INTEGRAÇÃO ENTRE BIM E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL: aplicações e condições para uma implementação confiável

INTEGRATING BIM AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CONSTRUCTION: applications and conditions for reliable implementation

Fabio Rodrigues da Costa*

RESUMO

Este artigo analisa aplicações de inteligência artificial integradas à Modelagem da Informação da Construção (BIM), a qualidade das evidências disponíveis e as condições necessárias à implementação. Adota análise documental e revisão narrativa ampliada, com leitura de estudos acadêmicos e consulta a documentação de instituições responsáveis por padrões e orientações profissionais. Cinco revisões inicialmente selecionadas são complementadas por pesquisas empíricas, *benchmarks*, dissertações brasileiras e documentos técnicos. A extração considera tarefa, dados, comparação, métrica, resultado e limites. Os resultados identificam aplicações em enriquecimento semântico, geração de dados de treinamento, custos, inspeção, otimização, consulta e edição de modelos e interpretação de requisitos. Demonstram também que acurácia de classificação, validade formal, qualidade geométrica e benefício operacional representam dimensões diferentes e não podem ser comparadas como um indicador único. Os casos brasileiros acrescentam fluxos de otimização de canteiro, representação de danos e formalização de requisitos, com limitações de amostra e de validação. Padrões abertos e guias institucionais apoiam especificação, rastreabilidade e supervisão, mas não substituem a avaliação da aplicação. Propõe-se implementar a integração a partir da decisão pretendida, de requisitos de informação verificáveis e de testes independentes. Conclui-se que a contribuição da IA ao BIM depende da fidelidade das transformações e da capacidade de verificar suas saídas e efeitos no processo real.

Palavras-chave: modelagem da informação da construção; inteligência artificial; aprendizado de máquina; gestão da informação; validação de modelos.

* Consultor sênior, professor universitário e palestrante, com mais de 26 anos de experiência na construção civil e especialização em gestão de projetos, planejamento de obras e aplicação de BIM. MBA em Gestão de Projetos (FGV); pós-graduação em Gerenciamento de Obras (Uninove), em Metodologia BIM (IBEC) e em Gestão de Projetos na Construção (USP); pós-graduando em Inteligência Artificial e Negócios (PUC-PR). Participou de projetos industriais que somam mais de 1 milhão de m² de área construída, integrando equipes de obras vencedoras do prêmio internacional Golden Trowel em 2015 e 2018. E-mail: fabiocosta81@gmail.com.

ABSTRACT

This article examines artificial intelligence applications integrated with Building Information Modeling (BIM), the quality of available evidence, and implementation requirements. It adopts documentary analysis and an expanded narrative review, with examination of academic studies, and consultation of institutions responsible for open standards and professional guidance. Five initially selected reviews are complemented by empirical research, benchmarks, Brazilian dissertations, and technical documents. Data extraction considers the task, dataset, comparison, metric, outcome, and limitations. The findings identify applications in semantic enrichment, training data generation, cost management, inspection, optimization, model querying and editing, and requirements interpretation. They also show that classification accuracy, formal validity, geometric quality, and operational benefit describe different dimensions and cannot be treated as a single performance indicator. Brazilian cases add workflows for site layout optimization, damage representation, and requirements formalization, while revealing limitations in sample size and validation. Open standards and institutional guidance support specification, traceability, and oversight but do not replace application assessment. The article proposes implementation based on the intended decision, verifiable information requirements, and independent testing. It concludes that the contribution of AI to BIM depends on faithful information transformations and the ability to verify outputs and their effects in real processes.

Keywords: building information modeling; artificial intelligence; machine learning; information management; model validation.

1 INTRODUÇÃO

A ampliação do uso da Modelagem da Informação da Construção (Building Information Modeling — BIM) aumenta a quantidade de informações disponíveis para projetar, planejar, executar e operar empreendimentos. Essa disponibilidade, entretanto, não garante que as informações sejam completas, comparáveis ou adequadas à decisão que se pretende tomar. Um modelo pode representar a geometria de uma edificação e continuar insuficiente para estimar custos, antecipar uma falha ou orientar a manutenção de um equipamento. A integração entre BIM e inteligência artificial precisa ser examinada a partir dessa relação entre informação disponível, problema de gestão e possibilidade de verificação do resultado.

As revisões de Abioye *et al.* (2021), Adebayo *et al.* (2025) e Egwim *et al.* (2024) apresentam um conjunto amplo de aplicações de inteligência artificial (IA) na construção. Entre elas estão previsão de custos, planejamento, análise de riscos, inspeção, monitoramento e gestão de ativos. Os trabalhos também registram obstáculos relacionados aos dados, à capacidade de implementação e à mudança dos processos organizacionais. Essa literatura permite reconhecer campos de aplicação, mas reúne objetos e tipos de evidência diferentes.

Um algoritmo testado em uma base de dados, um protótipo conectado a uma ferramenta BIM e uma solução acompanhada durante a operação de um ativo não fornecem a mesma demonstração de desempenho.

A distinção é particularmente importante quando os resultados de revisões são usados para orientar o ensino e a prática profissional. Uma lista de tecnologias pode sugerir que os recursos já estejam disponíveis, integrados e validados para qualquer empreendimento. Da mesma forma, um percentual associado a uma experiência específica pode ser tomado como expectativa geral de economia. Para avaliar essas afirmações, é necessário conhecer o conjunto de dados, a tarefa executada, o método de comparação e as condições em que o resultado foi obtido. A leitura crítica deve acompanhar a apresentação das oportunidades de uso.

O BIM contribui para essa discussão ao organizar objetos, propriedades e relações vinculadas ao empreendimento. A IA pode utilizar parte dessas informações para reconhecer padrões, realizar inferências ou explorar alternativas. A integração exige, contudo, uma conexão efetiva entre os dados do modelo e o procedimento computacional. A simples presença das expressões BIM e IA no mesmo estudo não demonstra essa conexão. Também não basta produzir uma imagem arquitetônica ou um texto sobre uma edificação para afirmar que foi criado ou atualizado um modelo BIM com informação verificável.

Este artigo procura responder à seguinte questão de pesquisa: em quais condições a integração entre BIM e inteligência artificial pode apoiar decisões na construção civil, e que evidências permitem avaliar a confiabilidade de suas aplicações? O objetivo é analisar os usos apresentados na literatura, distinguir os níveis de comprovação dos resultados e propor uma estrutura de implementação orientada por requisitos de informação e critérios de avaliação. O interesse recai sobre o ciclo de vida do empreendimento, incluindo projeto, construção e operação, sem limitar a discussão a um software ou fornecedor.

A contribuição do artigo é uma síntese interpretativa que relaciona as aplicações aos dados necessários, aos procedimentos de validação e às decisões que pretendem apoiar. A base inicial de cinco revisões é ampliada com estudos de classificação e enriquecimento semântico, geração de dados, planejamento, inspeção, linguagem natural e verificação. Acrescentam-se pesquisas brasileiras e documentação técnica de instituições responsáveis por padrões abertos e orientações profissionais. As recomendações resultantes são proposições analíticas; este artigo não apresenta um sistema aplicado pelo autor a um empreendimento nem estima um retorno financeiro geral da IA.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo adota análise documental e revisão narrativa ampliada com seleção temática. O núcleo inicial compreende Abioye *et al.* (2021), Adebayo *et al.* (2025), Egwim *et al.* (2024), Ajayi (2025) e Silva, Mantovani e Porto (2026), lidos integralmente e comparados quanto ao objeto, ao recorte, ao método e à sustentação das conclusões. O Quadro 1 sintetiza essa base de partida. A ampliação incorpora estudos empíricos e *benchmarks* para aprofundar as aplicações, além de dissertações, artigos e anais brasileiros e fontes institucionais de documentação. As referências ao final correspondem às obras efetivamente mobilizadas na análise.

Quadro 1 – Revisões que orientaram a comparação inicial

Estudo	**Recorte e procedimento declarado**	**Alcance da evidência para esta análise**
Abioye *et al.* (2021)	Revisão crítica de técnicas e aplicações de IA na construção.	Panorama de usos e barreiras; integração BIM não demonstrada em todo o conjunto.
Adebayo *et al.* (2025)	135 publicações de gestão de projetos; inclui 18 classificadas como básicas ou não IA.	Frequências de pesquisa, com divergências entre contagens internas; não mede adoção industrial.
Egwim *et al.* (2024)	70 artigos; revisão sistemática; busca até 21/01/2022.	Ciclo de vida ampliado; tensão entre a ênfase narrativa em operação e os valores da Figura 5.
Ajayi (2025)	Panorama narrativo de tecnologias, casos e barreiras.	Não explicita corpus reprodutível; benefícios numéricos exigem conferência nas fontes primárias.
Silva, Mantovani e Porto (2026)	Síntese do CONTECC; declara 167 documentos na Scopus.	Texto curto; não apresenta os elementos necessários à reprodução integral da seleção.

Fonte: elaboração do autor a partir de Abioye *et al.* (2021), Adebayo *et al.* (2025), Egwim *et al.* (2024), Ajayi (2025) e Silva, Mantovani e Porto (2026).
Nota: as quantidades pertencem aos corpora informados pelos estudos e não foram somadas, pois podem incluir as mesmas publicações.

A ampliação reuniu artigos científicos, dissertações, anais de eventos e documentos técnicos, em português e inglês, com prioridade para publicações recentes e inclusão de fundamentos anteriores pertinentes. Foram explorados quatro eixos: aplicações técnicas de BIM e aprendizado de máquina; modelos de linguagem e agentes; pesquisas brasileiras; e padrões de informação e governança. A confirmação das informações privilegiou editoras, periódicos, eventos científicos, repositórios institucionais e sites oficiais de organismos do setor.

A inclusão privilegiou relação explícita com uma tarefa BIM ou com um problema de construção delimitado, autoria e origem verificáveis e descrição de métodos e dados. Duplicatas foram verificadas por DOI, título e versão. Fontes sem texto integral disponível não sustentaram análise detalhada de resultados. A leitura registrou tarefa, dados ou amostra, comparação, métrica, resultado, limitações e páginas pertinentes. Divergências entre resumo, discussão e figuras foram mantidas como limitações documentais. Versões de autor e *preprints* foram identificados; não receberam o mesmo estatuto editorial dos artigos de periódico.

O núcleo inicial contém estudos secundários cujas referências podem se sobrepor; seus corpora não foram somados como investigações independentes. A ampliação introduz diferentes unidades de avaliação: objetos no padrão Industry Foundation Classes (IFC), ambientes, nuvens de pontos, regras, perguntas, operações de edição e casos de empreendimentos. Os resultados permaneceram associados a essas unidades e ao protocolo correspondente. Frequência de publicação não foi tratada como adoção industrial, e métricas de tarefas diferentes não foram agregadas. Propostas de implementação do autor foram distinguidas das conclusões empíricas das fontes.

O procedimento oferece uma revisão narrativa, não uma revisão sistemática exaustiva ou metanálise. Não houve seleção independente em dupla, registro público prévio de protocolo ou cálculo de concordância. A disponibilidade de textos integrais e os idiomas priorizados podem influenciar a seleção. A análise diferencia a data editorial das publicações, o encerramento de suas buscas e a versão efetivamente lida. Esse cuidado é importante tanto para revisões que estudam períodos anteriores quanto para *benchmarks* que foram revisados ao longo de 2026.

3 FUNDAMENTOS DA INTEGRAÇÃO ENTRE BIM E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

3.1 INFORMAÇÃO DO EMPREENDIMENTO E CAPACIDADE DE INFERÊNCIA

O BIM pode ser compreendido, neste artigo, como uma abordagem de produção, organização e uso de informação relacionada ao ambiente construído, apoiada por modelos digitais. Sua utilidade depende do conteúdo necessário aos usos pretendidos e de como esse conteúdo é produzido, entregue e atualizado. A ISO 19650-1 organiza conceitos de gestão da informação ao longo do ciclo de vida dos ativos e inclui intercâmbio, registro, versionamento

e organização da informação (International Organization for Standardization, 2018). Esses aspectos continuam relevantes quando uma etapa do processo passa a utilizar IA.

A inteligência artificial reúne abordagens distintas. Modelos de aprendizado de máquina ajustam relações a partir de dados; sistemas baseados em conhecimento utilizam representações e regras; métodos de busca e otimização exploram alternativas segundo objetivos e restrições. Essas famílias podem se combinar em uma mesma aplicação. A revisão de Abioye *et al.* (2021) inclui aprendizado de máquina, visão computacional, robótica, sistemas baseados em conhecimento e otimização, o que evidencia a amplitude do tema e a inadequação de tratar IA apenas como um serviço de conversação.

No aprendizado supervisionado, a relação entre os dados de entrada e uma variável de interesse é ajustada a partir de exemplos. A utilização posterior desse modelo precisa ser distinguida do treinamento e de sua avaliação. Um bom ajuste aos exemplos disponíveis não garante desempenho em novos casos, especialmente quando mudam o tipo de empreendimento, os critérios de registro ou as condições de execução (Goodfellow; Bengio; Courville, 2016). No contexto BIM, essa distinção exige examinar se as propriedades do modelo representam o mesmo fenômeno nos empreendimentos usados para treinar e para aplicar a solução.

A integração, portanto, possui duas dimensões relacionadas. A primeira é informacional: identificar os objetos e dados que representam o problema. A segunda é operacional: definir o procedimento que transforma esses dados em uma saída utilizável. Uma aplicação pode inferir a probabilidade de falha de um equipamento, mas a organização precisa estabelecer como essa probabilidade será relacionada ao cadastro do ativo, examinada pela equipe e convertida em uma decisão de manutenção. O resultado do algoritmo participa de um processo maior, com responsabilidades e consequências próprias.

3.2 AUTOMAÇÃO POR REGRAS E MÉTODOS DE APRENDIZADO

Rotinas automatizadas de exportação, renomeação, preenchimento de parâmetros ou verificação de propriedades podem ser implementadas por instruções e regras explícitas. O fato de uma tarefa ser automática não demonstra que ela utilize um modelo aprendido. Essa distinção ajuda a selecionar uma solução proporcional ao problema. Quando existe uma regra estável, conhecida e diretamente verificável, sua implementação pode ser mais simples de testar do que uma inferência probabilística. Quando a relação depende de padrões presentes em dados históricos, um método de aprendizado pode oferecer uma alternativa a investigar.

Isso não significa separar rigidamente as abordagens. Regras podem controlar entradas e saídas de um modelo aprendido, enquanto algoritmos de busca podem explorar soluções geradas por procedimentos paramétricos. O estudo de Flores (2021) constitui um exemplo dessa composição: o fluxo articula geração de alternativas, modelagem BIM, verificação e otimização por algoritmo genético. A contribuição está na conexão entre os procedimentos e os critérios de avaliação, e não na classificação isolada de cada ferramenta como inteligente.

Para a análise de uma proposta de IA aplicada ao BIM, convém identificar onde ocorre o aprendizado ou a inferência, que parte do fluxo permanece determinística e que verificações independentes são realizadas. Essa identificação torna possível discutir erros concretos. Uma regra mal especificada exige revisão do requisito; uma classificação incorreta pode decorrer da insuficiência dos exemplos; uma inconsistência geométrica pode decorrer da tradução entre sistemas. Sem essa separação, problemas de natureza diferente tendem a ser atribuídos genericamente à IA ou ao modelo BIM.

3.3 INTERPRETAÇÃO DAS MÉTRICAS E DOS NÍVEIS DE EVIDÊNCIA

As métricas precisam ser relacionadas ao objeto avaliado. Acurácia informa a proporção de classificações corretas, mas pode esconder desempenho ruim em classes pouco frequentes. Medidas de precisão, revocação e F1 ajudam a examinar tipos de erro; resultados médios precisam ser acompanhados da distribuição por classe. Segmentação de imagens ou de nuvens de pontos utiliza indicadores de sobreposição, como a razão entre interseção e união (IoU) e sua média por classes (mIoU), que não têm o mesmo significado da exatidão de uma resposta textual. No mAP50, a detecção é avaliada com limiar de sobreposição de 0,50; esse valor não expressa acerto de todo o processo BIM. Uma métrica de código compilável, por sua vez, não verifica automaticamente se o modelo criado atende ao requisito pretendido.

O conjunto de teste também faz parte do resultado. Separar objetos de um mesmo projeto entre treino e teste não equivale a avaliar uma obra inteiramente nova. Dados sintéticos, replicação de registros e aumento de imagens precisam ser considerados ao interpretar a independência dos exemplos. A comparação entre métodos é mais informativa quando utiliza a mesma tarefa, os mesmos dados e um orçamento equivalente de execução. A análise proposta neste artigo examina essas condições antes de interpretar um percentual como vantagem técnica.

Distinguem-se, ainda, viabilidade técnica, qualidade da tarefa e efeito operacional. Um protótipo demonstra uma conexão possível; um teste mensura o desempenho de uma

operação; uma avaliação no processo real examina tempo total, retrabalho, revisão e consequências. Essa separação é um critério interpretativo deste artigo, não uma escala de certificação. Ela permite compreender por que resultados numericamente elevados em uma etapa podem coexistir com baixa confiabilidade do fluxo completo.

4 LEITURA CRÍTICA DAS REVISÕES SELECIONADAS

4.1 ABRANGÊNCIA DAS APLICAÇÕES E FORÇA DAS EVIDÊNCIAS

Abioye *et al.* (2021) oferecem uma revisão crítica das aplicações, oportunidades e desafios da IA na construção. A organização por famílias de técnicas e problemas setoriais permite compreender que o mesmo objetivo de gestão pode mobilizar abordagens diferentes. Monitorar uma atividade, por exemplo, pode envolver reconhecimento visual, interpretação de registros e comparação com o planejamento. A amplitude do levantamento é útil para identificar possibilidades, mas não produz uma medida única de desempenho nem demonstra que todas as aplicações dependam de BIM.

Essa diferença entre aplicação de IA na construção e integração com BIM deve orientar a leitura do corpus. Uma solução de análise de imagens pode detectar defeitos sem utilizar o modelo do empreendimento. A integração passa a existir quando os resultados são associados de maneira definida aos elementos, às localizações ou aos processos representados no BIM, com uma finalidade estabelecida. O presente artigo considera esse vínculo uma condição analítica para discutir integração efetiva, em vez de adotar como evidência suficiente a menção conjunta às tecnologias.

Ajayi (2025) reúne tendências em robótica, detecção de defeitos e análise preditiva, além de discutir exemplos apresentados como aplicações práticas. O artigo contribui como panorama de temas e barreiras, mas não explicita um procedimento de seleção que permita reconstruir um corpus de revisão sistemática. Os benefícios percentuais e os relatos de casos exigem consulta às fontes primárias, à linha de base e ao método de mensuração. A presença de um número em um texto de revisão não permite atribuí-lo automaticamente à combinação BIM e IA nem tratá-lo como efeito geral da tecnologia.

Para uso profissional, a força da evidência precisa acompanhar a afirmação feita. Uma descrição de potencial pode justificar a realização de um teste. Um experimento controlado pode demonstrar a viabilidade de uma tarefa nas condições estudadas. Uma avaliação de campo pode examinar se o resultado se mantém no processo real e compensa os recursos

exigidos. A passagem de um nível ao seguinte requer evidências adicionais. Essa gradação é uma síntese analítica deste artigo e procura evitar que demonstrações de possibilidade sejam apresentadas como garantias de desempenho operacional.

4.2 GESTÃO DE PROJETOS E CICLO DE VIDA DOS ATIVOS

Adebayo *et al.* (2025) apresentam uma revisão estruturada de 135 publicações, distribuídas em períodos de evolução tecnológica. Os autores identificam maior presença de aplicações nas etapas de planejamento e de monitoramento e controle do projeto. O recorte é importante: trata-se de uma classificação de publicações no âmbito da gestão de projetos, e não de uma pesquisa amostral sobre a utilização de ferramentas por empresas. Além disso, 18 estudos são classificados pelos próprios autores como abordagens básicas ou não baseadas em IA, o que impede ler o total de 135 como quantidade de implementações de inteligência artificial (Adebayo *et al.*, 2025, p. 6-7).

A conferência das contagens também recomenda cautela. O artigo apresenta distribuições por período que não são inteiramente coincidentes entre diferentes figuras, embora os totais gerais sejam mantidos. A leitura desta análise não escolhe uma dessas distribuições como se fosse uma correção definitiva. Mantém-se a contribuição qualitativa do estudo para identificar finalidades, barreiras e etapas de aplicação, mas suas frequências não são utilizadas para calcular participação relativa do BIM ou projetar tendências de adoção industrial (Adebayo *et al.*, 2025, p. 5-9).

Egwim *et al.* (2024), por sua vez, examinam 70 artigos com uma perspectiva de cadeia de valor e ciclo de vida. Embora o volume do periódico seja de 2024, o trabalho informa busca encerrada em 21 de janeiro de 2022. Esse recorte precisa acompanhar as conclusões: o documento não representa, por sua data editorial, uma avaliação da expansão posterior dos grandes modelos de linguagem. Seu valor está na organização das aplicações e dos obstáculos da literatura selecionada até o período efetivamente investigado (Egwim *et al.*, 2024, p. 3).

Há ainda uma tensão interna relevante. O resumo e a discussão destacam o uso em gestão de instalações e ativos, enquanto a soma das categorias da Figura 5, realizada nesta análise, resulta em 18 trabalhos de planejamento, 28 de construção e execução e 24 de suprimento e gestão de instalações. Diante dessa diferença, não se adota a alegação de predominância da operação como um ranking quantitativo conclusivo. O achado deve ser lido com o gráfico e com a forma de agrupamento das etapas, sem converter uma formulação do resumo em medida estável de distribuição da pesquisa (Egwim *et al.*, 2024, p. 1, 9, 14).

As diferenças entre Adebayo *et al.* (2025) e Egwim *et al.* (2024) também decorrem do enquadramento adotado. O ciclo de gestão do projeto não coincide com todo o período de uso de um ativo. Uma revisão centrada em planejamento e entrega pode dar menor visibilidade à manutenção; outra que inclui operação prolongada considera problemas adicionais. Comparar os dois trabalhos exige reconhecer essa diferença de unidade de análise. A leitura conjunta permite ampliar o conjunto de perguntas relevantes, mas não autoriza concluir que uma etapa seja universalmente a mais beneficiada pela IA.

4.3 CONTRIBUIÇÃO E LIMITES DA REVISÃO EM PORTUGUÊS

Silva, Mantovani e Porto (2026) aproximam a discussão do BIM, da IA e do aprendizado de máquina em uma síntese em português. O texto descreve aplicações em custos, cronogramas, manutenção e monitoramento e registra um levantamento na Scopus. A contribuição é útil para introduzir o tema no contexto da engenharia e explicitar que as tecnologias podem se relacionar ao longo do ciclo de vida. Seu formato curto, entretanto, não permite acompanhar com a mesma extensão os procedimentos e resultados de cada aplicação citada.

O documento declara um conjunto de 167 trabalhos, mas não apresenta a lista desse corpus nem os elementos necessários para reconstruir integralmente a seleção. Não se trata de exigir que um artigo curto reproduza todos os documentos consultados; trata-se de reconhecer o que o leitor consegue verificar. Sem a estratégia completa e a correspondência entre os trabalhos selecionados e as categorias de análise, a quantidade informada não pode ser usada nesta pesquisa para demonstrar cobertura exaustiva ou calcular crescimento do campo (Silva; Mantovani; Porto, 2026, p. 2-4).

A leitura comparativa recomenda utilizar essa revisão como uma síntese de aproximação, vinculada às suas fontes, e complementar as afirmações específicas com estudos que explicitem o fluxo técnico e a avaliação. O mesmo critério se aplica às revisões internacionais. O idioma, a extensão ou a circulação do documento não substituem a análise de como as conclusões foram construídas. Para preparar uma disciplina, essa distinção permite selecionar um texto introdutório sem atribuir a ele o papel de comprovação empírica de todas as aplicações mencionadas.

4.4 SÍNTESE DAS EVIDÊNCIAS E IMPLICAÇÕES PARA A PRÁTICA

O conjunto analisado sustenta a existência de diferentes aplicações possíveis e de barreiras recorrentes à implementação. A escassez ou inadequação dos dados, a dificuldade de transferir resultados entre contextos e a distância entre experimentação e utilização operacional aparecem como questões relevantes. Em Egwim *et al.* (2024, p. 12), essas dificuldades são organizadas a partir dos trabalhos selecionados. As frequências apresentadas caracterizam aquele corpus e não devem ser convertidas em probabilidades de fracasso de um projeto de IA.

O resultado principal da comparação é uma necessidade de qualificação da evidência. Para cada afirmação de benefício, devem ser identificados a tarefa, o contexto, os dados e a comparação realizada. Para cada proposta de integração com BIM, deve ser descrita a passagem entre a informação do empreendimento e o método de IA. Essa leitura preserva a utilidade das revisões para mapear o campo e permite identificar o que ainda precisa ser demonstrado antes de recomendar uma solução para uso continuado.

4.5 AMPLIAÇÃO PARA ESTUDOS DE MÉTODOS E DADOS

Os estudos primários acrescentam evidências sobre como a integração é construída e avaliada. Emunds *et al.* (2021) apresentam um conjunto de objetos IFC para classificação geométrica. Wang *et al.* (2021) investigam grafos de ambientes; Bloch, Borrmann e Pauwels (2023) examinam aprendizado baseado em grafos para revisão de projetos. De Geyter, Bassier e Vergauwen (2022) utilizam informação BIM para produzir rótulos de treinamento de nuvens de pontos. Banihashemi *et al.* (2022) articulam classificação de dados de custos e um protótipo BIM 5D. O Quadro 2 reúne seus recortes e limites, aprofundados na seção 5.

Quadro 2 – Exemplos de estudos técnicos e suas condições de avaliação

Estudo	**Tarefa e dados**	**Resultado ou contribuição**
Emunds *et al.* (2021)	7.930 objetos; 20 classes; teste de 2.379.	Classificação geométrica IFC; *dataset* público.
Wang *et al.* (2021)	224 plantas; sete classes de ambientes.	Classificação com relações em grafos.
Bloch, Borrmann e Pauwels (2023)	Mil grafos; dez topologias.	Verificação de acessibilidade como experimento de aprendizado.

Estudo	Tarefa e dados	Resultado ou contribuição
De Geyter, Bassier e Vergauwen (2022)	Nuvens de pontos e BIM para rótulos.	Treinamento e teste de segmentação.
Banihashemi *et al.* (2022)	756 itens; edifício de escritórios em Qom (quatro pavimentos e subsolo).	Protótipo Revit, classificação de custos e modelos de aprendizado.
Santos (2024)	Imagens de danos, LiDAR e IFC.	Detecção e representação de manifestações em concreto.
Borges, Granja e Monteiro (2024)	Um canteiro residencial reconstruído em BIM.	Otimização de distâncias ponderadas.

Fonte: elaboração do autor a partir dos estudos identificados no quadro.
Nota: as unidades de análise e os protocolos diferem; os resultados não foram agregados como um indicador único.

A comparação reforça que o benefício precisa ser descrito no nível em que foi demonstrado. Reconhecer uma classe geométrica não equivale a completar todas as propriedades de um objeto; classificar um ambiente não prova a atualização automática de um arquivo IFC; produzir rótulos não assegura transferência a qualquer canteiro. A revisão de Bloch (2022) sobre enriquecimento semântico ajuda a compreender essas tarefas como formas distintas de acrescentar significado e relações à informação BIM. A combinação entre elas depende de definições consistentes e de conferência das transformações realizadas.

5 APLICAÇÕES AO LONGO DO CICLO DE VIDA DO EMPREENDIMENTO

5.1 CONCEPÇÃO E COORDENAÇÃO DE PROJETOS

Na concepção, métodos generativos e de otimização podem explorar alternativas de configuração e comparar indicadores. O BIM pode participar desse processo ao representar os objetos e as propriedades relevantes, enquanto as avaliações verificam requisitos ou calculam medidas de desempenho. No estudo de Flores (2021), a integração entre geração, verificação e evolução de soluções é examinada em um experimento de projeto. O caso oferece uma demonstração de articulação entre procedimentos, mas suas conclusões permanecem condicionadas aos critérios e ao cenário investigado.

A principal implicação para o projeto está na formulação do problema. Um algoritmo só pode explorar os objetivos, as restrições e as representações que foram incorporados ao procedimento. Melhorar um indicador de compacidade, por exemplo, não resolve automaticamente questões de uso, construtibilidade ou qualidade arquitetônica que não

estejam representadas na avaliação. A seleção de alternativas continua a exigir interpretação profissional e análise dos conflitos entre critérios. A otimização deve ser examinada como apoio a essa decisão, sem pressupor que a solução produzida seja globalmente ótima ou adequada em todos os aspectos.

Na coordenação, o apoio de IA pode envolver classificação de elementos, organização de ocorrências e identificação de padrões em problemas recorrentes. A aplicação precisa distinguir propriedades efetivamente registradas no modelo de atributos inferidos. Se um sistema sugere uma classe ou prioridade, o registro dessa sugestão deve permitir conferir sua origem e confirmar sua pertinência antes de alterar entregas. A abordagem proposta neste artigo é preservar o vínculo entre a inferência e os elementos do modelo que justificaram sua emissão, para que a coordenação consiga verificar a recomendação.

Emunds *et al.* (2021) disponibilizam o IFCNet para investigar classificação de entidades a partir de geometria. No subconjunto IFCNetCore, o experimento utiliza 7.930 objetos de 20 classes e 2.379 exemplos de teste; a rede convolucional multivista (MVCNN) apresenta acurácia balanceada de 85,54% e F1 de 86,93%. São resultados de classificação naquele conjunto, sem demonstrar inferência de todas as propriedades ou de contexto do empreendimento. O estudo oferece um recurso para comparação e discussão de ambiguidade geométrica. Sua transferência exige observar classes, origem dos objetos e duplicatas, em vez de tomar o percentual como validade geral da classificação BIM.

Wang *et al.* (2021) avaliam classificação de tipos de ambientes por redes neurais em grafos (graph neural networks — GNNs), utilizando 224 plantas e sete classes. A representação utiliza as relações entre ambientes, sem incorporar a geometria nesse ensaio, e o estudo relata acurácia de 73%. Entretanto, as plantas foram convertidas manualmente em grafos: a leitura não demonstra uma rotina pronta de importação e atualização automática de IFC. O exemplo sustenta a relevância da representação relacional, com limites de desempenho por classe e de descrição da separação dos dados. A modelagem da informação que alimenta o algoritmo integra, portanto, o esforço da aplicação.

Bloch, Borrmann e Pauwels (2023) exploram GNNs em verificação de acessibilidade. O experimento sintético utiliza mil grafos derivados de dez topologias, com divisão declarada de 60/30/10, e relata acurácia de 86,8% e F1 de 0,86. Três plantas reais são convertidas manualmente em grafos, e uma divergência entre contagem tabular e percentual narrado recomenda cautela nessa parte da avaliação. O estudo demonstra a possibilidade de aprender relações para revisão, mas não substitui uma norma por uma classificação probabilística nem

comprova importação IFC automática. A diversidade topológica e a independência do teste precisam acompanhar a interpretação dos resultados.

5.2 PLANEJAMENTO E GESTÃO DOS CUSTOS

Planejamento e orçamento oferecem problemas em que a relação entre dados históricos e características do empreendimento pode ser investigada. Estimar duração, antecipar desvios ou avaliar risco exige definir com precisão a variável de interesse. Custo contratado, custo realizado, custo final estimado e custo para concluir possuem significados diferentes. A escolha do alvo influencia os dados necessários e a possibilidade de testar o método no momento em que a decisão precisa ser tomada.

Turkyilmaz e Polat (2025) apresentam uma aplicação de aprendizado de máquina que utiliza informações de riscos e custos, com 119 registros de 11 projetos. O caso demonstra uma investigação específica de previsão de custo de conclusão; não descreve, por esse motivo, uma integração BIM implementada. Para relacionar uma abordagem dessa natureza a um fluxo BIM, seria necessário definir quais informações seriam obtidas do modelo, como se relacionariam às séries históricas e como a previsão seria reconciliada com o orçamento e com o avanço efetivamente registrado.

Banihashemi *et al.* (2022) apresentam um protótipo BIM 5D que articula Revit, Excel, um padrão iraniano de custos e modelos em MATLAB. A investigação utiliza 756 itens de um edifício de escritórios em Qom, com quatro pavimentos e subsolo, e compara perceptron multicamadas (MLP), funções de base radial (RBF) e inferência neurodifusa adaptativa (ANFIS). O resultado permanece condicionado aos dados e à estrutura de classificação; as variações reportadas em outro imóvel não equivalem a erro frente ao custo real executado. Para aplicação brasileira, seria necessário verificar correspondência com a base orçamentária, unidades, descrições e revisões. A adaptação é trabalho técnico adicional, não uma consequência automática da integração entre softwares.

O cuidado com a avaliação é decisivo. Registros sucessivos de um mesmo empreendimento compartilham condições e podem ser muito semelhantes. Se dados relacionados forem distribuídos indiscriminadamente entre treinamento e teste, a avaliação pode refletir a proximidade entre observações, em vez da capacidade de generalizar para outra obra. Por isso, propõe-se examinar separações por empreendimento e por período, compatíveis com o uso pretendido. A comparação com uma estimativa convencional ou com

uma regra simples também ajuda a verificar se a complexidade acrescentada pelo método resulta em melhoria relevante.

O vínculo com BIM 4D ou 5D deve ser explicitado como relação entre informações do modelo, atividades, quantidades e estruturas de custo. Uma previsão isolada, apresentada em um painel, pode apoiar a gestão sem atualizar essas relações. Para que a integração tenha utilidade operacional, os responsáveis precisam saber de que versão dos dados partiu a estimativa e quais mudanças exigem nova análise. A integração é, assim, também uma rotina de atualização e reconciliação, e não apenas uma conexão técnica entre aplicações.

5.3 EXECUÇÃO E MONITORAMENTO DA OBRA

Durante a execução, imagens, registros de campo e sensores podem apoiar identificação de atividades, acompanhamento do avanço e inspeções. As revisões selecionadas apresentam essas possibilidades em diferentes configurações (Abioye *et al.*, 2021; Adebayo *et al.*, 2025; Ajayi, 2025). O desafio de integrar os resultados ao BIM é relacionar uma observação produzida em determinada data e local ao elemento ou à atividade correspondente. Uma detecção correta em uma imagem pode perder utilidade quando essa correspondência é ambígua ou quando o modelo consultado não representa a situação vigente.

O desempenho também precisa ser avaliado nas condições reais da obra. Oclusões, iluminação, mudanças de enquadramento e diferenças entre componentes interferem na interpretação das imagens. O erro deve ser descrito em relação à consequência de gestão: deixar de detectar uma condição relevante pode ter efeito distinto de emitir uma ocorrência que será descartada após inspeção. A recomendação deste artigo é avaliar a solução no processo de conferência, incluindo o tempo gasto para tratar ocorrências e a proporção de resultados que demandam revisão.

A captura mais frequente de dados não substitui a definição do que será registrado e de quem validará a informação. Uma equipe pode acumular imagens sem transformá-las em evidências de avanço utilizáveis. O planejamento da informação precisa anteceder a automatização: identificar as atividades observáveis, os critérios de conclusão e a frequência de registro reduz ambiguidades na interpretação. A IA participa desse fluxo quando melhora uma tarefa definida e quando suas saídas podem ser reconciliadas com os registros aceitos pela equipe de obra.

De Geyter, Bassier e Vergauwen (2022) investigam rótulos de treinamento de nuvens de pontos a partir de BIM. O ensaio com RandLA-Net, seis classes e treino em Area 1 obtém

mIoU de 90,79% em Area 4, do S3DIS, e 64,06% em Area 8, de um edifício real de três pavimentos e cerca de cem ambientes. As condições de teste são diferentes. Areas 7 e 8 representam os mesmos pontos organizados de formas distintas, não duas obras independentes. A contribuição é produzir rótulos e investigar transferência, sem demonstrar segmentação correta de qualquer edifício pelo simples aumento dos dados.

Santos (2024) desenvolve uma cadeia de inspeção que articula imagens de danos em concreto, visão computacional, escaneamento a laser (LiDAR) e representação IFC. A comparação de variantes YOLOv8 apresenta, para a configuração YOLOv8l, precisão de 0,946, revocação de 0,916 e mAP50 de 0,951 no experimento. A base envolve recortes e aumento de imagens, aspectos que precisam acompanhar a interpretação dos indicadores. O fluxo permite relacionar manifestações detectadas à representação digital, mas o próprio trabalho distingue detecção de diagnóstico estrutural. A classificação visual não determina, por si, a gravidade ou a conduta de engenharia; a decisão exige exame específico do ativo (Santos, 2024).

5.4 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DOS ATIVOS

Na operação, as aplicações podem envolver avaliação de condição, análise de consumo e apoio à manutenção. Rampini e Re Cecconi (2022) organizam a literatura de IA em gestão de ativos e evidenciam a diversidade de técnicas e problemas envolvidos. A relação com BIM depende da qualidade do cadastro, da identificação dos equipamentos e da ligação com os históricos operacionais. Um modelo entregue ao final da obra pode não conter os dados necessários ao uso pretendido ou deixar de refletir substituições e intervenções realizadas posteriormente.

Propõe-se, portanto, que o planejamento dessas aplicações considere os requisitos da operação desde as etapas anteriores do empreendimento. Identificadores persistentes, propriedades úteis à manutenção e registros de alteração permitem relacionar o ativo físico às informações utilizadas na análise. A permanência desses vínculos importa tanto quanto a sofisticação do algoritmo. Sem atualização, uma recomendação pode se referir a um componente que já foi substituído ou operar com condições que deixaram de existir.

Também é necessário distinguir previsão de falha e decisão de intervenção. A manutenção considera consequências, disponibilidade de equipe, acesso, recursos e continuidade de serviço. Um modelo preditivo pode fornecer informação relevante para essa decisão, mas não define sozinho a ação adequada. Seu desempenho precisa ser acompanhado

ao longo do tempo, com verificação das ocorrências e revisão das condições em que foi desenvolvido. O Quadro 3 sintetiza as relações entre usos, informações e verificações discutidas nesta seção.

Quadro 3 – Relações entre usos, dados e verificação dos resultados

Uso pretendido	**Informação necessária**	**Resultado a conferir**
Explorar alternativas de projeto	Parâmetros, objetivos, restrições e propriedades dos elementos.	Atendimento aos requisitos e conflitos entre indicadores.
Apoiar custos e planejamento	Quantidades, atividades, histórico, datas de referência e critérios de custo.	Erro de previsão e ganho frente ao procedimento existente.
Monitorar a execução	Registros de campo associados à localização, data e versão do modelo.	Correspondência entre observação, elemento e avanço aceito.
Apoiar a manutenção	Cadastro atualizado, identificação dos ativos e histórico operacional.	Relevância da ocorrência e consequência para a decisão de intervenção.
Consultar ou alterar modelos por linguagem natural	Pergunta, dados acessíveis, ferramentas permitidas e versão do modelo.	Seleção de objetos, sustentação da resposta e integridade das alterações.

Fonte: síntese do autor com base no corpus analisado e nos estudos específicos discutidos nas seções 5 e 6.
Nota: o quadro é uma proposição analítica; não representa resultados medidos em um empreendimento.

5.5 PESQUISAS BRASILEIRAS E CONDIÇÕES DE ADAPTAÇÃO

Borges, Granja e Monteiro (2024) integram Revit, Dynamo, Python e algoritmo genético à otimização de um canteiro residencial brasileiro. A comparação com o arranjo executado, reconstruído em BIM, reduz o somatório de distâncias ponderadas de 388,49 para 229,28, diferença de 40,98%. O indicador pertence ao modelo de movimentação e aos graus de proximidade considerados, não representa redução de 40,98% no custo ou prazo da obra. O caso demonstra como a escolha de instalações, restrições e função objetivo influencia a solução. Para outro empreendimento, esses componentes precisam ser reformulados e confrontados com as condições de execução.

Barbosa (2022) estuda classificação de espaços residenciais com aprendizado de máquina. A base inicial reúne 435 ambientes de 47 projetos; após excluir classes raras, o experimento utiliza 414 registros de oito classes. Apesar da vinculação do problema ao IFC, os atributos foram obtidos a partir de desenhos assistidos por computador (CAD) e inspeção manual, e não por extração IFC automática demonstrada. A replicação de registros e inconsistências pontuais de contagem recomendam cautela com a independência dos testes. O estudo contribui para formular atributos e classes do enriquecimento semântico, mas não

comprova uma integração automática completa de leitura, classificação e atualização de modelos.

Barcelos e Isatto (2025) investigam a conversão de um requisito de habitação em linguagem natural para lógica formal com três modelos de linguagem e duas rodadas. A reformulação melhora a explicitação, mas também acrescenta ou modifica condições do requisito, incluindo características dos sofás considerados. Esse aspecto impede confundir uma resposta mais estruturada com preservação automática do significado original. O caso evidencia a necessidade de conferir cada transformação entre texto técnico, interpretação e regra executável. Sua pequena escala não sustenta uma taxa geral de acerto para o processamento de regulamentos.

Dóring (2025) apresenta um fluxo de requisitos BIM com apoio de GPT-4, geração de especificações de entrega de informação (Information Delivery Specification — IDS) em XML (Extensible Markup Language) e verificação em Bonsai. A demonstração mostra que é possível produzir e executar verificações, mas o relatório ilustrado contém ocorrências FAIL e não prova aprovação integral do modelo. O texto também não apresenta uma base de projetos, comparação temporal ou medição de ganho econômico. O resultado deve ser interpretado como desenvolvimento de um procedimento e identificação de problemas de informação. A distinção entre executar uma regra, verificar sua correção e obter conformidade é essencial para avaliar esse tipo de integração.

Pasdiora e Scheer (2025) oferecem uma revisão específica da integração entre BIM, IA e aprendizado de máquina em edificações. Seu mapeamento de 107 estudos amplia a identificação de aplicações e lacunas, sem constituir 107 demonstrações independentes de eficácia. A leitura conjunta das pesquisas brasileiras mostra abordagens distintas e estágios diferentes de avaliação. A adaptação nacional envolve requisitos, práticas de modelagem e dados disponíveis, e deve ser demonstrada em casos delimitados. A origem brasileira de um estudo não elimina os limites de amostra ou de generalização.

6 MODELOS DE LINGUAGEM E INTERAÇÃO COM A INFORMAÇÃO BIM

Os grandes modelos de linguagem (large language models — LLMs) ampliam as possibilidades de formular perguntas e instruções em linguagem natural. A conveniência da interface precisa ser diferenciada da fidelidade da consulta, da correção da alteração e da adequação da decisão. As pesquisas recentes examinam tarefas distintas; reuni-las sob a expressão assistente BIM não torna seus resultados diretamente comparáveis.

6.1 RECUPERAÇÃO E CONSULTA A DADOS DO MODELO

Hellin, Nousias e Borrmann (2025) investigam consulta em linguagem natural a modelos BIM em um fluxo apoiado por agentes. O estudo avalia perguntas sobre modelos e permite observar a necessidade de conferir o resultado da consulta. Seu interesse está no encadeamento entre interpretação da pergunta, acesso aos dados e produção da resposta. O experimento não autoriza atribuir uma taxa de acerto única a qualquer assistente BIM, pois o desempenho depende das perguntas, dos modelos e da configuração avaliada.

Zheng e Fischer (2023) separam intenção, parâmetros, valores e resposta no BIM-GPT. Em 2.065 consultas, a classificação de rótulos chega a 99,5% com exemplos equivalentes a 2% do conjunto. Esse valor não mede o assistente inteiro: a predição de valores atinge 88,9% e etapas posteriores são avaliadas após acertos anteriores. Um protótipo adicional usa dados de um hospital, mas seus testes serviram ao refinamento dos *prompts* e não constituem avaliação independente de produtividade. O trabalho demonstra consulta a dados estruturados com preparação prévia, não confiabilidade geral de uma resposta sobre qualquer arquivo BIM.

A avaliação de consultas deve verificar a seleção de objetos, os filtros, os valores e a fonte utilizada para compor a resposta. Uma frase correta sobre um conceito construtivo pode não corresponder ao empreendimento consultado. Por isso, propõe-se conservar evidências da consulta e uma resposta de referência independente. Métricas de classificação de intenção e de recuperação de informação devem ser apresentadas separadamente do sucesso completo da pergunta.

6.2 AUTORIA, EDIÇÃO E COMANDOS POR LINGUAGEM NATURAL

Du *et al.* (2026) examinam geração de modelos a partir de instruções textuais por agentes que produzem código e utilizam interfaces de autoria. O fluxo incorpora verificação por regras e revisão iterativa. A versão de autor consultada, anterior à publicação no periódico, documenta um protótipo de pesquisa e mostra que criar objetos editáveis exige operações adicionais à geração de texto. Sua avaliação não demonstra disponibilidade ou desempenho de um serviço comercial em qualquer software.

Jang e Lee (2024) conectam exportação BIM2XML, interpretação GAIA e aplicação XML2BIM em uma demonstração com 48 paredes de um modelo da Villa Savoye. O melhor modelo avaliado apresenta acurácia de 0,83 e F1 de 0,62, em uma tarefa repetida cinco vezes.

O ciclo ainda depende de copiar e colar XML manualmente. Há relação efetiva com objetos editáveis, mas o recorte de um edifício e uma tarefa limita a generalização. A prova de conceito não demonstra ganho de tempo nem aceitação automática do detalhamento produzido.

Lee, Jang e Hyun (2024) acrescentam comandos de voz e verificações ao fluxo de autoria. O protótipo avalia oito pedidos, repetidos trinta vezes, e obtém atendimento integral a dois requisitos específicos após repetição e verificação: material estrutural e espessura mínima. O resultado se refere a essas verificações e a esse mecanismo de tentativas; não equivale a aprovação global do projeto. Tampouco mede reconhecimento de fala no canteiro ou desempenho com usuários. A separação entre interpretação probabilística, interface de programação de aplicações (API) e regra determinística é mais relevante à implementação do que tratar o percentual como confiabilidade universal.

Um copiloto precisa ser especificado segundo o efeito de suas ações. Consultar documentos, consultar propriedades e modificar um modelo exigem evidências diferentes. Na alteração, devem ser conferidos os objetos afetados, as relações preservadas e os requisitos atendidos. A recuperação da versão anterior e a atribuição de responsabilidade pelo aceite integram o processo. Um GPT personalizado com documentos de referência não possui, por essa configuração isolada, acesso atualizado ao modelo ou permissão para modificá-lo.

6.3 INTERPRETAÇÃO DE REQUISITOS E EXECUÇÃO DE VERIFICAÇÕES

Alnuzha e Bloch (2026) combinam LLM, grafo de conhecimento e execução C# em Revit. Seis regras existentes foram mapeadas corretamente em trinta pedidos; para quatro novas regras, houve catorze resultados corretos em vinte tentativas. O desempenho difere entre verificações paramétricas e espaciais, e a compilação do código não assegura correção geométrica. O procedimento prevê exame pelo usuário antes da reutilização de novas regras. A pequena base e a disponibilização de código e grafo mediante solicitação restringem a reprodução e a extrapolação para conjuntos extensos de requisitos.

Wan *et al.* (2025) demonstram uma arquitetura que combina geração aumentada por recuperação (RAG) de documentos e chamadas a um motor de cálculo para revisão de requisitos energéticos. O caso de potência de iluminação de um banco ilustra a utilidade de delegar operações a uma ferramenta verificável. É uma demonstração delimitada, em *preprint*, e não um *benchmark* representativo de toda a conformidade predial. Diferenças entre tabelas, unidades e versões de requisitos continuam relevantes. A disponibilidade de

uma ferramenta externa reduz certas tarefas do modelo de linguagem, mas exige conferir a seleção dos dados e a interpretação do resultado.

6.4 BENCHMARKS E LIMITES DA CONFIABILIDADE

Nithyanantham *et al.* (2026) avaliam edição IFC no BIM-Edit, com 324 tarefas, 47 modelos e sete LLMs. O maior escore médio de geometria, semântica e topologia é 49,48; esse número não é acurácia de conformidade. A maior taxa de resolução conjunta é 3,4%, exigindo pelo menos 98% em cada dimensão. O executor é deliberadamente mínimo, sem recuperação aumentada ou ferramentas especializadas, e o *benchmark* utiliza uma referência por tarefa. Seus resultados caracterizam esse baseline de pesquisa, não o limite superior de qualquer sistema BIM possível. O *preprint* destaca a necessidade de avaliar a transformação além da aparência da saída.

Kanazawa *et al.* (2026), na versão 3 do Ishigaki-IDS-Bench, avaliam geração de IDS em 166 exemplos de 83 cenários, com dez LLMs. O maior F1 de facetas é 65,6%, enquanto a maior taxa de aprovação Content é 33,1%, obtida por outro modelo. Essas medidas não são intercambiáveis. A avaliação não utiliza reparo nem regeneração e cobre entidade, atributo e propriedade, deixando outras facetas de fora. O *benchmark* é público, mas não mede todo o fluxo com documentação ruidosa e arquivos reais de clientes. A distinção entre saída formalmente processável e requisito corretamente representado é um resultado central para a análise.

O Quadro 4 compara unidades e critérios dessas avaliações. Seus valores não compõem um ranking geral. Há perguntas, tarefas, configurações e condições de teste diferentes; uma comparação válida requer manter essas condições ou declarar o que foi alterado. Para o uso profissional, o teste precisa ser repetido com a versão efetiva do sistema e com casos compatíveis com a decisão pretendida.

Quadro 4 – Unidades de avaliação em estudos de linguagem e BIM

Estudo	**Unidade e configuração**	**Resultado contextualizado**
BIM-GPT (Zheng; Fischer, 2023)	2.065 consultas; etapas encadeadas.	99,5% em classificação; 88,9% em valores.
GAIA (Jang; Lee, 2024)	48 paredes; um edifício.	Acurácia 0,83 e F1 0,62.
BIM-Edit (Nithyanantham *et al.*, 2026)	324 tarefas; sete modelos de linguagem.	Escore máximo 49,48; resolução estrita máxima 3,4%.

Estudo	Unidade e configuração	Resultado contextualizado
Grafo e LLM (Alnuzha; Bloch, 2026)	Regras conhecidas e novas.	30/30 mapeamentos; 14/20 gerações corretas.
Ishigaki-IDS-Bench (Kanazawa *et al.*, 2026)	166 exemplos; dez LLMs; v3.	F1 máximo 65,6%; Content máximo 33,1%.

Fonte: elaboração do autor a partir dos estudos identificados no quadro.
Nota: escores, taxas e critérios não são equivalentes. Os valores correspondem às versões e configurações descritas no texto, incluindo *preprints*.

Conteúdos recuperados de documentos não devem ser tratados automaticamente como comandos de execução. O controle de acesso, de ferramentas e de alterações precisa acompanhar o uso de agentes. A conveniência de formular uma instrução em linguagem natural não elimina a necessidade de rastreabilidade. Esse controle deve ser avaliado na aplicação e no processo de revisão, além da correção linguística das respostas.

7 QUALIDADE DOS DADOS E GOVERNANÇA DA INTEGRAÇÃO

A qualidade dos dados interfere em todas as aplicações discutidas. Propriedades ausentes, unidades inconsistentes, duplicidade de objetos e mudanças de classificação dificultam a utilização conjunta de informações. A organização do modelo precisa refletir o uso pretendido e permitir reconhecer a origem de cada dado. A proposta de integrar IA não elimina o trabalho de preparação e de conferência; em muitos casos, torna suas insuficiências mais visíveis porque o método depende de comparações que antes eram realizadas informalmente por profissionais experientes.

A interoperabilidade também exige observar o conteúdo que atravessa os sistemas. Conseguir abrir ou exportar um arquivo não demonstra que todas as relações relevantes tenham sido preservadas. O teste deve verificar os elementos, as propriedades e os identificadores necessários à tarefa. Para custos, pode ser crítica a correspondência com a estrutura orçamentária; para manutenção, a identificação do equipamento; para coordenação, a associação entre ocorrência e objeto. Esses requisitos antecedem a escolha do formato de intercâmbio.

7.1 REQUISITOS LEGÍVEIS POR MÁQUINA E VOCABULÁRIOS

A documentação IDS 1.0.0 da buildingSMART distingue aplicabilidade, que seleciona o conjunto de objetos, e requisitos, que especificam as informações a conferir. Essa estrutura

permite verificar condições de informação em IFC e explicitar propriedades, valores e restrições. Seu atendimento, contudo, não demonstra toda a conformidade de um projeto nem valida uma inferência de IA. No fluxo proposto, IDS pode integrar o conjunto de verificações quando o requisito é representável nesse padrão, mantendo a interpretação técnica fora do alcance de uma simples validação formal (buildingSMART International, 2024).

O buildingSMART Data Dictionary (bSDD) é um serviço de dicionários que reúne classificações, propriedades, valores permitidos, unidades e traduções, com acesso por API. Ele oferece uma referência para consistência semântica; não substitui uma norma de cálculo ou um método aprendido de classificação. Na integração, é necessário registrar o dicionário, a versão e os identificadores utilizados. Propriedades com nomes semelhantes podem representar conceitos diferentes. A documentação oficial, com versão de API identificada, permite conferir esses vínculos sem depender apenas de nomes sugeridos por um assistente (buildingSMART International, 2026).

7.2 GESTÃO DE RISCOS E ORIENTAÇÕES INSTITUCIONAIS

Como referência transversal, Tabassi (2023) organiza a gestão de riscos de IA nas funções governar, mapear, medir e gerenciar. O framework é voluntário e não específico de um setor. Sua contribuição para a presente análise é apoiar a atribuição de responsabilidades e o acompanhamento dos riscos ao longo do uso do sistema. A adaptação ao BIM exige identificar os envolvidos no fluxo, os efeitos dos erros e as situações em que a saída pode ser utilizada ou deve ser submetida a nova verificação.

Autio *et al.* (2024) aprofundam riscos relacionados à IA generativa, incluindo confabulação, privacidade e integridade da informação. Essas categorias ajudam a examinar respostas sem sustentação, exposição de conteúdo e uso de informação descontextualizada. A existência de revisão humana, por si, não demonstra controle suficiente: a equipe precisa ter acesso às evidências e condições para conferir o resultado. A intensidade da conferência deve acompanhar a consequência da decisão, sem atribuir o mesmo tratamento a uma sugestão de texto e a uma alteração de informação utilizada na execução da obra.

O Government and Industry Interoperability Group (GIIG, 2026), vinculado à nima, relaciona o uso de IA à decisão, à qualidade e à procedência dos dados e ao conhecimento especializado. Seu documento também trata da responsabilidade e da continuidade de ferramentas ao longo de ativos duradouros. É uma orientação de gestão da informação, não um teste de desempenho ou indicação de fornecedor. A contribuição à presente proposta é

exigir que finalidade, riscos e condições de manutenção sejam compreendidos antes de ampliar a automação.

O padrão profissional da Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS, 2025) contempla governança, aquisição e garantia das saídas, com documentação do julgamento sobre sua confiabilidade. Seu âmbito é o de membros e firmas reguladas pela instituição; não representa uma obrigação geral para qualquer organização brasileira. A referência ajuda a estruturar avaliação e supervisão proporcionais ao impacto do uso. A distinção entre seguir uma orientação profissional e demonstrar o desempenho de uma aplicação precisa ser preservada.

Booth *et al.* (2024), no perfil NIST SP 800-218A, tratam de práticas de desenvolvimento seguro para modelos e sistemas de IA, complementando o SSDF. O escopo é o desenvolvimento de modelos de IA (obtenção de dados, projeto, treinamento, ajuste fino e avaliação), incluindo sua integração em outros softwares; a implantação e a operação de sistemas de IA ficam fora do escopo. O documento se dirige a produtores de modelos, a produtores de sistemas e a adquirentes de sistemas de IA. Para equipes que constroem integrações próprias, o documento oferece uma referência de processo, mas não certifica a segurança de um conector ou assistente BIM. A aplicação depende de análise do sistema efetivamente desenvolvido e das suas dependências.

7.3 RASTREABILIDADE E ACOMPANHAMENTO OPERACIONAL

O registro da análise deve permitir reconstruir a relação entre a versão dos dados e a saída produzida. Para um modelo aprendido, isso inclui identificar a versão do sistema e as condições de aplicação. Para uma consulta em linguagem natural, inclui guardar a pergunta, a fonte acessada e a resposta utilizada. Para alterações em BIM, inclui reconhecer os objetos afetados e o responsável pelo aceite. Esses registros são proposições operacionais deste artigo e devem ser ajustados ao processo de gestão da informação de cada organização.

A governança compreende ainda a autorização de uso dos dados e a capacidade de acompanhar a solução. Projetos e documentos podem envolver direitos de uso e restrições de acesso que precisam ser observados no ambiente escolhido. A equipe também deve prever como identificar degradação de desempenho e suspender uma aplicação quando suas condições de validade deixarem de ser atendidas. A confiança se apoia, assim, em procedimentos verificáveis e em responsabilidades exercidas durante o uso, sem depender de uma declaração genérica de que o sistema é confiável.

8 ESTRUTURA PROPOSTA PARA IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO

A análise permite propor uma estrutura de implementação orientada pela decisão. A primeira definição é o problema que se pretende resolver e a mudança que justificaria utilizar IA. Reduzir o tempo de localizar propriedades, melhorar uma estimativa ou antecipar uma ocorrência são objetivos diferentes e exigem critérios distintos. Uma formulação ampla, como aumentar a produtividade, não é suficiente para organizar a avaliação. É necessário identificar a tarefa, os usuários e a condição atual com a qual o resultado será comparado.

Em seguida, os requisitos de informação devem ser relacionados ao objetivo. A equipe precisa determinar que conteúdo será utilizado, em que momento estará disponível e como será conferido. O levantamento inclui dados BIM e fontes externas quando necessários. Essa etapa permite reconhecer se existe uma base utilizável ou se a implantação depende de organizar registros que ainda não são produzidos. O custo e o tempo dessa preparação fazem parte da análise de viabilidade; não devem desaparecer da comparação com o processo atual.

A escolha do método vem depois da especificação do problema e dos dados. Uma rotina por regras pode atender uma verificação estável. Um modelo de aprendizado pode ser investigado para uma relação que depende de exemplos. Uma interface em linguagem natural pode reduzir a dificuldade de acesso a informações, desde que a consulta seja verificável. A seleção deve ser comparada a alternativas mais simples e considerar a capacidade da equipe de manter a solução. A complexidade técnica só se justifica quando melhora o desempenho ou amplia uma capacidade necessária ao processo.

A avaliação inicial deve utilizar casos com resposta ou resultado de referência conferido. Em classificações, a distribuição dos erros importa tanto quanto o total de acertos. Em previsões de custo ou prazo, convém examinar a magnitude do erro e sua variação entre empreendimentos e momentos. Em consultas, é necessário conferir se a resposta recupera os elementos corretos e se apresenta evidências suficientes. Em geração de modelos, a verificação deve abranger propriedades, geometria, relações e atendimento aos requisitos definidos. O Quadro 5 reúne critérios para organizar essa avaliação.

Quadro 5 – Critérios propostos para avaliar uma aplicação de IA integrada ao BIM

Dimensão	**Pergunta de verificação**	**Registro ou indicador sugerido**
Objetivo e comparação	A tarefa e a melhoria pretendida foram delimitadas?	Descrição da tarefa e desempenho do procedimento atual.

Dimensão	Pergunta de verificação	Registro ou indicador sugerido
Informação de entrada	Os dados estão completos e vinculados à versão correta?	Origem, unidades, identificadores e ocorrências de dados ausentes.
Validade técnica	A avaliação representa situações de uso ainda não vistas?	Erro por tipo de caso e teste em períodos ou empreendimentos distintos.
Utilidade operacional	O resultado melhora a decisão após a conferência?	Tempo total, retrabalho, esforço de revisão e tratamento de exceções.
Controle das alterações	É possível identificar e recuperar as mudanças?	Objetos afetados, versão anterior, responsável e aceite.
Continuidade do desempenho	Há condições definidas para manter ou suspender o uso?	Responsável pelo acompanhamento e critérios de revisão.

Fonte: elaboração do autor a partir da análise documental, com apoio das referências de gestão de riscos discutidas na seção 7.
Nota: os critérios devem ser adaptados ao uso e às consequências do erro; não constituem certificação ou teste já executado.

Depois dos testes iniciais, um piloto operacional permite observar aspectos que não aparecem integralmente em uma base de teste. A equipe precisa medir o esforço para preparar os dados, conferir saídas, resolver exceções e registrar decisões. Uma redução no tempo de processamento pode ser anulada pelo aumento do trabalho de revisão. Da mesma forma, uma solução tecnicamente correta pode ser pouco utilizada se sua saída não chegar ao responsável no momento em que a decisão é tomada. O desempenho deve ser avaliado no fluxo completo da tarefa.

Os critérios de continuidade precisam ser definidos antes da ampliação do uso. Isso inclui o patamar de desempenho considerado suficiente, as condições que exigem revisão e a responsabilidade pela manutenção dos dados e do sistema. A implantação pode ser gradual, com escopo limitado e registro das falhas. A expansão para outros empreendimentos exige novo exame de compatibilidade, especialmente quando mudam os registros, a tipologia construtiva ou as equipes. O aceite de uma solução para uma tarefa não deve ser interpretado como autorização genérica para outras aplicações.

Por fim, a implementação deve produzir aprendizado organizacional. As falhas identificadas podem indicar necessidade de treinamento, revisão de requisitos ou melhoria dos registros. A organização precisa conseguir distinguir problemas do algoritmo de problemas do processo de informação. Essa distinção permite decidir se é mais útil ajustar o método, mudar a integração ou melhorar a forma como os dados são produzidos. O resultado esperado é um procedimento que possa ser acompanhado e aperfeiçoado, com conhecimento das condições em que suas saídas são utilizáveis.

Uma avaliação informativa também compara alternativas de integração. Pode confrontar uma rotina por regras, o modelo de linguagem isolado e o modelo combinado a recuperação ou ferramentas, mantendo os mesmos casos de teste. Isso ajuda a reconhecer se o ganho depende do LLM, da preparação dos dados ou do verificador acrescentado. Quando há repetição até obter sucesso, devem ser registrados o número de tentativas, os recursos consumidos e as falhas, evitando apresentar apenas o melhor resultado.

Também convém separar a construção do conjunto de teste do ajuste da solução. Exemplos usados para refinar *prompts* não devem ser apresentados posteriormente como uma prova independente. O piloto precisa incluir exceções, dados incompletos e situações em que o comportamento correto é solicitar informação ou interromper uma operação. A possibilidade de reconhecer limites e devolver uma ocorrência verificável faz parte da utilidade do sistema. Esses procedimentos são recomendações deste artigo, a serem testadas no processo real.

9 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E LIMITES DA ANÁLISE

A ampliação da literatura mostra aplicações com graus distintos de integração. Há *datasets* de objetos IFC, modelos relacionais de ambientes, fluxos de geração de rótulos, protótipos de custos e inspeção, assistentes e *benchmarks* de edição e requisitos. Os resultados oferecem evidências delimitadas de viabilidade e desempenho, mas não uma medida geral do efeito da IA no BIM. A comparação é mais útil quando identifica a tarefa e a condição em que a informação é transformada, em vez de reunir percentuais heterogêneos numa promessa de produtividade.

A relação entre BIM e IA ganha precisão quando o fluxo de informação é descrito. A geração de alternativas estudada por Flores (2021), a consulta a modelos examinada por Hellin, Nousias e Borrmann (2025) e a geração apoiada por agentes investigada por Du *et al.* (2026) permitem observar procedimentos específicos. Ainda assim, cada trabalho responde a uma pergunta delimitada. A possibilidade de executar uma tarefa não demonstra automaticamente sua vantagem econômica, sua adequação a outra tipologia ou sua integração com as rotinas de uma organização.

O mesmo cuidado se aplica aos benefícios. A melhoria deve ser relacionada a uma condição de comparação e ao esforço total necessário para obtê-la. Uma tarefa mais rápida pode aumentar a capacidade de examinar alternativas, mas também pode produzir um volume de resultados que a equipe não consegue revisar. Um assistente pode facilitar o acesso a

informações, mas uma resposta incorreta e bem redigida pode exigir mais conferência. A avaliação precisa reconhecer esses efeitos para que a utilidade não seja medida exclusivamente pela velocidade da ferramenta.

9.1 PRODUÇÃO CIENTÍFICA E ADOÇÃO PROFISSIONAL

Sawhney e Pitman (2025), em levantamento da RICS, analisam mais de 2.200 respostas ao Global Construction Monitor do primeiro trimestre de 2025. Aproximadamente 45% dos respondentes relatam ausência de implementação de IA e 34% indicam pilotos iniciais. Esses dados descrevem autorrelatos de uma amostra cuja participação do Reino Unido chega a 48%; não constituem um retrato representativo das empresas brasileiras nem comprovam impacto econômico. Também não devem ser confundidos com a pesquisa de habilidades do trimestre seguinte, apresentada separadamente no relatório.

Esse tipo de evidência responde a uma pergunta diferente da dos *benchmarks*. Um teste mede uma tarefa sob condições definidas; o questionário investiga experiência e percepção dos participantes. A expansão de artigos não demonstra difusão industrial equivalente, e a expectativa de benefício não prova benefício observado. A adoção em uma organização precisa ser acompanhada por informação sobre uso efetivo, tarefas atendidas e resultados mantidos no tempo.

9.2 LIMITES E AGENDA DE INVESTIGAÇÃO

O artigo tem limites próprios. A seleção temática não representa toda a literatura e a disponibilidade do texto integral pode favorecer determinados veículos. Não houve protocolo de revisão sistemática executado com seleção independente. A análise de revisões depende das informações que seus autores apresentam; a leitura dos estudos primários não reproduz seus experimentos. Os resultados de *preprints* permanecem identificados como tais, e fontes consultadas apenas por metadados não sustentam conclusões técnicas. Não foram implementados algoritmos, realizados testes com usuários ou medidos resultados em obra pelo autor.

Também há um limite temporal. A evolução dos modelos de linguagem e dos ambientes de integração pode alterar recursos e desempenho. Por isso, as conclusões privilegiam condições de avaliação e de gestão da informação que podem ser reaplicadas, em vez de fixar um ranking de ferramentas. Pesquisas futuras podem testar a estrutura proposta

em casos de consulta, planejamento e manutenção, documentando a base utilizada, o processo de validação, os custos de conferência e os resultados mantidos ao longo do tempo.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A questão inicial pode ser respondida a partir de uma condição central: a integração entre BIM e inteligência artificial apoia decisões quando existe uma relação verificável entre os dados do empreendimento, o procedimento de análise e o uso do resultado. Essa relação exige identificar o problema, especificar a informação necessária e definir como a saída será conferida. A facilidade de interação ou a sofisticação de um algoritmo não substituem essas definições.

A revisão ampliada identifica aplicações em enriquecimento semântico, custos, inspeção, otimização, consulta e transformação de modelos e requisitos. Os resultados também mostram que acurácia de uma etapa, integridade da edição, validade de uma especificação e benefício operacional são dimensões diferentes. A comparação entre estudos depende de conhecer a amostra, o regime de teste, a versão do sistema e o esforço de preparação e conferência. Revisões sobrepostas, protótipos e levantamentos de percepção não podem ser reunidos como se fornecessem a mesma evidência.

Os casos brasileiros acrescentam contribuições de classificação, representação de danos, otimização de canteiro e formalização de requisitos. Eles também deixam visíveis limites de extração dos dados, pequenas amostras e diferenças entre produzir verificações e demonstrar conformidade. Os *benchmarks* recentes de linguagem e edição reforçam a necessidade de testar saídas por critérios independentes. Padrões abertos e orientações institucionais ajudam a organizar a informação e as responsabilidades, sem substituir a avaliação de cada aplicação.

Como contribuição, propõe-se implementar e avaliar as aplicações a partir da decisão pretendida, dos requisitos de informação, da comparação com o procedimento existente e do acompanhamento operacional. A estrutura oferece uma base para organizar pilotos e discutir responsabilidades, sem prometer um ganho universal de custo ou produtividade. Para o ensino e a prática profissional, o avanço mais consistente é formar a capacidade de selecionar problemas, examinar evidências e reconhecer as condições de validade das saídas. Essa capacidade permite incorporar IA ao BIM com objetivos definidos e resultados que possam ser efetivamente avaliados.

REFERÊNCIAS

ABIOYE, Sofiat O.; OYEDELE, Lukumon O.; AKANBI, Lukman; AJAYI, Anuoluwapo; DAVILA DELGADO, Juan Manuel; BILAL, Muhammad; AKINADE, Olugbenga O.; AHMED, Ashraf. Artificial intelligence in the construction industry: a review of present status, opportunities and future challenges. **Journal of Building Engineering**, [Amsterdam], v. 44, art. 103299, 2021. DOI: 10.1016/j.jobe.2021.103299. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103299. Acesso em: 4 nov. 2026.

ADEBAYO, Yetunde; UDOH, Paul; KAMUDYARIWA, Xebiso Blessing; OSOBAJO, Oluyomi Abayomi. Artificial intelligence in construction project management: a structured literature review of its evolution in application and future trends. **Digital**, Basel, v. 5, n. 3, art. 26, 2025. DOI: 10.3390/digital5030026. Disponível em: https://doi.org/10.3390/digital5030026. Acesso em: 4 nov. 2026.

AJAYI, Adeola Sarah. A Comprehensive Review of Artificial Intelligence Applications in the Construction Industry: Current Trends, Potential Impacts, and Future Directions. **International Journal of Architecture, Arts and Applications**, [New York], v. 11, n. 2, p. 48-57, 2025. DOI: 10.11648/j.ijaaa.20251102.11. Disponível em: https://doi.org/10.11648/j.ijaaa.20251102.11. Acesso em: 4 nov. 2026.

ALNUZHA, Maen; BLOCH, Tanya. Integrating large language models and knowledge graphs for adaptive design review. **Journal of Information Technology in Construction**, [S. l.], v. 31, p. 888–916, 2026. DOI: 10.36680/j.itcon.2026.038. Disponível em: https://itcon.org/paper/2026/38. Acesso em: 4 nov. 2026.

AUTIO, Chloe; SCHWARTZ, Reva; DUNIETZ, Jesse; JAIN, Shomik; STANLEY, Martin; TABASSI, Elham; HALL, Patrick; ROBERTS, Kamie. **Artificial intelligence risk management framework: generative artificial intelligence profile**. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2024. (NIST AI 600-1). DOI: 10.6028/NIST.AI.600-1. Disponível em: https://doi.org/10.6028/NIST.AI.600-1. Acesso em: 4 nov. 2026.

BANIHASHEMI, Saeed; KHALILI, Saeed; SHEIKHKHOSHKAR, Moslem; FAZELI, Abdulwahed. Machine learning-integrated 5D BIM informatics: building materials costs data classification and prototype development. **Innovative Infrastructure Solutions**, [Cham], v. 7, n. 3, artigo 215, jun. 2022. DOI: 10.1007/s41062-022-00822-y. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s41062-022-00822-y. Acesso em: 4 nov. 2026.

BARBOSA, Raí Luz. **Potencial do uso de técnicas de machine learning para o enriquecimento semântico de modelos BIM para a classificação de espaços residenciais**. 2022. ix, 89 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) — Universidade de Brasília, Brasília, 2022. Disponível em: https://www.repositorio.unb.br/handle/10482/45843. Acesso em: 4 nov. 2026.

BARCELOS, Kátia Alves; ISATTO, Eduardo Luís. Uso da Inteligência Artifical na elaboração e interpretação de requisitos em linguagem natural para lógica formal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 5., 2025, Florianópolis. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2025. 12 p. DOI: 10.46421/sbtic.v5i00.7494. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/7494. Acesso em: 4 nov. 2026.

BLOCH, Tanya. Connecting research on semantic enrichment of BIM - review of approaches, methods and possible applications. **Journal of Information Technology in Construction** (ITcon), [S. l.], v. 27, p. 416–440, 2022. DOI: 10.36680/j.itcon.2022.020. Disponível em: https://www.itcon.org/paper/2022/20. Acesso em: 4 nov. 2026.

BLOCH, Tanya; BORRMANN, André; PAUWELS, Pieter. Graph-based learning for automated code checking – Exploring the application of graph neural networks for design review. **Advanced Engineering Informatics**, [Amsterdam], v. 58, artigo 102137, 2023. DOI: 10.1016/j.aei.2023.102137. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.102137. Acesso em: 4 nov. 2026.

BOOTH, Harold; SOUPPAYA, Murugiah; VASSILEV, Apostol; OGATA, Michael; STANLEY, Martin; SCARFONE, Karen. **Secure software development practices for generative AI and dual-use foundation models: an SSDF community profile**. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2024. (NIST SP 800-218A). DOI: 10.6028/NIST.SP.800-218A. Disponível em: https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-218A. Acesso em: 4 nov. 2026.

BORGES, Maria Luiza Abath Escorel; GRANJA, Ariovaldo Denis; MONTEIRO, Ari. Otimização do canteiro de obras através de Planejamento Sistemático do Layout, algoritmo genético e BIM. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais [...]**. Maceió: ANTAC, 2024. 15 p. DOI: 10.46421/entac.v20i1.6248. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/6248. Acesso em: 4 nov. 2026.

BUILDINGSMART INTERNATIONAL. **Information delivery specification standard**. Version 1.0.0. [S. l.]: buildingSMART, 2024. Disponível em: https://github.com/buildingSMART/IDS/tree/v1.0.0. Acesso em: 4 nov. 2026.

BUILDINGSMART INTERNATIONAL. **buildingSMART Data Dictionary documentation**. [S. l.]: buildingSMART, 2026. Disponível em: https://github.com/buildingSMART/bSDD. Acesso em: 4 nov. 2026.

DE GEYTER, Sam; BASSIER, Maarten; VERGAUWEN, Maarten. Automated training data creation for semantic segmentation of 3D point clouds. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, [Göttingen], v. XLVI-5/W1-2022, p. 59–67, 2022. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLVI-5-W1-2022-59-2022. Disponível em: https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVI-5-W1-2022/59/2022/. Acesso em: 4 nov. 2026.

DÓRING, Márcia da Silva. Padronização e validação de requisitos BIM: do LOIN ao IDS com apoio de inteligência artificial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2025, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: FAUUSP, 2025. p. 1–8. DOI: 10.46421/sbqp.v9i.7880. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/sbqp/article/view/7880. Acesso em: 4 nov. 2026.

DU, Changyu; ESSER, Sebastian; NOUSIAS, Stavros; BORRMANN, André. Text2BIM: generating building models using a large language model-based multiagent framework. **Journal of Computing in Civil Engineering**, [Reston], v. 40, n. 2, art. 04025142, mar. 2026. Publicado online em 21 nov. 2025. DOI: 10.1061/JCCEE5.CPENG-6386. Versão de autor consultada: arXiv:2408.08054v2, 11 jul. 2025. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2408.08054v2. Acesso em: 4 nov. 2026.

EGWIM, Christian Nnaemeka; ALAKA, Hafiz; DEMIR, Eren; BALOGUN, Habeeb; OLU-AJAYI, Razak; SULAIMON, Ismail; WUSU, Godoyon; YUSUF, Wasiu; MUIDEEN, Adegoke A. Artificial intelligence in the construction industry: a systematic review of the entire construction value chain lifecycle. **Energies**, Basel, v. 17, n. 1, art. 182, 2024. Publicado online em 28 dez. 2023. DOI: 10.3390/en17010182. Disponível em: https://doi.org/10.3390/en17010182. Acesso em: 4 nov. 2026.

EMUNDS, Christoph; PAUEN, Nicolas; RICHTER, Veronika; FRISCH, Jérôme; VAN TREECK, Christoph. IFCNet: A Benchmark Dataset for IFC Entity Classification. In: EG-ICE 2021 WORKSHOP ON INTELLIGENT COMPUTING IN ENGINEERING, 2021, Berlin. **Proceedings [...]**. Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin, 2021. p. 166–175. Versão de autor: arXiv:2106.09712v1, 17 jun. 2021. DOI do registro institucional: 10.18154/RWTH-2021-09472. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2106.09712. Acesso em: 4 nov. 2026.

FLORES, Denise Aurora Neves. **BIM evolucionário: aplicabilidade de algoritmos de inteligência artificial no desenvolvimento de projetos de edificações**. 2021. xvi, 179 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) — Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/items/6ae66920-f37b-42f5-866d-0fd5234984fc. Acesso em: 4 nov. 2026.

GOODFELLOW, Ian; BENGIO, Yoshua; COURVILLE, Aaron. **Deep learning**. Cambridge, MA: MIT Press, 2016. Disponível em: https://www.deeplearningbook.org/. Acesso em: 4 nov. 2026.

GOVERNMENT AND INDUSTRY INTEROPERABILITY GROUP (GIIG). **Artificial intelligence (AI) considerations for information managers in the built environment**. [S. l.]: nima, 2026. Disponível em: https://wearenima.im/wp-content/uploads/2026/02/Nima-GIIG-AI-position-paper-final-260223.pdf. Acesso em: 4 nov. 2026.

HELLIN, Sylvain; NOUSIAS, Stavros; BORRMANN, André. Natural language information retrieval from BIM models: an LLM-based agentic workflow approach. In: EUROPEAN CONFERENCE ON COMPUTING IN CONSTRUCTION, 2025, Porto. **Proceedings [...]**. [S. l.]: European Council for Computing in Construction, 2025. 8 p. (Computing in Construction, v. 6). ISSN 2684-1150. Título no registro do DOI: Natural language information retrieval from BIM models: an LLM-based multi-agent system approach. DOI: 10.35490/EC3.2025.265. Disponível em: https://doi.org/10.35490/EC3.2025.265. Acesso em: 4 nov. 2026.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 19650-1:2018**: organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM): information management using building information modelling: part 1: concepts and principles. Geneva: ISO, 2018. Disponível em: https://www.iso.org/standard/68078.html. Acesso em: 4 nov. 2026.

JANG, Suhyung; LEE, Ghang. Interactive Design by Integrating a Large Pre-Trained Language Model and Building Information Modeling. In: ASCE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING, 2023, Corvallis. **Computing in Civil Engineering 2023**. [Reston]: American Society of Civil Engineers, 2024. p. 291-299. DOI: 10.1061/9780784485231.035. Versão de autor consultada: arXiv:2306.14165v1, 25 jun. 2023. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2306.14165v1. Acesso em: 4 nov. 2026.

KANAZAWA, Ryo; HIDAKA, Koyo; MIYAMOTO, Teppei; KATO, Takayuki; ANDO, Tomoki; WANG, Chenguang; JIANG, Dayuan; FUJITA, Naofumi; SAITOH, Shuhei; KONDO, Atomu; ARAKAWA, Koki; NISHIOKA, Daiho. **Ishigaki-IDS-Bench: A Benchmark for Generating Information Delivery Specification from BIM Information Requirements**. arXiv, 2026. Versão de autor v3, 25 ago. 2026. DOI: 10.48550/arXiv.2605.22079. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2605.22079v3. Acesso em: 4 nov. 2026.

LEE, Ghang; JANG, Suhyung; HYUN, Seokho. A Generalized LLM-Augmented BIM Framework: Application to a Speech-to-BIM system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF CIB W78, 41., 2024, Marrakech. **Proceedings [...]**. [S. l.: s. n.], 2024. 9 p. ISSN 2706-6568. Disponível em: https://itc.scix.net/paper/w78-2024-155. Acesso em: 4 nov. 2026.

NITHYANANTHAM, Bharathi Kannan; KUJAT, Clemens; SESTERHENN, Tobias; TELGMANN, Stefan; NEDUNGADI, Ashwin; PLÖNNIGS, Jörn; BARTELT, Christian; LÜDTKE, Stefan. **BIM-Edit: Benchmarking Large Language Models for IFC-Based Building Information Modeling**. arXiv, 2026. Versão de autor v3, 23 jun. 2026. DOI: 10.48550/arXiv.2606.20146. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2606.20146v3. Acesso em: 4 nov. 2026.

PASDIORA, Lívia; SCHEER, Sergio. Inteligência Artificial e Machine Learning em edificações: mapeamento das lacunas de conhecimento na integração com BIM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 5., 2025, Florianópolis. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2025. 9 p. DOI: 10.46421/sbtic.v5i00.7552. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/7552. Acesso em: 4 nov. 2026.

RAMPINI, Luca; RE CECCONI, Fulvio. Artificial intelligence in construction asset management: a review of present status, challenges and future opportunities. **Journal of Information Technology in Construction**, [S. l.], v. 27, p. 884-913, 2022. DOI: 10.36680/j.itcon.2022.043. Disponível em: https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.043. Acesso em: 4 nov. 2026.

ROYAL INSTITUTION OF CHARTERED SURVEYORS (RICS). **Responsible use of artificial intelligence in surveying practice**. 1. ed. London: RICS, 2025. Disponível em: https://www.rics.org/content/dam/ricsglobal/documents/standards/Responsible-use-of-artificial-intelligence-in-surveying-practice_September-2025.pdf. Acesso em: 4 nov. 2026.

SANTOS, Paulo Alberto Sampaio. **Detecção e representação multiclasse de danos e manifestações patológicas em concreto com inteligência artificial e escaneamento para modelagem BIM**. 2024. xxii, 137 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) — Universidade de Brasília, Brasília, 2024. Disponível em: https://www.repositorio.unb.br/handle/10482/52272. Acesso em: 4 nov. 2026.

SAWHNEY, Anil; PITMAN, Katherine. **Artificial intelligence in construction report 2025**. [London]: RICS, 2025. Disponível em: https://www.rics.org/news-insights/artificial-intelligence-in-construction-report. Acesso em: 4 nov. 2026.

SILVA, Gustavo Antonio da; MANTOVANI, Gabriel Eduardo Magalhães; PORTO, Marcelo Franco. Integração entre BIM, inteligência artificial e machine learning na construção civil: uma revisão da literatura. In: CONGRESSO TÉCNICO-CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 12., 2026, Aracaju. **Anais [...]**. [Brasília, DF]: Confea, 2026. v. 1, trabalho CIV-77. 5 p. Disponível em: https://apresentacao.confea.org.br/Mostra/media/d3ee5204-5155-4986-9cbb-831191b22a30/a58b00560469/trabalho.pdf. Acesso em: 4 nov. 2026.

TABASSI, Elham. **Artificial intelligence risk management framework (AI RMF 1.0)**. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2023. (NIST AI 100-1). DOI: 10.6028/NIST.AI.100-1. Disponível em: https://doi.org/10.6028/NIST.AI.100-1. Acesso em: 4 nov. 2026.

TURKYILMAZ, Aynur Hurriyet; POLAT, Gul. Risk-based completion cost prediction approach in construction projects utilizing machine learning. **Journal of Information Technology in Construction**, [S. l.], v. 30, p. 375-396, 2025. DOI: 10.36680/j.itcon.2025.016. Disponível em: https://doi.org/10.36680/j.itcon.2025.016. Acesso em: 4 nov. 2026.

WAN, Hanlong; XU, Weili; ROSENBERG, Michael; ZHANG, Jian; SIDDIKA, Aysha. **Automatic Building Code Review: A Case Study**. arXiv, 2025. Versão de autor v1, 3 out. 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2510.02634. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2510.02634. Acesso em: 4 nov. 2026.

WANG, Zijian; YEUNG, Timson; SACKS, Rafael; SU, Zhiya. Room Type Classification for Semantic Enrichment of Building Information Modeling Using Graph Neural Networks. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF CIB W78, 38., 2021, Luxembourg. **Proceedings [...]**. [S. l.: s. n.], 2021. p. 773–781. ISSN 2706-6568. Disponível em: https://itc.scix.net/paper/w78-2021-paper-077. Acesso em: 4 nov. 2026.

ZHENG, Junwen; FISCHER, Martin. Dynamic prompt-based virtual assistant framework for BIM information search. **Automation in Construction**, [Amsterdam], v. 155, art. 105067, nov. 2023. DOI: 10.1016/j.autcon.2023.105067. Versão preliminar consultada: BIM-GPT: a Prompt-Based Virtual Assistant Framework for BIM Information Retrieval, arXiv:2304.09333v1, 18 abr. 2023; os dados citados no texto provêm dessa versão. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2304.09333v1. Acesso em: 4 nov. 2026.

DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Durante a elaboração deste artigo, foram utilizadas as ferramentas de Inteligência Artificial Generativa Codex, desenvolvida pela OpenAI e Claude, desenvolvida pela Anthropic, como recurso de apoio ao processo de elaboração do trabalho, especialmente para a localização e a organização de fontes, a extração preliminar de informações, a estruturação e a redação preliminar de conteúdo, a revisão linguística e a adequação da redação acadêmica.

As ferramentas foram utilizadas de maneira complementar e supervisionada, não substituindo a análise crítica, as decisões metodológicas, a interpretação dos resultados nem a autoria do pesquisador. Todo conteúdo sugerido ou produzido com o auxílio das ferramentas foi analisado, revisado, adaptado e validado pelo autor antes de sua incorporação ao trabalho.

As referências bibliográficas, os dados, as análises, as interpretações, as decisões metodológicas e as conclusões apresentadas neste artigo são de responsabilidade integral do autor. As ferramentas de Inteligência Artificial não foram utilizadas para fabricar dados, resultados, citações ou referências bibliográficas.

O uso das ferramentas ocorreu de forma transparente e responsável, em conformidade com os princípios de integridade científica, responsabilidade autoral e transparência previstos na Portaria CNPq nº 2.664, de 6 de março de 2026.