Indústria 5.0: Oportunidades e Desafios para Arquitetura e Construção

13º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção e 4º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção

ARACAJU-SE | 08 a 10 de Novembro

[1] BIM PARA RECONSTRUÇÃO DO EXISTENTE: REVISÃO SISTEMÁTICA.

BIM for Existing Building Reconstruction: Systemactic Review.

Natália Cristina Diehl
UFRGS | Porto Alegre, RS | natalia.diehl@ufrgs.br

Léia Miotto Bruscato
UFRGS | Porto Alegre, RS | leia.bruscato@ufrgs.br

Régio Pierre da Silva
UFRGS | Porto Alegre, RS | regio@ufrgs.br

Tânia Luisa Koltermann da Silva
UFRGS | Porto Alegre, RS | tania.koltermann@ufrgs.br

RESUMO

O *Building Information Modeling* (BIM) é considerado uma ferramenta facilitadora de processos para os serviços de arquitetura, engenharia e construção (AEC), assim como um conjunto de políticas, e tecnologias interativas que conduz a uma metodologia de gerenciamento do design do edifício e dos dados do projeto em formato digital. Ao mesmo tempo que os processos BIM estão estabelecidos para a criação de edifícios novos, a maioria dos edifícios existentes não é mantida, remodelada ou desconstruída com BIM. Isto se deve ao alto esforço de modelagem, a manipulação de dados incertos e a conversão de informações. O objetivo deste estudo foi identificar quais tecnologias, estão sendo aplicadas a intervenções de edificações existentes, considerando processos de reforma, reconstrução ou renovação. Por meio de revisão sistemática de literatura, foram catalogados 46 estudos que destacaram as tecnologias quanto aos seus padrões de ocorrência, principais funções e dimensões do BIM a que estão incorporadas. Destaca-se que o uso de sistemas de monitoramento e rastreamento, integrados a Inteligência Artificial (IA) e internet das coisas (IoT), tem disseminado a implementação de Gêmeos Digitais (GD) para gestão de instalações, manutenção e operação de edificações, permitindo a automação dos processos voltados ao ambiente construído existente.

Palavras-chave: BIM; Tecnologias; Ambiente Construído, Edificação Existente, Gêmeos Digitais.

ABSTRACT

A tool process facilitator for architecture, engineering, and construction services (AEC) is consider Building Information Modeling (BIM), as well as a set of policies and interactive technologies that lead to a methodology for managing building design and project data in digital format. Although for new building creation the BIM processes was settled down, the most of existing buildings are not maintained, remodeled, or deconstructed with BIM. This is due to the high modeling effort, handling uncertain data, and information conversion. The aims of this study was to identify which technologies are applying to interventions in existing buildings, considering renovation, reconstruction, or refurbishment processes. Through a systematic literature review, 46 studies cataloged, the technologies was highlight in terms of their occurrence patterns, main functions, and dimensions of incorporated BIM. Highlights the use of monitoring and tracking systems, integrated with Artificial Intelligence (AI) and the Internet of Things (IoT), has disseminated the implementation of Digital Twins (DT) for facility management, maintenance, and operation of buildings, allowing for the automation of processes related to the existing built environment.

Keywords: *BIM; Technologies; Built Environment; Existing Building; Digital Twins.*

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o BIM (*Building Information Modeling*) – modelagem da informação da construção, em português –, foi considerado uma ferramenta facilitadora de processos para os serviços de arquitetura, engenharia e construção (AEC). Dentro de algumas definições existentes, foi conceituado como uma tecnologia de modelagem e um conjunto de processos para produzir, comunicar e analisar modelos da construção (SACKS *et al.*, 2021). Além disso, é definido como um conjunto de políticas e tecnologias interativas que conduz a uma metodologia de gerenciamento do design essencial do edifício e dos dados do projeto em formato digital durante todo o ciclo de vida do edifício (SUCCAR, 2009).

[1]DIEHL, N. C.; BRUSCATO, L. M.; SILVA, R. P.; SILVA, T. L. K. BIM para Reconstrução do Existente: Revisão Sistemática. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 13., 2023, Aracaju. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2023. .

Ademais, permite incorporar outras funções necessárias para modelar o ciclo de vida de uma edificação, proporcionando a base para novas capacidades de projeto, construção e modificações nos papéis e nos relacionamentos da equipe envolvida no empreendimento (SACKS *et al.*, 2021). Segundo os autores, quando implementado de maneira apropriada, o BIM facilita um processo de projeto e construção mais integrado, que resulta em construções com maior qualidade, custos e prazos de execução reduzidos, dando suporte à melhoria na gestão de instalações (*facility management – FM*) e às futuras modificações pelas quais a edificação passará.

Na atualidade, segundo Perrier *et al.* (2020), devido ao avanço do BIM, ele está sendo apontado como a ferramenta facilitadora e a força da construção 4.0. Essa definição, que provém da 4ª Revolução Industrial, expôs que a evolução das tecnologias em diferentes áreas de atuação reforçou a necessidade de integração de disciplinas distintas. Tais tecnologias são categorizadas, segundo os autores, em sete diferentes áreas de atuação: ciência de dados; fabricação digital; pré-fabricação; BIM; inteligência artificial; sistemas de modelagem (AR, VR, modelagem nD); tecnologias de monitoramento (GIS, varredura *laser*, drones, veículos aéreos não tripulados [UAVs], fotogrametria, GPS) e sistemas de rastreamento de materiais, como RFID (*radio-frequency identification*).

Por meio de algumas dessas tecnologias, modelos virtuais de uma edificação podem ser construídos de forma digital, oferecendo suporte a todas as fases de projeto, possibilitando análise e controle além do que seria possível com processos manuais (SACKS *et al.*, 2021). Na literatura, há definições diversas para as fases que compõem a realização completa do ciclo de uma edificação, identificadas como subconjuntos de abordagem BIM (BOMFIM; LISBOA; MATOS, 2016; SACKS *et al.*, 2021). Neste estudo, adotou-se as definições das dimensões do BIM segundo Piaseckienė (2022), que as distribui da seguinte forma: 1D - processo e gestão, leis, normas, contratos, plano de execução BIM; 2D - modelagem gráfica; 3D - modelagem volumétrica; 4D - planejamento da construção; 5D - planejamento, monitoramento e controle de custos; 6D - sustentabilidade e eficiência energética; 7D - gerenciamento da construção, manutenção e operação do ativo; 8D - prevenção de acidentes; 9D - construção enxuta; 10D - construção industrializada.

Ao mesmo tempo que os processos BIM estão estabelecidos para a criação de novos projetos, edifícios existentes não são mantidos, remodelados ou desconstruídos com BIM. Segundo Volk, Stengel e Schultmann (2014), sua escassa implementação em edifícios existentes deriva de desafios como: alto esforço de modelagem ou conversão de dados de construção capturados em objetos BIM semânticos; atualização de informações em BIM; e manipulação de dados incertos. Em concordância, Perrier *et al.* (2020) explicita que apesar dos rápidos avanços, tecnologias voltadas a categoria reconstruir é a que contém menos abordagens de pesquisas, enfatizando que diversas soluções tecnológicas ainda são incapazes de integrar seus dados, gerando lacunas para diferentes campos de atuação. Os autores categorizam as tecnologias 4.0 em dez diferentes tipos de ações, sendo: automatizar; comunicar; distribuir; localizar; modelar; otimizar; simular; padronizar; visualizar e reconstruir.

Com base nessas ocorrências, e voltando-se ao contexto nacional, a presente pesquisa se localiza e trata especificamente do ambiente construído de caráter existente, sem características de tombamento (INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL [IPHAN], c2014), mas com necessidades de reforma, reconstrução ou renovação. Ainda baseado no contexto nacional, destaca-se que desde 2019 foi implementado, por meio do Decreto nº 9.983 (BRASIL, 2019), o Plano de Disseminação do BIM, que dispõe de nove objetivos, dos quais este trabalho visa a inserção e fortalecimento.

Este estudo tem como objetivo identificar quais tecnologias, já constituídas na indústria 4.0 e pertencentes ao arcabouço de processos BIM (PERRIER *et al.*, 2020), estão sendo aplicadas a intervenções de edificações existentes, considerando processos que visam reformar, renovar ou reconstruir o existente. Assim, este artigo está distribuído em cinco seções, sendo: 1. Introdução; 2. Procedimentos metodológicos; 3. Resultados e discussões; 4. Considerações finais; 5. Agradecimentos.

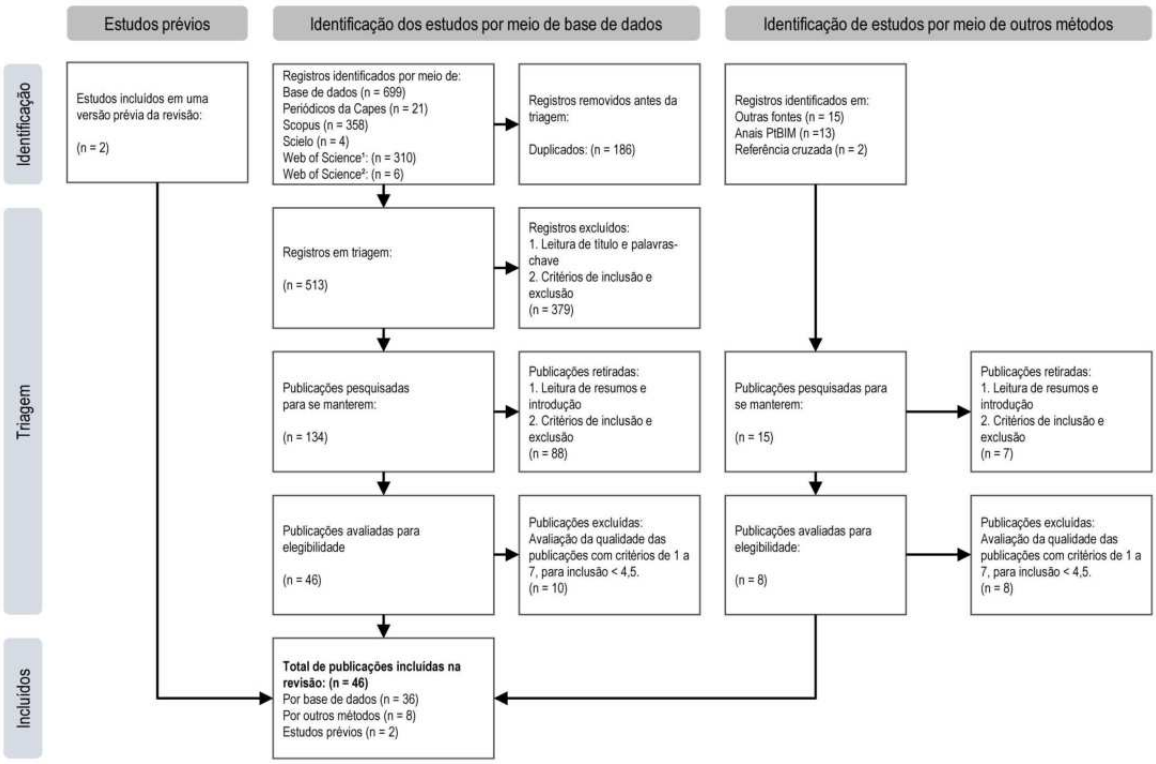
2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A fim de alcançar o objetivo apresentado, propõe-se uma revisão sistemática de literatura (MOHER *et al.*, 2015), descrita nas seguintes seções quanto ao seu protocolo de aplicação e coleta de dados.

2.1 Protocolo

A estrutura de revisão proposta seguiu o protocolo sugerido pelo método PRISMA (PAGE *et al.*, 2022), que dispõe de um *checklist* com 27 itens de conferência e um fluxograma de quatro etapas (Figura 1) ordenadas da seguinte maneira: 1) identificação; 2) triagem: seleção crítica; 3) triagem: elegibilidade; e 4) inclusão dos artigos (MOHER *et al.*, 2015). O protocolo foi empregado por meio do sistema *Parsifal* (PERFORM SYSTEMATIC LITERATURE REVIEWS, c2021) e distribuído conforme as etapas indicadas na Figura 1.

Figura 1: PRISMA, protocolo 2020 para revisões sistemáticas para busca em base de dados.



Fonte: Adaptada de Welcome... (2021, documento *on-line*).

2.2 Intervenção

Quanto à área de intervenção do estudo, definiu-se a área mais ampla relacionada à pesquisa até o contexto específico para qual se destina a investigação:

- Área pesquisa: Building Information Modeling (BIM).
- Intervenção: ambiente construído existente, para projetos de reformas, renovação ou reconstrução.
- Comparação: funções, utilizações, aplicações.
- Resultados: relação entre as tecnologias.

2.3 Definição das questões de pesquisa

a) Qual o cenário atual da aplicação de tecnologias em projetos de reforma, renovação ou reconstrução do ambiente construído existente?

b) Para quais funções são utilizadas?

c) Em quais tipos de edifícios são aplicadas?

d) São utilizadas de forma combinada?

2.4 Estratégia de busca

Seguindo a definição da área de intervenção, estabeleceu-se o *string* de busca básico (Quadro 1) a partir dos termos descritos em língua portuguesa, que foram traduzidos para a língua inglesa tendo em vista sua maior abrangência. Foram necessários testes de aplicação para validação das buscas, a fim de encontrar sinônimos, expressões similares e a combinação de maior assertividade.

Quadro 1 – Estratégia de pesquisa *string* básico.

ÁREA PESQUISA		INTERVENÇÃO		COMPARAÇÃO		RESULTADOS
Building Information Modeling (BIM)	*AND*	Projetos de reformas	*OR*	Aplicações	*OR*	Relação entre as tecnologias
"Building Information Modeling" "Technologies"		*"Reconstruction" "Refit" "Reform" "Renovation"*		*"Applied"*		*"Combined"*

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para a primeira etapa (identificação), foram aplicados, para todas as bases de dados, os seguintes critérios: artigos ou revisões sistemáticas, de acesso aberto, publicados em periódicos entre os anos de 2018 e 2023, considerando a busca atualizada de estudos. A definição das bases se deu pela relevância e possibilidades de pesquisas nas áreas investigadas, sendo: Periódicos da Capes (I), Scopus (II), Scielo (III), Web of Science – coleção principal (IV) e Web of Science – Scielo Citation Index (V). Foi necessária a adaptação[2] do *string* de busca básico para cada uma delas, bem como a delimitação de áreas. Foram identificados 699 estudos, dos quais 186 eram duplicados.

Na segunda etapa da triagem, 513 registros foram analisados, com a leitura de títulos e palavras-chave (Tabela 1), aplicando-se critérios de exclusão e inclusão. Foram identificados os que estavam fora da área de escopo, totalizando 379 registros, que foram excluídos para a próxima fase.

Na próxima etapa da triagem, foram lidos os resumos e as introduções de 134 registros, e aplicados novamente os critérios de exclusão e inclusão (Tabela 1).

Tabela 1 – Critérios de inclusão e exclusão dos registros, 2ª fase.

CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO	1ª FASE TRIAGEM	2ª FASE TRIAGEM
Estudos voltados à eficiência energética de fachadas ou invólucros		20
Estudos que abordam reconstrução pós desastres e conflitos	13	2
Estudos que abordam preservação e HBIM	53	6
Estudos que não abordam projetos de reforma	313	45
Livros ou capítulos de livros		5
Sem acesso aberto integral		10
	379	**88**
Combinação de tecnologias em reformas		2
Projetos de interiores		6
Tecnologias 4.0		3
Tecnologias voltadas à edificação existente		27
Tecnologias voltadas a reformas		8
	-	**46**

Fonte: Elaborado pelos autores.

Seguiram para a terceira etapa da triagem (elegibilidade) 46 registros, que foram lidos na íntegra e avaliados qualitativamente[3] respondendo às seguintes questões (Q):

Q1. Aborda o uso de tecnologia no ambiente construído?

[2] Link de acesso ao quadro de *strings* adaptados: https://issuu.com/nataliadiehl/docs/r01

[3] Link de acesso ao quadro de avaliação qualitativa: https://issuu.com/nataliadiehl/docs/r02

Q2. Aborda o uso de tecnologia voltada para a reconstrução e a manutenção dos ambientes?

Q3. Aborda protocolos de aplicação da tecnologia?

Q4. Especifica locais de aplicação?

Q5. Indica limitações de aplicação do uso da tecnologia?

Q6. Indica possibilidades de pesquisas futuras?

Q7. Descreve procedimentos metodológicos?

Para cada resposta foi atribuído um valor: sim (1,0), parcialmente (0,5) e não (0,0). Foram excluídos 10 artigos que não atingiram pontuação qualitativa < 4,5, restando 36 trabalhos.

Foram adicionados 15 registros provenientes de outras fontes de buscas, sendo oito destes incluídos a partir da seleção e aplicação das etapas de triagem e dispostos quanto a sua avaliação de elegibilidade.

O protocolo PRISMA, permite a inclusão de estudos prévios à revisão. Estes, por sua vez, não necessitam de triagem e foram incluídos na introdução teórica deste trabalho por corresponderem a estudos fundamentais para o início desta pesquisa (PERRIER *et al.*, 2020; VOLK; STENGEL; SCHULTMANN, 2014).

Nesta revisão, portanto, foram incluídas 46 publicações (Figura 1), as quais são apresentadas a seguir quanto ao levantamento de dados obtidos e discutidas de acordo com a temática proposta nas questões de pesquisa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de responder ao objetivo principal deste estudo, as tecnologias foram categorizadas de acordo com as classificações estabelecidas no estudo de Perrier *et al.* (2020), no qual demonstra as tecnologias voltadas à construção 4.0 e as divide em sete áreas: ciência de dados; fabricação digital; pré-fabricação; BIM; inteligência artificial; sistemas de modelagem; tecnologias de monitoramento.

Foram encontradas 54 ocorrências relacionadas a tecnologias de monitoramento, com as respectivas subcategorias: sistemas de escaneamento (23); GIS – sistemas de informação geográfica (17); rastreamento de materiais (3) e gerenciamento de ciclo de vida (11). As demais categorias obtiveram as seguintes ocorrências: inteligência artificial (14); ciência de dados (4) e internet das coisas (9); sistemas de modelagem e visualização (8), tecnologias voltadas a eficiência energética (12) e softwares e plataformas (21).

A seguir, tais ocorrências serão discutidas em tópicos guiados pelas questões de pesquisa estabelecidas.

3.1 Tecnologias para reconstruir o existente.

No processo de reforma, renovação ou reconstrução da edificação, a maioria das pesquisas investiga a aplicação dos sistemas de escaneamento digital. **Sistemas de varredura LIDAR** (*Light Detection and Ranging*) e fotogrametria aparecem como tecnologias estabelecidas para a função de levantamento de informações da edificação existente (ALBANO, 2019; CUI *et al.*, 2019; GONÇALVES; GAGLIARDO, 2018; KRÄMER; BESENYŐI, 2018; SANHUDO *et al.*, 2018).

Tais tecnologias são uma alternativa à criação de desenhos e modelos de edificações que não possuam documentação técnica anterior (GALIEVA *et al.*, 2018; GANKHUYAG; HAN, 2020). Todavia, esse processo de digitalização da edificação existente, seja voltada ao ambiente interno ou externo, requer o tratamento dos dados obtidos por meio de tecnologias GIS (sistema de informação geográfica) e sistemas de **processamento de nuvem de pontos**, o que exige um alto esforço de modelagem e conversão para o BIM e sendo este, um processo manual, impacta na precisão dos dados (EKBA, 2019; HOSSAIN; YEOH, 2018; LOPES *et al.*, 2018; XIE *et al.*, 2019).

A partir dos estudos (GANKHUYAG; HAN, 2020; SANHUDO; MARTINS; RAMOS, 2020, 2022; TRAN; KHOSHELHAM, 2020), foi possível identificar que ocorreu um entendimento sobre as falhas desse processo, havendo uma busca pela sua automação com a utilização de recursos de inteligência artificial (*artificial*

intelligence), aprendizagem de máquina (*machine learning*) e aprendizagem profunda (*deep learning*) para geração ***scan-to-BIM***, porém ainda assim, este processo automatizado requer aprofundamento de domínios e melhoramentos.

Outra questão evidenciada foi a necessidade de associação de novas disciplinas ao processo de reconstrução da edificação existente, como as ciências da computação e a engenharia eletrônica, que possibilitam integrar **sistemas de monitoramento de materiais (RFID)** e sensorização dos espaços (HIPPERT; LONGO; MOREIRA, 2019; MARTINS *et al.*, 2022; MORETTI *et al.*, 2020).

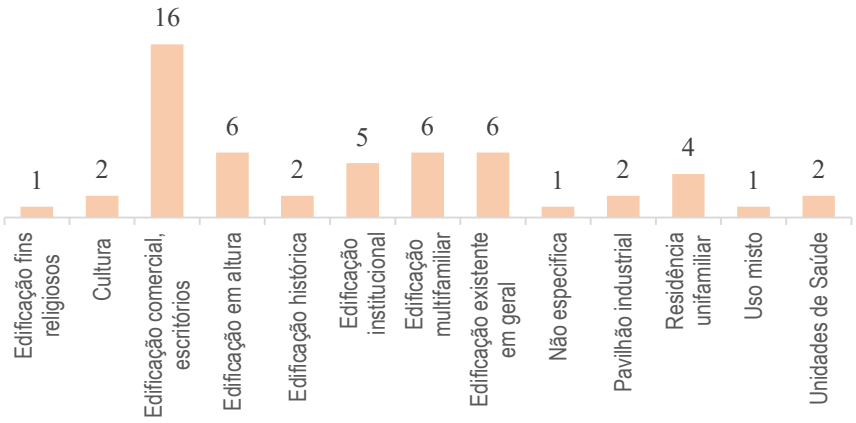
Essa integração ganhou destaque em virtude da disseminação da **IoT***,* que está viabilizando interconexão e manejo de dados (DESOGUS *et al.*, 2021; MORETTI *et al.*, 2020; SAMPAIO; AGUIAR COSTA; FLORES-COLEN, 2022; SHEN, 2021; VILLA *et al.*, 2021), evidenciando, ainda, a implementação prática do **gêmeos digitais** (*digital twins)* (HOSAMO *et al.*, 2023), sendo esta uma condição almejada para a implementação dos processos BIM, segundo Sacks *et al.* (2021), que indica que modelos virtuais de uma edificação quando bem desenvolvidos, oferecem suporte a todas as fases de projeto, possibilitando análise e controle além do que seria possível com processos manuais.

Tendo em vista que os procedimentos BIM estão estabelecidos e amplamente utilizados para novas construções (PERRIER *et al.*, 2020), mas sua aplicação não é frequente em projetos de edificações existentes (VOLK; STENGEL; SCHULTMANN, 2014), nem em projetos de retrofit (D'ANGELO *et al.*, 2019), destacam-se, nesta investigação, tecnologias voltadas a eficiência energética e processos de gerenciamento do ciclo de vida da edificação (BENZAR *et al.*, 2020; D'ANGELO *et al.*, 2022; EDWARDS *et al.*, 2019; LIU; REN, 2018; METALLIDOU; PSANNIS; EGYPTIADOU, 2020; RODRIGUES *et al.*, 2018). Por serem áreas de destaque na **gestão de instalações (FM),** esses campos requerem uma busca isolada, pois revelaram-se em evidência nos critérios de exclusão nas buscas iniciais (Tabela 1).

3.2 Tipologias, ambiente construído e combinações de tecnologias.

Quanto às tipologias de edificações existentes (Figura 2), observou-se um maior número de abordagens das tecnologias voltadas a edificações comerciais de escritórios. Esse índice está relacionado à necessidade de análise energética e possibilidades de redução de custos necessários a esses espaços (CHUDIKOVA; FALTEJSEK, 2019; DADZIE; RUNESON; DING, 2020), seguido de edificações em altura e residencial multifamiliar que se destacam pela necessidade de gerenciamento de instalações (FM) e operação e manutenção das edificações (O&M) (PAN; CHEN, 2020; ZAHRADNÍK, 2022).

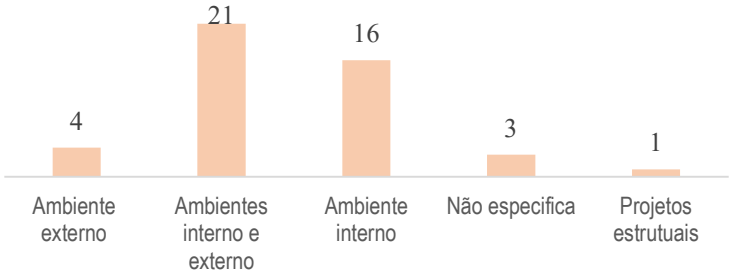
Figura 2 – Tipologias de edificações encontradas nos estudos



Fonte: Elaborado pelos autores.

Evidencia-se também que o uso das tecnologias quanto ao ambiente construído (Figura 3) reporta, na maioria dos casos, a relação entre ambientes interno e externo, havendo uma combinação do uso de tecnologias de **sistemas de monitoramento** (ALBANO, 2019; GALIEVA *et al.*, 2018; GONÇALVES; GAGLIARDO, 2018; KRÄMER; BESENYŐI, 2018; LOPES *et al.*, 2018; SANHUDO *et al.*, 2018), **automação dos processos de modelagem** (BOUABDALLAOUI *et al.*, 2020; DIAO; SHIH, 2020; GANKHUYAG; HAN, 2020) e **eficiência energética** (BENZAR *et al.* 2020; CHUDIKOVA; FALTEJSEK, 2019; D'ANGELO *et al.*, 2019, 2022; EDWARDS *et al.*, 2019; LIU; REN, 2018).

Figura 3 – Ambientes construídos encontrados nos estudos



Fonte: Elaborado pelos autores.

Por sua vez, os estudos que abordam especificamente o ambiente interno combinam o uso das mesmas tecnologias na maioria dos casos, havendo destaque para uso de **IA no processo de modelagem de interiores** (PAN *et al.*, 2022; SAMUEL; MAHANTA; CASEL VITUG, 2022) e **IoT para eficiência energética** (DESOGUS *et al.*, 2021; MARTINS *et al.*, 2022).

3.3 BIM aplicado AM, FM, O&M

Segundo Perrier *et al.* (2020), a evolução das tecnologias em diferentes áreas de atuação acentuou a deficiência na associação de dados e a necessidade de integração de disciplinas distintas, cabendo, assim, identificar, sobretudo no grupo de ações voltadas à reconstrução, quais as principais funções associadas ao uso da tecnologia.

Destaca-se, primeiramente, a categoria de gestão, com 20 ocorrências, na qual foi possível estabelecer subcategorias que representam, respectivamente, gestão das instalações (FM) (SAMPAIO; AGUIAR COSTA; FLORES-COLEN, 2022), operação e manutenção (O&M) (HIPPERT; LONGO; MOREIRA, 2019) e gestão de ativos (*asset management* – AM) (MORETTI et al., 2020). Na sequência está a categoria de eficiência energética, na qual questões de avaliação (HOSAMO *et al.*, 2023), integração com FM (KRÄMER; BESENYŐI, 2018) e sistemas de monitoramento e auditorias (DESOGUS *et al.*, 2021) são evidenciados.

Nas demais categorias, acentuam-se modelagem 3D e automação da modelagem, funções voltadas à melhoria de processos de escaneamento e processamento de dados (SANHUDO; MARTINS; RAMOS, 2022). Em retrofit são reunidos processos de reconstrução integrados à eficiência energética (DADZIE; RUNESON; DING, 2020); as funções *as built* abordam a digitalização do modelo existente para modelos virtuais (LI *et al.*, 2020; XIE *et al.*, 2019); por fim, uma pesquisa atribuiu o aprendizado profundo à identificação de estilos de design de interiores, voltando-se para a etapa de concepção criativa do projeto (KIM; LEE, 2020).

Tratando-se do ciclo de vida da edificação delimitado nesta pesquisa em reforma, renovação ou reconstrução do ambiente construído, as dimensões do BIM destacaram-se em diversos subconjuntos, sendo as três mais retratadas: 7D – gerenciamento da construção, manutenção do ativo; 3D – modelagem volumétrica; e 6D – sustentabilidade e eficiência energética.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo alcançou o objetivo de identificar o estado da arte sobre quais tecnologias são aplicadas às intervenções de edificações existentes, considerando processos de reforma, renovação ou reconstrução. Por meio da análise das publicações inseridas, foi possível classificar as tecnologias quanto aos seus padrões de ocorrência, tipologias de edificações existentes e ambiente construído em que são utilizadas, bem como suas principais funções ao longo do processo e as dimensões do BIM a que estão incorporadas.

Destacam-se ao tratar-se do tema, os seguintes tópicos: sistemas de monitoramento, automação dos processos de modelagem e eficiência energética, bem como a integração do uso de inteligência artificial e IoT nos recursos de combinação e interoperabilidade desses processos, podendo estes serem variáveis aprofundadas em pesquisas futuras.

Os resultados alcançados com este trabalho de propósito exploratório forneceram subsídio para pesquisas futuras, amparando as descobertas de objetos correlatos, variações de termos e estado da arte, envolvendo o novo paradigma da indústria 5.0, que já vislumbra o uso de inteligência artificial integrado a tecnologias

existentes. O tema enfatiza a importância de tornar os processos de reforma, renovação ou reconstrução do ambiente construído existente digitais e integrados. O conceito de Gêmeos Digitais (*Digital Twins*) emerge da indústria e ganha destaque de aplicação na construção, justamente como possível suporte para viabilizar esta necessidade de integração.

Por fim, indica-se como caminho para pesquisas futuras dois segmentos que foram relevantes nos critérios de exclusão dos registros iniciais: HBIM (*Heritage Building Information Modeling*), cuja abordagem BIM é aplicada ao patrimônio histórico; e BEM (*Building Energy Model*), que o aplica ao desempenho energético da edificação. Considera-se que ambos os campos podem fornecer referências e estudos de caso no emprego da tecnologia voltados ao ambiente construído, provendo recursos para expansão do assunto.

5 AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi desenvolvida na disciplina de Metodologia de Pesquisa A, do Programa de Pós Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes Brasil), sob condição de bolsa de mestrado concedida à autora.

REFERÊNCIAS

ALBANO, R. Investigation on roof segmentation for 3D building reconstruction from aerial LIDAR point clouds. **Applied Sciences**, Basel, v. 9, n. 21, 4674, jan. 2019. Disponível em: https://www.mdpi.com/2076-3417/9/21/4674. Acesso em: 29 mar. 2023.

BENZAR, B.-E. *et al.* Determining retrofit technologies for building energy performance. **Journal of Asian Architecture and Building Engineering**, Boca Raton, v. 19, n. 4, p. 367-383, 3 jul. 2020.apêndice

BOMFIM, C. A. A.; LISBOA, B. T. W.; MATOS, P. C. C. Gestão de obras com BIM: uma nova era para o setor da construção civil. *In:* CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 20., 2016, Buenos Aires. **Blucher Design Proceedings**. São Paulo: Blucher, dez. 2016, p. 556-560. Disponível em: http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/24849. Acesso em: 29 mar. 2023.

BOUABDALLAOUI, Y. *et al.* Natural language processing model for managing maintenance requests in buildings. **Buildings**, Basel, v. 10, n. 9, 160, set. 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2075-5309/10/9/160. Acesso em: 29 mar. 2023.

BRASIL. **Decreto nº 9.983 de 22 de agosto de 2019**. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling. Brasília, DF: Presidência da República, 2019. Disponível em: https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=DEC&numero=9983&ano=2019&ato=0f2MzZU9keZpWT946. Acesso em: 30 mar. 2023.

CHUDIKOVA, B.; FALTEJSEK, M. Advantages of using virtual reality and building information modelling when assessing suitability of various heat sources, including renewable energy sources. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, Bristol, v. 542, n. 1, 012022, jun. 2019. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/542/1/012022/pdf. Acesso em: 30 mar. 2023.

CUI, Y. *et al.* Automatic 3-D reconstruction of indoor environment with mobile laser scanning point clouds. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, [*s. l.*], v. 12, n. 8, p. 3117-3130, ago. 2019.

D'ANGELO, L. *et al.* A novel BIM-based process workflow for building retrofit. **Journal of Building Engineering**, Amsterdam, v. 50, 104163, 2022. Disponível em: https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2352710222001760?token=3B058B05F0A57B2F3077709E20BE50EC7025DA0113D59BE93BEB97F2F440C0516F9F2F9DA0AEF5194F81A21E1D531380&originRegion=us-east-1&originCreation=20230330144737. Acesso em: 30 mar. 2023.

D'ANGELO, L. *et al.* BIM-based business process model to support systematic deep renovation of buildings. *In:* IBPSA INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION, 16., 2019, Rome. **Building Simulation.** Rome: IBPSA, 2019. p. 137-144. Disponível em: http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2019/BS2019_210481.pdf. Acesso em: 30 mar. 2023.

DADZIE, J.; RUNESON, G.; DING, G. Assessing determinants of sustainable upgrade of existing buildings: The case of sustainable technologies for energy efficiency. **Journal of Engineering, Design and Technology**, [*s. l.*], v. 18, n. 1, p. 270-292, 1 jan. 2019.

DESOGUS, G. *et al.* BIM and IoT sensors integration: a framework for consumption and indoor conditions data monitoring of existing buildings. **Sustainability**, Basel, v. 13, n. 8, p. 4496, jan. 2021.

DIAO, P.-H.; SHIH, N.-J. BIM-Based AR Maintenance System (BARMS) as an Intelligent Instruction Platform for Complex Plumbing Facilities. **Applied Sciences**, Basel, v. 9, n. 8, 1592, jan. 2019. Disponível em: https://www.mdpi.com/2076-3417/9/8/1592. Acesso em: 30 mar. 2023.

EDWARDS, R. E. *et al.* Sustainability-led design: feasibility of incorporating whole-life cycle energy assessment into BIM for refurbishment projects. **Journal of Building Engineering**, Amsterdam, v. 24, 100697, 1 jul. 2019. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710218305278. Acesso em: 30 mar. 2023.

EKBA, S. BIM technologies in the inspection of buildings and structures. **E3S Web of Conferences**, [*s. l.*], v. 110, 01081, 2019. Disponível em: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/36/e3sconf_spbwosce2019_01081.pdf. Acesso em: 30 mar. 2023.

GALIEVA, A. B. *et al.* Defects search during the inspection of civil and industrial buildings and structures on the basis of laser scanning technology and information modeling approach (BIM). **MATEC Web of Conferences**, [*s. l.*], v. 146, 01007, 2018. Disponível em: https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2018/05/matecconf_bd2018_01007.pdf. Acesso em: 30 mar. 2023.

GANKHUYAG, U.; HAN, J.-H. Automatic 2D floorplan CAD generation from 3D point clouds. **Applied Sciences**, Basel, v. 10, n. 8, 2817, 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2076-3417/10/8/2817. Acesso em: 30 mar. 2023.

GONÇALVES, L.; GAGLIARDO, J. Estudo de caso: utilização da fotogrametria para geração de BIM's. *In:* CONGRESSO PORTUGUÊS DE BUILDING INFORMATION MODELLING, 2., 2018, Lisboa. **PTBIM**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2018. p. 199-208.

HIPPERT, M. A. S.; LONGO, O. C.; MOREIRA, A. C. RFID na edificação: proposta de modelo de sistema para organização das informações de manutenção. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 4, p. 155-173, 4 out. 2019.

HOSAMO, H. H. *et al.* Digital twin framework for automated fault source detection and prediction for comfort performance evaluation of existing non-residential Norwegian buildings. **Energy and Buildings**, Amsterdam, v. 281, 112732, 15 fev. 2023. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778822009033. Acesso em: 30 mar. 2023.

HOSSAIN, M. A.; YEOH, J. K. W. BIM for existing buildings: potential opportunities and barriers. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, Bristol, v. 371, 012051, jun. 2018. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/371/1/012051/pdf. Acesso em: 30 mar. 2023.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (IPHAN). Bens tombados. Brasília, DF, c2014. Disponível em: http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/126. Acesso em: 30 mar. 2023.

KIM, J.; LEE, J.-K. Stochastic detection of interior design styles using a deep-learning model for reference images. **Applied Sciences**, Basel, v. 10, n. 20, 7299, jan. 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2076-3417/10/20/7299. Acesso em: 30 mar. 2023.

KRÄMER, M.; BESENYŐI, Z. Towards digitalization of building operations with BIM. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, Bristol, v. 365, n. 2, 022067, jun. 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/325704134_Towards_Digitalization_of_Building_Operations_with_BIM/fulltext/5b1f2662aca272277fa71672/Towards-Digitalization-of-Building-Operations-with-BIM.pdf. Acesso em: 30 mar. 2023.

LOPES, J. *et al.* Utilização da metodologia BIM no apoio à reabilitação funcional de um edifício. *In:* CONGRESSO PORTUGUÊS DE BUILDING INFORMATION MODELLING, 2., 2018, Lisboa. **PTBIM**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2018. p. 341-350.

MARTINS, P. N. *et al.* Digital twin para a gestão inteligente de edifícios: o caso do Smart Office do Built Colab. *In:* CONGRESSO PORTUGUÊS DE BUILDING INFORMATION MODELLING, 4., 2022, Braga. **PTBIM**. Braga: Universidade do Minho, 2022. p. 494-505. vol. 1.

METALLIDOU, C. K.; PSANNIS, K. E.; EGYPTIADOU, E. A. Energy efficiency in smart buildings: IoT approaches. **IEEE Access**, [*s. l.*], v. 8, p. 63679-63699, 2020.

MOHER, D. *et al.* Principais itens para relatar revisões sistemáticas e metanálises: a recomendação PRISMA. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, v. 24, n. 2, p. 335–342, jun. 2015.

MORETTI, N. *et al.* An openBIM approach to IoT integration with incomplete as-built data. **Applied Sciences**, Basel, v. 10, n. 22, 8287, jan. 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2076-3417/10/22/8287. Acesso em: 30 mar. 2023.

PAGE, M. J. *et al.* A declaração PRISMA 2020: diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, v. 31, n. 2, e2022107, jul. 2022. Disponível em: http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-49742022000201700&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 30 mar. 2023.

PERFORM Systematic Literature Reviews. *[S. l.]*, c2021. Disponível em: https://parsif.al/. Acesso em: 30 mar. 2023.

PERRIER, N. *et al*. Construction 4.0: a survey of research trends. **Journal of Information Technology in Construction**, [*s. l.*], v. 25, p. 416-437, 8 set. 2020.

PIASECKIENĖ, G. Dimensions of BIM in literature: review and analysis. **Mokslas – Lietuvos ateitis / Science – Future of Lithuania**, [*s. l.*], v. 14, 9 fev. 2022. Disponível em: https://journals.vilniustech.lt/index.php/MLA/article/view/16071. Acesso em: 30 mar. 2023.

RODRIGUES, F. *et al.* Building life cycle applied to refurbishment of a traditional building from Oporto, Portugal. **Journal of Building Engineering**, Amsterdam, v. 17, p. 84-95, 1 maio 2018.

SACKS, R. *et al.* **Manual de BIM**: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Porto Alegre: Bookman, 2021. *E-book*.

SAMPAIO, R.; AGUIAR COSTA, A.; FLORES-COLEN, I. I**nteligência artificial aplicada à gestão do ambiente construído: Revisão de literatura.** *In:* CONGRESSO PORTUGUÊS DE BUILDING INFORMATION MODELLING, 4., 2022, Braga. **PTBIM**. Braga: Universidade do Minho, 2022. p. 569-577. vol. 1.

SAMUEL, A.; MAHANTA, N. R.; CASEL VITUG, A. Computational technology and artificial intelligence (AI) revolutionizing interior design graphics and modelling. *In:* INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING COMMUNICATION AND NETWORKING TECHNOLOGIES (ICCCNT), 13., 2022, Kharagpur. **Anais [...]**. [*S. l.*]: IEEE, 2022. p. 1-6.

SANHUDO, L. *et al.* Técnicas de levantamento laser scanner - aplicabilidade ao contexto dos edifícios. *In:* CONGRESSO PORTUGUÊS DE BUILDING INFORMATION MODELLING, 2., 2018, Lisboa. **PTBIM**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2018. p. 179-188.

SANHUDO, L.; MARTINS, J. P.; RAMOS, N. Ferramentas para Modelação Automática Scan-to-BIM. *In:* CONGRESSO PORTUGUÊS DE BUILDING INFORMATION MODELLING, 3., 2020, Porto. **PTBIM**. Porto: Universidade do Porto, 2020. p. 669-680.

SANHUDO, L.; MARTINS, J. P.; RAMOS, N. M. M. Proposta de algoritmos de inteligência artificial para automatização do processo scan-to-BIM. *In:* CONGRESSO PORTUGUÊS DE BUILDING INFORMATION MODELLING, 4., 2022, Braga. **PTBIM**. Braga: Universidade do Minho, 2022. p. 419-429. vol. 2.

SHEN, S. Practice and research on the combination of interior design and smart home in internet information age. *In:* INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER TECHNOLOGY AND MEDIA CONVERGENCE DESIGN (CTMCD), 2021, Sanya. **Anais [...]**. [*S. l.*]: IEEE, 2021. p. 273-276.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, [*s. l.*], v. 18, n. 3, p. 357-375, 1 maio 2009.

TRAN, H.; KHOSHELHAM, K. Procedural reconstruction of 3D indoor models from Lidar data using reversible jump markov chain Monte Carlo. **Remote Sensing**, [*s. l.*], v. 12, n. 5, 838, jan. 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2072-4292/12/5/838. Acesso em: 30 mar. 2023.

VILLA, V. *et al*. IoT open-source architecture for the maintenance of building facilities. **Applied Sciences**, Basel, v. 11, n. 12, 5374, jan. 2021. Disponível em: https://www.mdpi.com/2076-3417/11/12/5374. Acesso em: 30 mar. 2023.

VOLK, R.; STENGEL, J.; SCHULTMANN, F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings – Literature review and future needs. **Automation in Construction**, Amsterdam, v. 38, p. 109-127, 1 mar. 2014.

WELCOME to the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) website! [*S. l.*], c2021. Disponível em: https://prisma-statement.org/. Acesso em: 30 mar. 2023.

XIE, L. *et al.* A layer-wise strategy for indoor as-built modeling using point clouds. **Applied Sciences**, Basel, v. 9, n. 14, 2904, jan. 2019. Disponível em: https://www.mdpi.com/2076-3417/9/14/2904. Acesso em: 30 mar. 2023.

ZAHRADNÍK, D. Roof leak detection by thermography of as-built BIM. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Prague, v. XLVI-5/W1-2022, 2022. Disponível em: https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLVI-5-W1-2022/251/2022/. Acesso em: 30 mar. 2023.