, **Automation in Construction**, v. 91, p. 226–245, jul. 2018, DOI: 10.1016/j.autcon.2018.03.017.

[49] D. Wang, Q. Jiang, e J. Liu, “Deep-Learning-Based Automated Building Information Modeling Reconstruction Using Orthophotos with Digital Surface Models”, **Buildings**, v. 14, n. 3, p. 808, mar. 2024, DOI: 10.3390/buildings14030808.

[50] M. C. P. Sing, S. Luk Y. Y., K. H. C. Chan, H. J. Liu, e R. Humphrey, “Scan-to-BIM technique in building maintenance projects: practicing quantity take-off”, **IJBPA**, v. 42, n. 6, p. 1250–1262, nov. 2024, DOI: 10.1108/IJBPA-06-2022-0097.

[51*] L. Zhao, H. Zhang, H. Wang, Y. Wang, e T. Li, “A digital-twin evaluation framework of zero carbon buildings for existing residential buildings based on scan-to-BIM”, **Alexandria Engineering Journal**, v. 124, p. 204–213, jun. 2025, DOI: 10.1016/j.aej.2025.03.042.

[52*] Q. Wen e R.-G. Zhu, “Automatic Generation of 3D Building Models Based on Line Segment Vectorization”, **MATHEMATICAL PROBLEMS IN ENGINEERING**, v. 2020, out. 2020, DOI: 10.1155/2020/8360706.

[53*] R. Machete, A. P. Falcão, A. B. Gonçalves, M. Godinho, e R. Bento, “Development of a Manueline Style Object Library for Heritage BIM”, **International Journal of Architectural Heritage**, v. 15, n. 12, p. 1930–1941, dez. 2021, DOI: 10.1080/15583058.2020.1740825.

[54*] E. Suprun, S. Mostafa, R. A. Stewart, H. Villamor, K. Sturm, e A. Mijares, “Digitisation of Existing Water Facilities: A Framework for Realising the Value of Scan-to-BIM”, **Sustainability**, v. 14, n. 10, p. 6142, maio 2022, DOI: 10.3390/su14106142.

[55*] Q. Lu, X. Xie, A. K. Parlikad, J. M. Schooling, e E. Konstantinou, “Moving from building information models to digital twins for operation and maintenance”, **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Smart Infrastructure and Construction**, v. 174, n. 2, p. 46–56, fev. 2020, DOI: 10.1680/jsmic.19.00011.

[56*] K. Cho, J. Mun, H. Park, e T. Kim, “Preliminary Assessment Method for Structural Performance (PAMSP) of RC Rahmen Structure Building during Scan-to-BIM Procedure”, **Sustainability**, v. 16, n. 11, p. 4663, maio 2024, DOI: 10.3390/su16114663.

[57*] L. Bonaguidi, C. Sebastiani, e S. Santini, “Sustainable Seismic Energy Assessment of Italian Residential Heritage in Reinforced Concrete with Masonry Infills: An HBIM Evaluation Tool”, **Buildings**, v. 14, n. 12, p. 4050, dez. 2024, DOI: 10.3390/buildings14124050.

[58*] J. Erdélyi, R. Honti, T. Funtík, P. Mayer, e A. Madiev, “Verification of Building Structures Using Point Clouds and Building Information Models”, **Buildings**, v. 12, n. 12, p. 2218, dez. 2022, DOI: 10.3390/buildings12122218.