

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

TARINI BORSOIS CESAR

**A Revolução do BIM: a formação de banco de dados e a transformação digital
na construção civil**

São Paulo

2025

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

TARINI BORSOIS CESAR

**A Revolução do BIM: a formação de banco de dados e a transformação digital
na construção civil**

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Especialista em
Gestão de Projetos na Construção

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Manzione

São Paulo

2025

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada.

Cesar, Tarini

“A Revolução do BIM: a formação de banco de dados e a transformação digital na construção civil”/ Tarini Borsois Cesar; orientador, Leonardo Manzione - São Paulo, 2025. 87 p.

Monografia (Especialização em Gestão de Projetos na Construção) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Poli-Integra.

1.Construção Civil 2.BIM 3.Inteligência Artificial 4.Gestão de Projetos 5.transformação digital
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Poli Integra II.t.

a Deus, que inspira os meus sonhos e me
impulsiona a persegui-los, e a todas as
pessoas que, de alguma forma, possam
se beneficiar desta pesquisa,

AGRADECIMENTOS

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, na pessoa do Prof. Dr. Silvio Melhado representando todo o corpo docente do curso de MBA em Gestão de Projetos na Construção Civil, pelos valiosos ensinamentos e ricas trocas de conhecimento ao longo desses três anos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Leonardo Manzione, referência no assunto e incentivador do meu progresso profissional e acadêmico, cuja orientação e apoio foram essenciais na conclusão deste trabalho.

À minha família - meus pais, Doraci e Adriana, e meu irmão, Matheus - que, mesmo à distância, sempre me incentivaram e apoiaram em todas as minhas decisões e empreitadas, tanto profissionais como acadêmicas. Vocês são minha base e fonte de maior inspiração e força.

Ao meu futuro marido Rodolfo, que entrou em minha vida no início dessa jornada acadêmica e não saiu do meu lado desde então. Sua paciência, compreensão e apoio incondicional, sobretudo nos dias mais difíceis, foram fundamentais para que eu continuasse e não desistisse do meu sonho.

RESUMO

CESAR, Tarini Borsois. **A Revolução do BIM: a formação de banco de dados e a transformação digital na construção civil**, 2025. 87 p. Monografia (Especialidade em Gestão de Projetos na Construção) – Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2025.

A presente pesquisa tem como objetivo estabelecer um paralelo entre a aplicação do Building Information Model (BIM) na gestão de projetos e a utilização da Inteligência Artificial (IA) como recurso para suprir lacunas nos processos decisórios e operacionais da construção civil, com ênfase na promoção de uma cultura organizacional orientada por dados (data driven). Considerando os avanços tecnológicos recentes e o crescente volume de informações geradas ao longo do ciclo de vida dos projetos, busca-se analisar de que forma a integração dessas tecnologias pode ampliar a eficiência, a precisão e a sustentabilidade no setor. Para tanto, adota-se uma abordagem qualitativa de caráter exploratório, fundamentada em revisão bibliográfica. Os resultados indicam que a convergência entre BIM e IA contribui significativamente para a melhoria da tomada de decisões estratégicas, otimizando processos e reduzindo incertezas em diferentes fases dos empreendimentos. A incorporação da inteligência artificial na cadeia produtiva do setor revela-se útil não apenas para a previsão de riscos futuros, mas também para possibilitar um planejamento mais assertivo e fundamentado em dados, entre outras aplicações.

Palavras-chave: BIM. Inteligência artificial. Gestão de projetos. Construção civil. Data driven. Transformação digital.

ABSTRACT

CESAR, Tarini Borsois. **The BIM Revolution: database formation and digital transformation in civil construction**, 2025. 87 p. Monograph (Project Management in Civil Construction) – Department of Civil Engineering, Polytechnic School, University of São Paulo, São Paulo, 2025.

This research aims to establish a connection between the use of Building Information Modeling (BIM) in project management and the application of Artificial Intelligence (AI) as a tool to address gaps in decision-making and operational processes in civil construction. The study emphasizes the promotion of a data-driven organizational culture. Given recent technological advances and the increasing volume of information generated throughout a project's life cycle, this work analyzes how integrating these technologies can enhance efficiency, accuracy, and sustainability in the sector. A qualitative and exploratory approach was adopted, based on a comprehensive bibliographic review. The findings indicate that the convergence of BIM and AI significantly contributes to improved strategic decision-making, optimizing processes and reducing uncertainties across various project phases. The incorporation of Artificial Intelligence into the sector's production chain proves valuable not only for predicting future risks but also for enabling more assertive, data-based planning, among other applications.

Keywords: BIM. Artificial Intelligence. Project Management. Civil Construction. Data-Driven. Digital Transformation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – The Dartmouth College Artificial Intelligence Conference:

The Next Fifty Years	29
Figura 2 – Cronograma do desenvolvimento da Inteligência Artificial	32
Figura 3 – Interação do setor da construção civil com o BIM	62
Figura 4 – Melhoria de resultados do projeto usando BIM	63
Figura 5 – Fluxo de informações humano x máquina.....	66
Figura 6 – Informação processada pela IA para a conclusão do BIM.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Níveis de maturidade BIM e suas características segundo diferentes autores.....	68
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
BDS	Building Description System
BIM	Building Information Model
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
ENAP	Escola Nacional de Administração Pública
EPI	Equipamento de Proteção Individual
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IA	Inteligência Artificial
IoT	Internet das Coisas
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
PIB	Produto Interno Bruto

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. JUSTIFICATIVA	15
1.2. OBJETIVOS	19
1.2.1. OBJETIVO GERAL	19
1.2.2. OBJETIVOS SECUNDÁRIOS	19
1.3. MÉTODO DE PESQUISA	19
1.4. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	21
2. O QUE É INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	22
2.1. O AJUDANTE ARTIFICIAL	22
2.2. O EMBRIÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	24
2.3. “MÁQUINAS PODEM PENSAR?”	26
2.4. O NASCIMENTO DO TERMO “INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL”	28
2.5. A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NOS DIAS ATUAIS	33
2.6. O IMPACTO ECONÔMICO DA IA (Inteligência Artificial)	35
3. IA (Inteligência Artificial) NA CONSTRUÇÃO CIVIL	37
3.1. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E O IMPACTO CRIATIVO	37
3.2. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E A GESTÃO DE PROJETOS	42
3.2.1. GESTÃO DE PROJETOS ENQUANTO FERRAMENTA	42

3.2.2. IMPACTOS DA APLICAÇÃO DA IA E DO BIM NA GESTÃO DE PROJETOS	47
3.2.3. APLICAÇÕES DA IA E DO BIM NA GESTÃO DE PROJETOS.....	48
3.3. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E O “CANTEIRO DE OBRAS”	52
3.4. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E O PÓS OBRA	55
4. BIM: UMA BREVE INTRODUÇÃO.....	57
4.1. BIM : ORIGEM	57
4.2.PRIMEIROS CONCEITOS.....	58
4.3.CONCEITUAÇÃO	59
5. O IMPACTO DO USO DO BIM PELO SETOR	61
5.1. O “JOGO DA IMITAÇÃO ” x “MACHINE LEARNING”	65
5.2. VISÃO GERAL DA IA (INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL) E SEUS SUB-CAMPOS	66
5.3. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA AO BIM	67
5.4. INTEROPERABILIDADE E PARAMETRIZAÇÃO	71
5.5. TENDÊNCIAS NA APLICAÇÃO DA IA NO BIM	73
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O USO DO BIM E A APLICAÇÃO DA IA.....	76
6.1. CONCLUSÃO.....	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

1. INTRODUÇÃO

A construção civil e a sociedade encontram-se historicamente interligadas, de modo que o desenvolvimento de uma influencia, de forma direta, o progresso da outra. Trata-se de uma relação recíproca consolidada ao longo dos séculos, em que o crescimento urbano, tecnológico e econômico está fortemente associado ao desempenho do setor. Nesse sentido, a construção civil, enquanto atividade econômica, representa uma parcela significativa do Produto Interno Bruto (PIB) em diversos países, estando estreitamente vinculada aos processos de desenvolvimento e aos ciclos econômicos dessas nações. No contexto brasileiro, um relatório da Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC (2016), baseado em dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), evidencia que, desde 2010, o crescimento do setor tem superado o desempenho do PIB nacional no mesmo período, alcançando, por exemplo, 4,5 % em 2013, enquanto o PIB do país registrou 3,2 % naquele ano. Destaca-se que, apesar da desaceleração econômica acentuada entre 2013 e 2014, motivada pela crise que precedeu os eventos esportivos da Copa do Mundo de 2014 e dos Jogos Olímpicos de 2016, ambos sediados pelo Brasil, o setor da construção civil continuou a exercer papel de grande relevância para a economia nacional, funcionando como um indicador sensível para a estabilização econômica. Em 2021, o segmento atingiu uma participação de 7,6 % no PIB, o maior índice registrado nos últimos anos, refletindo um cenário de recuperação econômica e dinamização da cadeia produtiva como um todo (CBIC, 2021). Para Breitbach (2009), a relevância da construção civil decorre de seu elevado potencial gerador de empregos, mobilizando parcela significativa de recursos financeiros e insumos, além de exercer influência direta no dinamismo de outros setores, como o industrial e o de serviços. Por essa razão, o setor configura-se como estratégico e fundamental para as economias, demandando atenção especial ao seu desenvolvimento e planejamento em horizonte de longo prazo.

No entanto, especificamente no contexto brasileiro, observa-se que a construção civil ainda se caracteriza por elevada fragmentação, apresentando uma cadeia produtiva complexa, composta majoritariamente por empresas de médio e pequeno porte, frequentemente pressionadas pelas grandes corporações. Soma-se a isso a predominância de mão de obra informal e com baixo nível de qualificação técnica, aspectos que constituem desafios significativos para o setor. Apesar de extensa e complexa, a cadeia produtiva da construção civil tem passado por um processo contínuo de renovação, motivado pela necessidade de manter a competitividade e de se adaptar às novas exigências do mercado. Gonçalves (2023, p. 45) destaca que “com o objetivo de aumentar a competitividade por meio de sua orientação para o mercado, as empresas do setor de construção de edificações se veem forçadas a estabelecer prioridades competitivas em termos de custo, qualidade, confiabilidade, velocidade e flexibilidade”, o que, em linhas gerais, tem se traduzido em mudanças estratégicas no posicionamento organizacional. Essas mudanças ampliam o foco tradicional na busca por eficiência, incorporando também a flexibilidade e a capacidade de projeção de cenários, especialmente diante de um mercado cada vez mais complexo e com áreas interligadas de forma quase simbiótica. Nesse sentido, Barros Neto, Fensterseifer e Formoso (2003) afirmam que a flexibilidade, enquanto critério de desempenho, pode ser ainda mais importante do que a redução de custos, pois contribui para um ciclo produtivo saudável e agrega maior valor à organização. No entanto, especificamente no contexto brasileiro, observa-se que a construção civil ainda se caracteriza por elevada fragmentação, apresentando uma cadeia produtiva complexa, composta majoritariamente por empresas de médio e pequeno porte, frequentemente pressionadas pelas grandes corporações. Soma-se a isso a predominância de mão de obra informal e com baixo nível de qualificação técnica, aspectos que constituem desafios significativos para o setor.

Apesar de extensa e complexa, a cadeia produtiva da construção civil tem passado por um processo contínuo de renovação, motivado pela necessidade de manter a

competitividade e de se adaptar às novas exigências do mercado. Gonçalves (2023, p. 45) destaca que “com o objetivo de aumentar a competitividade por meio de sua orientação para o mercado, as empresas do setor de construção de edificações se veem forçadas a estabelecer prioridades competitivas em termos de custo, qualidade, confiabilidade, velocidade e flexibilidade”, o que, em linhas gerais, tem se traduzido em mudanças estratégicas no posicionamento organizacional. Essas mudanças ampliam o foco tradicional na busca por eficiência, incorporando também a flexibilidade e a capacidade de projeção de cenários, especialmente diante de um mercado cada vez mais complexo e com áreas interligadas de forma quase simbiótica. Nesse sentido, Barros Neto, Fensterseifer e Formoso (2003) afirmam que a flexibilidade, enquanto critério de desempenho, pode ser ainda mais importante do que a redução de custos, pois contribui para um ciclo produtivo saudável e agrega maior valor à organização.

1.1. JUSTIFICATIVA

Embora, no contexto brasileiro atual, a utilização do *Building Information Model* (BIM) ainda esteja relativamente limitada à elaboração de representações bidimensionais e tridimensionais dos projetos, o potencial dessa ferramenta ultrapassa significativamente essa aplicação restrita. O BIM configura-se como uma metodologia abrangente, capaz de integrar dados e processos ao longo de todo o ciclo de vida de um empreendimento, desde a concepção até a operação e manutenção.

Nesse sentido, Eastman (1974), um dos precursores do desenvolvimento dessa abordagem, destaca que o sistema BDS (*Building Description System*) foi concebido com o objetivo de demonstrar que uma descrição baseada em dados de um edifício poderia não apenas replicar, mas também aprimorar os pontos fortes dos desenhos tradicionais como instrumento para o desenvolvimento de projetos, construção e operação, além de mitigar significativamente suas principais limitações. Campestrini (2015, p. 118) reforça essa perspectiva ao afirmar que “mesmo sendo comum na

prática um padrão sem o exato controle do projeto, grande parte do fluxo dessas informações pode fornecer dados precisos, assim como aumentar a quantidade das mesmas tanto quanto necessário”, tendo no BIM sua principal fonte estruturante. Essa ferramenta contribui desde a formação e coleta de dados até a promoção de um ambiente de trabalho colaborativo e integrado entre as equipes, ao longo de todo o desenvolvimento do projeto.

Na última década, grandes construtoras e incorporadoras brasileiras iniciaram a implantação do BIM em seus processos de gestão e produção, por meio de projetos-piloto que visavam testar sua viabilidade prática e estratégica. Segundo Nakamura (2013, p. 6), esses projetos tinham como propósito “avaliar a pertinência da utilização da plataforma BIM, aventando, desde então, a possibilidade do salto competitivo na implantação da inovação”. Tal movimento evidencia uma tendência de transformação do setor, cada vez mais orientado à adoção de tecnologias digitais capazes de gerar valor agregado e vantagem competitiva. Paralelamente, observa-se o avanço significativo da IA e dos estudos relacionados à programação para coleta, análise e interpretação de grandes volumes de dados. A chamada “mineração de dados” — processo que envolve prospectar, interpretar e influenciar com base em informações estratégicas — vêm sendo amplamente aplicada em diversos setores, como os segmentos financeiro, tecnológico e cultural, onde tem se consolidado como ferramenta essencial para embasar decisões complexas e redefinir modelos de negócios. Pesquisa publicada pela *Harvard Business Review* (2023) revela que empresas internacionais, como American Express, Disney e Ford Motors, que investem na formação de bases de dados desde 2012, reportaram que 80,7 % de seus executivos consideram tais iniciativas um “investimento de sucesso”, dada sua contribuição decisiva para a readequação organizacional e fortalecimento competitivo de suas operações.

Esse panorama adquire ainda maior relevância à luz dos desdobramentos da crise financeira internacional de 2008, originada nos Estados Unidos e com repercussões

globais expressivas. O impacto da crise revelou a fragilidade de modelos baseados em estruturas decisórias pouco fundamentadas, impulsionando, desde então, a busca por soluções mais robustas e orientadas por dados. Em consonância com essa demanda, a consultoria Gartner (2024), referência mundial em pesquisa e análise estratégica em tecnologia da informação, projeta que, até 2027, “50 % das organizações de grande porte usarão a arquitetura de negócios para avançar no planejamento estratégico diante da volatilidade, incerteza, complexidade e ambiguidade do mercado atual” (GARTNER, 2024, p. 4). Essa projeção ressalta a urgência da transformação digital no setor da construção civil, evidenciando que a integração entre o BIM e a IA configura uma solução contemporânea e estratégica, com potencial de promover a adaptação necessária às demandas de um ambiente econômico e tecnológico em rápida e constante evolução. Essa convergência tecnológica configura uma oportunidade essencial para que o setor da construção civil alinhe seus processos, otimize seus recursos e responda de forma mais eficiente aos desafios contemporâneos. A integração do BIM, cuja adoção ocorre de maneira gradual, com a IA, aplicada estrategicamente aos diferentes estágios do processo construtivo, constitui um importante vetor para o avanço da inovação competitiva. Tal associação exerce impacto direto na sustentabilidade organizacional e na longevidade das instituições no mercado, contribuindo para a consolidação de vantagens competitivas sustentáveis a longo prazo.

Nesse contexto, revela-se imprescindível ampliar a concepção de inovação no setor da construção civil, compreendendo-a não apenas como o desenvolvimento de novas tipologias, tecnologias e sistemas construtivos, mas também como o aprimoramento contínuo de processos e metodologias que permeiam todo o ciclo imobiliário, incluindo as dimensões relativas ao atendimento e ao relacionamento com o cliente (GONÇALVES, 2023). Essa perspectiva concilia com a compreensão contemporânea do BIM, o qual transcende sua função convencional enquanto ferramenta de modelagem tridimensional, configurando-se como um conjunto

integrado de ferramentas, processos e tecnologias direcionadas ao desempenho, planejamento, execução e operação das edificações (SACKS et al., 2018).

Nesse sentido, evidencia-se a necessidade de uma transformação paradigmática na engenharia da construção, que ultrapasse o modelo sequencial hegemônico — caracterizado por fases e etapas rígidas e previamente definidas —, em prol da adoção de uma abordagem simultânea e colaborativa. Essa nova configuração incorpora conceitos consolidados na indústria, viabilizando a otimização dos procedimentos, bem como a antecipação e mitigação de riscos por meio da retroalimentação contínua e da projeção dinâmica de cenários. Como aponta Koutamanis (2019, p. 89), “a prática tradicional de projeto e construção, baseada em sequências lineares e compartimentalização de responsabilidades, é inadequada frente às demandas contemporâneas por integração, eficiência e resposta rápida a variabilidades”. Tal reflexão reforça a necessidade de reorganização dos processos construtivos a partir de um enfoque sistêmico e orientado por dados, no qual a colaboração e a adaptabilidade ocupam papel central. A relevância do presente estudo fundamenta-se no fato de que, para além de uma mera tendência, a IA configura-se como uma ferramenta estratégica essencial que promove a transformação organizacional em diversos setores, incluindo a construção civil. Quando integrada ao BIM, a IA potencializa a superação dos principais entraves à aplicabilidade plena desta metodologia, ampliando as capacidades analíticas, preditivas e de automação. Tal convergência tecnológica inaugura um campo inovador e promissor, dotado de amplas possibilidades para o incremento da produtividade, eficiência e excelência no setor. Deste modo, a exploração das potencialidades da gestão, atrelada ao BIM e à IA, emerge como uma agenda prioritária para organizações que almejam posicionar-se na vanguarda da inovação e da competitividade no cenário contemporâneo.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo realizar uma pesquisa qualitativa, de caráter bibliográfico, com o propósito de compreender de que maneira as inter-relações entre a Gestão de Projetos, a IA e o BIM podem contribuir para a modernização dos processos no setor da construção civil, promovendo maior eficiência, controle e inovação ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos.

1.2.2. OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

Os objetivos específicos deste trabalho consistem em: (i) compreender, em termos teóricos, os conceitos fundamentais relacionados à Gestão de Projetos, à IA e ao BIM; (ii) investigar as inter-relações e aplicações dessas áreas no contexto da construção civil; e (iii) realizar uma análise crítica das ferramentas e de suas aplicações práticas, com o intuito de identificar potencialidades e limitações no ambiente construtivo. Busca-se, ainda, fomentar pesquisas futuras que, orientadas por uma cultura *Data Driven*¹, explorem cenários e estratégias de aprimoramento para o setor. Ademais, pretende-se discutir como a convergência entre essas tecnologias pode contribuir para o avanço sustentável e competitivo da construção civil, considerando a crescente relevância da IA como ferramenta estratégica para a inovação, produtividade e excelência organizacional — um campo promissor, em plena expansão e repleto de possibilidades a serem exploradas.

1.3. MÉTODO DE PESQUISA

Considerando que os temas abordados — BIM e IA — ainda são relativamente recentes para grande parte do público e encontram-se em fase inicial de aplicação no setor da construção civil nacional, propõe-se a realização de um panorama geral

¹ Data Driven: conceito da programação de computadores para gestão com base no uso intensivo de dados para embasar decisões

sobre seu desenvolvimento. Para tanto, adotou-se uma análise documental e bibliográfica, fundamentada em uma abordagem histórica e qualitativa. Com base nos pressupostos da pesquisa bibliográfica, optou-se pela observação qualitativa como critério metodológico, aliada a um viés histórico e reflexivo. A estruturação do projeto de pesquisa seguiu uma sequência lógica, com base temporal e espacial, que possibilita uma compreensão abrangente das inter-relações e dos impactos dessas tecnologias no setor da construção civil. As fontes utilizadas foram selecionadas não apenas para embasar teoricamente o desenvolvimento do raciocínio, mas também para permitir uma análise crítica e contextualizada do tema. Desse modo, a pesquisa transcende a mera revisão de literatura, incorporando a interpretação teórica e a reflexão crítica da autora sobre os dados analisados. Como destacam Mioto e Lima (2007, p. 39), “ao tratar da pesquisa bibliográfica, é importante destacar que ela é sempre realizada para fundamentar teoricamente o objeto de estudo, contribuindo com elementos que subsidiam a análise futura dos dados obtidos. Portanto, difere da revisão bibliográfica, uma vez que vai além da simples observação de dados contidos nas fontes pesquisadas, pois imprime sobre eles a teoria, a compreensão crítica do significado neles existente”. Dada a atualidade dos temas investigados, a pesquisa não se restringiu exclusivamente a fontes acadêmicas, incorporando também periódicos especializados e documentos públicos provenientes de diferentes esferas organizacionais, assegurando, contudo, a relevância e a credibilidade das informações selecionadas. A avaliação desses aspectos no contexto da sociedade e da cadeia produtiva da construção civil brasileira revela-se fundamental para o alcance dos objetivos propostos. Assim, busca-se oferecer uma discussão acessível a todos os agentes envolvidos ou interessados no setor, amparada por referencial teórico consolidado e pela experiência profissional da autora.

1.4. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

A presente pesquisa, de natureza bibliográfica, está estruturada em cinco capítulos, com o propósito de introduzir o leitor aos conceitos fundamentais relacionados ao BIM, à IA e à Gestão de Projetos no contexto contemporâneo. O primeiro capítulo aborda o conceito e a origem da IA, traçando sua trajetória histórica desde a busca empírica da humanidade por um assistente ideal, até a concretização dos primeiros protótipos aplicados de IA, bem como as perspectivas projetadas para o futuro próximo.

No segundo capítulo, desenvolve-se uma reflexão sobre a interface entre a construção civil e a aplicação de ferramentas de IA já implementadas nas atividades cotidianas do setor, além da análise de possíveis aplicações futuras que demandam investigação aprofundada.

O terceiro capítulo dedica-se à caracterização do sistema BIM, ainda subutilizado em sua plenitude no setor da construção civil. São apresentados seus fundamentos, o processo de consolidação ao longo dos anos, os avanços obtidos e seu potencial como base estruturante de dados para aplicação da IA, além dos desdobramentos advindos dessa integração.

O quarto capítulo tem como foco a análise dos entraves que limitam a plena adoção dessas tecnologias no contexto brasileiro, buscando contribuir para a identificação de obstáculos recorrentes, bem como propor questionamentos e caminhos para investigações futuras que visem ao aprimoramento dos processos no setor. Por fim, o quinto capítulo apresenta as considerações finais da pesquisa, sintetizando os principais achados, discutindo as contribuições teóricas do estudo e sugerindo direções para futuras investigações no campo da construção civil, do BIM e da IA.

2. O QUE É INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

2.1. O AJUDANTE ARTIFICIAL

Não é de hoje que a imagem de um ser artificial como ajudante permeia o imaginário da humanidade. O discurso mais antigo de que se tem notícia nessa narrativa remonta ao período pré-helenístico grego, com a história do deus Hefesto, antigo deus do fogo e pai da metalurgia e do artesanato, que criou ajudantes inteligentes de metal para realizar as mais diversas atividades, desde o meio doméstico até a produção de sua forja: os chamados autômatos. Sua divindade foi cultuada em boa parte do mar Egeu, tendo seu ápice na cidade de Lemnos, e estendendo-se a Atenas e mesmo à Roma Antiga, sob o nome de Vulcano. Nessas festividades, concentravam-se ferreiros e artesãos em busca do aprimoramento técnico de suas habilidades, além das súplicas para "acalmar" os vulcões — como o Monte Etna —, locais onde se acreditava que Hefesto mantinha suas oficinas. Há registros, ao longo dos séculos entre o século III a.C. e o século XVIII, de tentativas de construção de mecanismos autômatos na Grécia Antiga, no Egito (Alexandria), no mundo árabe, na Europa e na Ásia, aproximando-se aos poucos da lógica da mecânica dos relógios modernos. Esses mecanismos foram sendo aprimorados e aplicados a outros sistemas, como os hídricos e pneumáticos. Segundo Losano (1992, p. 37), “a construção de autômatos esteve sempre relacionada à construção de relógios”, e aprimorar o mecanismo de contagem do tempo permitiu ao homem aplicar os autômatos a instrumentos úteis, como relógios d’água e máquinas de guerra.

Durante o Renascimento, pequenos autômatos voltados ao entretenimento das cortes assumiram caráter cênico em representações cotidianas, como marionetes automatizadas em presépios e encenações. A Alemanha foi seu maior centro de produção, criando verdadeiros objetos de arte movidos por mecânica, com fins puramente recreativos.

Com o advento do Iluminismo e a racionalização da sociedade no século XVII — que antecedeu a industrialização —, a união entre ciência e técnica gerou a tecnologia: a ciência a serviço do fazer eficiente. Esse processo influenciou o desenvolvimento de máquinas e valorizou novas possibilidades e procedimentos aplicados às questões da vida cotidiana. Pela capacidade de imitação do vivo e pelos potenciais que poderiam desenvolver, os autômatos foram admirados como grandes feitos da engenharia e influenciaram o imaginário — tanto científico quanto popular — sobre o que seria possível realizar por meio da sistematização dos conhecimentos. Eram chamados, à época, de “brinquedos filosóficos” (WOOD, 2002). Vários filósofos dedicaram-se à discussão sobre a capacidade de pensar e executar. Descartes, em seu *Discurso do Método*, de 1637, defende a ideia da racionalização de todos os domínios da vida humana, tendo a razão como parâmetro para fragmentar o raciocínio e permitir uma análise minuciosa. Embora não tenha afirmado explicitamente a correspondência entre o humano e o mecanismo, semeou a ideia para que outros pudessem aprofundá-la.

A procura inquieta por mecanismos que reproduzem o comportamento de seres vivos, movida, em parte, mais pela curiosidade do que propriamente pelo domínio da natureza e da ciência, provocou também, no senso coletivo, certo temor quanto à dominação que tais descobertas poderiam exercer. Personagens como *Frankenstein*, de Mary Shelley, publicado em 1831, que retrata a formação de uma criatura a partir de partes humanas — sua revolta e espírito de vingança contra o criador —, passaram a figurar, desde então, na cultura comum como representações recorrentes dessa temática, que persiste até os dias atuais. Implícita em cada descoberta, a técnica passa a colocar a mecânica na função de extrair o melhor de suas potencialidades, e essa funcionalidade, mais do que utilitária, passa a adotar a eficiência como premissa fundamental. A busca por um ser que imitasse o humano em seus detalhes migra do caráter cênico do Renascimento para a função de força de trabalho a partir da Revolução Industrial. Os autômatos, ainda que fossem apenas ingênuos recortes mecânicos da vida,

contribuíram diretamente para a criação dos primeiros teares mecânicos, por meio do aprimoramento da contagem de padrões.

Embora metafóricas e não correspondentes à IA como a conhecemos atualmente, essas representações revelam uma ideia ancestral: o desejo humano de criar seres semelhantes a si — em forma e habilidades — que o imitem com o objetivo de auxiliá-lo em suas funções.

2.2. O EMBRIÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Em 1943, o neurofisiologista Warren McCulloch e o matemático Walter Pitts publicaram o artigo *A Logical Calculus of the Ideas Immanent in a Nervous System*, no conceituado boletim da *Society for Mathematical Biology*, revolucionando a ciência ao propor uma aplicação realista para uma ideia que, até então, remetia ao mito de Hefesto. Juntos, criaram o primeiro modelo computacional de rede neural artificial baseado em algoritmos matemáticos, abrindo caminho para os futuros avanços da IA. A partir desse marco, as pesquisas sobre redes neurais passaram a se dividir em dois eixos: um voltado aos processos biológicos do cérebro humano — suas estruturas complexas de organização e geração de conhecimento — e outro direcionado às aplicações computacionais de redes neurais, tendo no neurônio artificial um sistema binário de comparação. Segundo McCulloch e Pitts (1943), “uma combinação desses neurônios pode emular as portas lógicas” — que são: OU, E, e NÃO —, possibilitando realizar os mesmos cálculos de um computador digital” O sistema binário desenvolvido com base no princípio do “tudo ou nada” da atividade nervosa permitiu, pela primeira vez, que padrões fossem representados logicamente, por meio de expressões matemáticas. Isso evidenciou o comportamento das redes neurais e revelou que diferentes combinações poderiam produzir resultados equivalentes, mesmo sem ocorrerem simultaneamente.

Por se tratar de uma abordagem vanguardista e diante das limitações tecnológicas da época, McCulloch e Pitts assumiram conscientemente os limites de aplicabilidade

dos seus cálculos, argumentando que “uma vez que estamos preocupados com propriedades de redes (...) podemos fazer as suposições físicas que são mais convenientes para o cálculo” (McCulloch; Pitts, 1943, p. 116, tradução livre). O neurônio artificial que desenvolveram recebe sinais de entrada — semelhantes, em teoria, aos impulsos nervosos do sistema neural humano —, multiplica-os por um peso previamente determinado e os compara com um limiar (ou discriminante). Se o resultado for positivo, a saída é “1”; caso contrário, é “0”. Esse processo segue a lógica binária fundamentada no cálculo infinitesimal do matemático alemão Leibniz, no século XVIII. Essa mesma lógica de base binária foi essencial para o desenvolvimento dos programas computacionais que utilizamos até os dias atuais. Por fim, a análise de dados em uma rede neural artificial realizada por McCulloch e Pitts, em 1943, mostrou-se profundamente alinhada às teorias predominantes da neurofisiologia de sua época. Seu trabalho contribuiu de forma significativa para as pesquisas do setor, ao propor um método lógico e racional que validava o direcionamento que vinha sendo adotado pelos estudiosos da mente e do sistema nervoso.

Segundo McCulloch e Pitts (1943, p. 132, tradução livre), “(...) tanto os aspectos formais quanto os finais dessa atividade que costumamos chamar de mental são rigorosamente deduzidos da neurofisiologia atual (...) podendo tirar um pouco da conclusão igualmente válida de que seus observáveis são explicáveis apenas em termos de atividades nervosas que, até recentemente, estavam além de seu conhecimento”. O estudo revolucionário, além de permitir uma representação simplificada do funcionamento neurológico, possibilitou avanços no próprio método científico experimental, ao contribuir com uma metodologia hipotética mais acessível e verificável, apoiada em fundamentos matemáticos e lógicos.

2.3. MÁQUINAS PODEM PENSAR?

Em 1950, Alan Turing publicou o artigo *Computing Machinery and Intelligence* (“Máquinas Computacionais e Inteligência”) na *Mind* — jornal acadêmico trimestral da Universidade de Oxford, em Londres —, sendo considerado um dos ensaios mais icônicos da história da revista. Sua contribuição figura ao lado de nomes notáveis, como Charles Darwin, com *A Biographical Sketch of an Infant* (1877), Lewis Carroll, em *What the Tortoise Said to Achilles* (1895), e Bertrand Russell, em *On Denoting* (1905).

Turing foi pioneiro ao introduzir o tema da inteligência das máquinas no meio científico, fundamentando seu estudo na pergunta: “máquinas podem pensar?” (TURING, 1950, p. 433, tradução livre). No entanto, como o próprio autor ressalta no início do trabalho, os termos “máquina” e “pensar” eram ambíguos naquela época, o que impedia uma discussão clara e unânime sobre o assunto.

Diante dessa dificuldade, Turing propôs encontrar uma palavra alternativa, simples e desprovida de ambiguidades, para substituir “pensar”. A solução apresentada foi o “Jogo da Imitação”, que envolve três participantes: um homem (elemento A), uma mulher (elemento B) e um interrogador (elemento C), que pode ser de qualquer gênero. Cada um fica em salas separadas e comunica-se apenas por escrito, por meio de uma máquina datilográfica, sem qualquer indicação sobre seu gênero. O objetivo é que o interrogador faça perguntas para tentar identificar quem é quem, mesmo que um dos participantes possa mentir. Para abordar a questão original — “máquinas podem pensar?” —, Turing propôs uma variação do jogo, perguntando: “O que acontecerá quando uma máquina assumir o papel de A neste jogo?” Nesse contexto, o elemento A é substituído por uma máquina, entendida, na época, como as “máquinas pensantes”, ou seja, os computadores digitais eletrônicos mais avançados existentes.

Segundo Turing (1950, p. 437, tradução livre), “o leitor deve aceitá-lo como um fato de que os computadores digitais (...) de fato foram construídos de acordo com os princípios que descrevemos, e que eles podem de fato imitar as ações de um computador humano muito de perto”. Por essa lógica, a questão deixa de ser se a máquina pode “pensar” para passar a ser se ela pode agir de maneira indistinta de um ser pensante na condução do raciocínio. A mudança do foco na palavra “pensar”, embora suscite provocações filosóficas relativas à possível consciência artificial das máquinas e à própria natureza da mente humana, permite concentrar a análise na capacidade da máquina em desempenhar o raciocínio e em como sistemas causais a influenciam.

Como o tema era apresentado pela primeira vez à comunidade científica, e a experimentação de Turing era, de certo modo, bastante prematura, ele defende sua tese refutando, um a um, os argumentos contrários à capacidade da máquina de gerar raciocínio. Turing aborda esses argumentos com sua opinião pessoal e embasamento científico, discutindo temas como teologia, filosofia, costumes da época e limitações do conhecimento científico vigente. Embora seus resultados fossem ainda conjecturais, ressaltava a importância de suas proposições por sugerirem linhas de pesquisa que dariam continuidade à descoberta. Como conclusão central de sua tese, Turing defende que a máquina pode aprender a partir de dados, aprimorando seu desempenho ao longo do tempo, e afirma que “ao observar os resultados de seu próprio comportamento (a máquina) pode modificar seus próprios programas para alcançar algum propósito de forma mais eficaz” (TURING, 1950, p. 457, tradução livre), o que equivale a um exercício de sobrevivência em que o experimentador, por meio da inteligência, pode acelerá-lo e até imaginar mutações que possam aprimorá-lo. A grande limitação tecnológica da época, especialmente no que se referia à capacidade das máquinas para calcular e programar-se para “jogar o jogo”, levou Turing a conceber essas máquinas como “crianças capazes de aprender”, fragmentando as bases de conhecimento para que os cálculos evoluíssem com o

avanço tecnológico até o final do século XX. Seu objetivo final era que a máquina pudesse responder e interagir satisfatoriamente com o entrevistador no jogo da imitação, atingindo um nível equivalente ao de um ser humano. Como o próprio Turing previu, “essas são possibilidades do futuro próximo, em vez de sonhos utópicos” (TURING, 1950, p. 460, tradução livre). Esse feito foi alcançado recentemente, em 2014, quando um sistema de IA conseguiu pela primeira vez passar no teste de Turing perante uma banca na Universidade de Reading, em Londres.

2.4. O NASCIMENTO DO TERMO “INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL”

O ano de 1956 foi emblemático para os estudos na área de IA. O termo “Inteligência Artificial” foi citado pela primeira vez em uma conferência realizada na Universidade de Dartmouth, nos Estados Unidos, por John McCarthy — um dos organizadores do evento e professor da Universidade de Stanford — para descrever o objetivo de criar máquinas capazes de reproduzir níveis de inteligência semelhantes aos humanos. O encontro, denominado “Os Próximos Cinquenta Anos”, promoveu a discussão entre um pequeno grupo de cientistas e pesquisadores, influenciando positivamente o reconhecimento do termo como um ramo de pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos.

Segundo o convite oficial para a conferência de Dartmouth (1956, tradução livre), o propósito do encontro era que “cada aspecto da aprendizagem ou qualquer outra característica da inteligência pode, em princípio, ser tão precisamente descrita que uma máquina pode ser feita para simular”.

Figura 1: The Dartmouth College Artificial Intelligence Conference: The Next Fifty Years



Fonte: Moor, James. (2006)

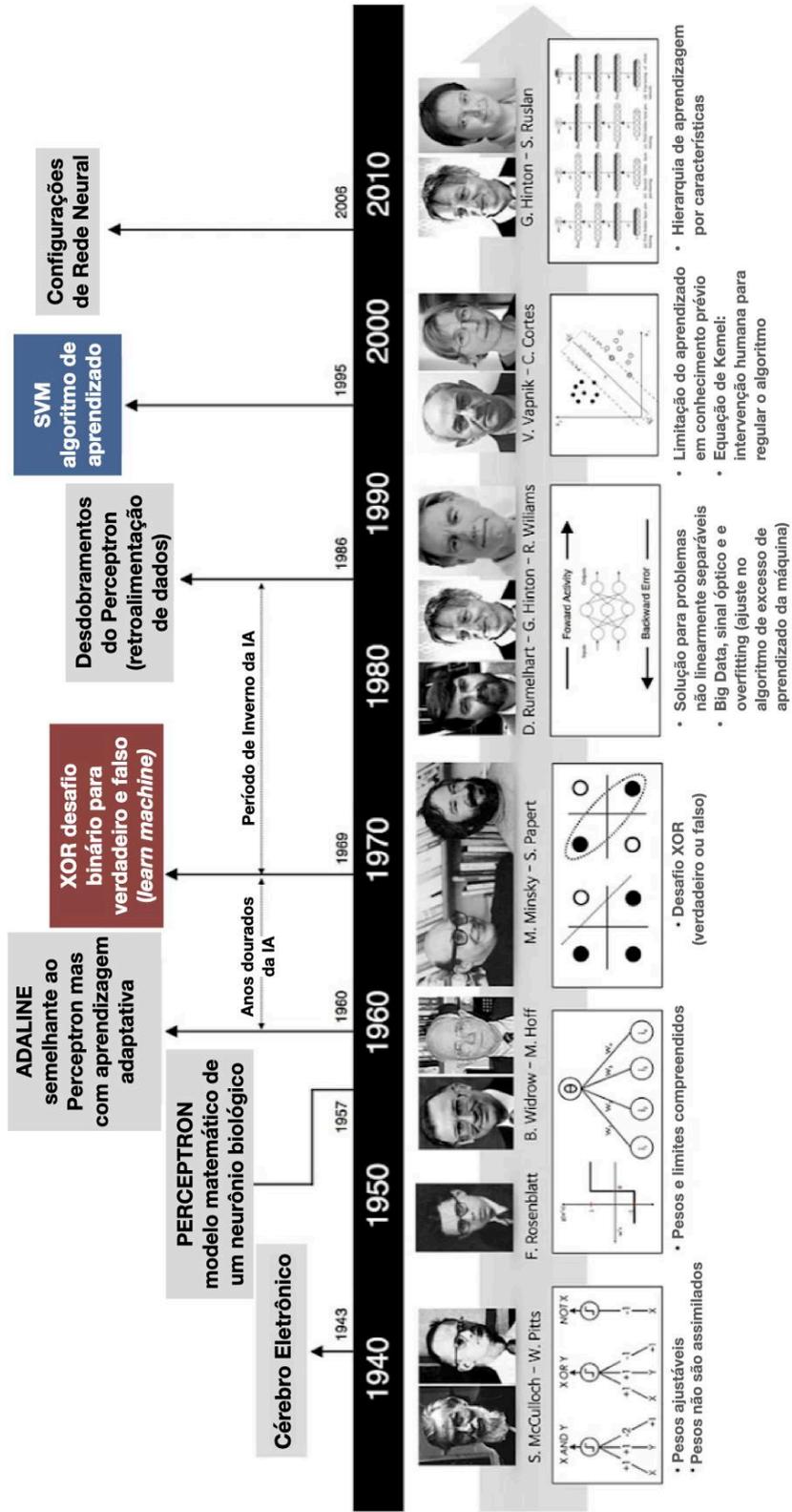
Reunindo nomes de destaque da época, como Nathaniel Rochester, um dos principais desenvolvedores da IBM; Claude Shannon, criador da Teoria da Informação (1949); e Marvin Minsky, inventor do primeiro neurocomputador (SNARC, 1951), a conferência de Dartmouth acirrou os ânimos dos entusiastas da área. As possibilidades discutidas eram tão animadoras que órgãos privados e governamentais passaram a investir no setor, como a ARPA (Advanced Research Projects Agency Network) — agência integrante do Departamento de Defesa dos Estados Unidos, que, impulsionada pela Guerra Fria, tinha como finalidade implementar e dirigir projetos avançados de pesquisa e desenvolvimento para fins militares, sendo responsável futuramente pela criação da Internet em 1969. Embora as aplicações da IA fossem limitadas pelo conhecimento tecnológico e

científico basal da época, o congresso de Dartmouth impulsionou importantes avanços na área nos anos seguintes. Como desdobramentos históricos do segmento, destacam-se a criação do Perceptron por Frank Rosenblatt em 1957 — um modelo de redes neurais capaz de classificar resultados —; o desenvolvimento da linguagem LISP por John McCarthy (o mesmo professor organizador da conferência de Dartmouth) em 1958 — uma família de linguagens simplificada que permitiu o processamento de dados de maneira mais eficiente —; e a primeira personificação concreta de chatbot no mundo, em 1964, por meio do robô ELIZA, que conversava de forma automática imitando uma psicanalista, utilizando respostas baseadas em palavras-chave e estrutura sintática. Entre as décadas de 1970 e 1980, houve um período de baixa nos avanços das pesquisas, com cortes nos investimentos e menor atenção ao setor, em decorrência de mudanças geopolíticas e governamentais. Submetidas a orçamentos mais enxutos, as pesquisas passaram a intensificar a busca por sistemas descomplicados, propondo o uso da fragmentação dos elementos racionais em partes simples para compor sistemas complexos — abordagem conhecida como “métodos fracos” ou “IA fraca”. Contudo, apesar de gerais, esses métodos não permitiam o escalonamento dos resultados nem suportavam grande complexidade. No início da década de 1980, as pesquisas e tentativas de reinvenção revolucionaram-se com a metodologia dos “Sistemas Especialistas”, desenvolvida pelo cientista multidisciplinar Edward Feigenbaum. Esses sistemas consistiam em softwares avançados capazes de desempenhar atividades específicas e complexas de maneira satisfatória, com o acréscimo de um raciocínio mais rápido e uma vasta base de conhecimentos. Esse tipo de sistema aproximou a IA de setores além do corporativo, que passaram a reconhecer a utilidade de programas de computador mais eficientes e focados.

À medida que os sistemas especialistas foram aplicados em áreas como economia e medicina, tornou-se necessária a reflexão sobre a incerteza dos modelos, o que

levou ao desenvolvimento de métodos para mapear os fatores de imprecisão nas tomadas de decisão realizadas pela metodologia da IA.

Figura 2: Cronograma do desenvolvimento da Inteligência Artificial ao longo dos anos



Fonte: Kuipers, Martijn & Prasad, Ramjee. (2022). Journey of Artificial Intelligence.

Wireless Personal Communications. 123. 10.1007/s11277-021-09288-0.

2.5. A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NOS DIAS ATUAIS

Apesar da pequena desaceleração nas pesquisas ocorrida na transição das décadas de 1980 e 1990, período conhecido como “Inverno da IA”, o advento da internet para uso comercial doméstico, na virada do século, impulsionou uma nova fase da IA, consolidando-a como recurso essencial para acompanhar as transformações globais. Nesse contexto, a IA desempenhou papel fundamental no estabelecimento das redes, ao desenvolver sistemas de navegação e indexação, direcionando pela primeira vez os estudos para o usuário final como principal foco. Programas que automatizam a pesquisa na rede, classificando os resultados de forma simples e com qualidade significativa, foram pioneiros nesse período, destacando-se o protótipo do Google, criado em 1998, além de outras ferramentas de busca menos utilizadas atualmente.

Em 1997, ocorreu um marco importante na história da IA: conforme previsto em 1965 pela Lei de Moore, que prevê o crescimento exponencial da capacidade computacional, o computador Deep Blue, desenvolvido pela IBM especificamente para jogar xadrez, derrotou o enxadrista campeão mundial Garry Kasparov em uma “revanche” da partida realizada no ano anterior, na qual a máquina havia sido derrotada. Após um ano intenso de trabalho e aprimoramento do software, a partida entre Deep Blue e Garry Kasparov foi amplamente divulgada pela mídia internacional, sendo denominada “jogo da máquina contra o homem”. Apesar das contestações do adversário e de críticas que consideraram o evento irrelevante — comparando-o, por exemplo, à velocidade superior de um automóvel em relação ao ser humano —, a vitória do Deep Blue representou uma evidência de que os esforços na área estavam convergindo para resultados concretos. Paralelamente ao desafio de aprimorar as capacidades da máquina, a IA passou a focar em atividades do cotidiano, aproximando-se da rotina das pessoas e contribuindo positivamente para os avanços tecnológicos. Um dos setores que mais rapidamente se beneficiou foi o bancário, que demandava sistemas especialistas

voltados para a proteção de dados, além de auxiliar na análise e no gerenciamento de riscos e no desempenho das aplicações financeiras. No setor industrial, a partir dos anos 2000, a IA passou a desempenhar papel fundamental no aprimoramento de maquinários, com foco na melhoria da agilidade e, conseqüentemente, da produtividade. Nos últimos anos, houve avanços significativos na otimização das tomadas de decisão, baseadas em análises das máquinas, com o objetivo de evitar desperdícios e maximizar a eficiência operacional, sem comprometer os insumos ou a vida útil dos equipamentos. O investimento massivo em IA na indústria provocou mudanças no perfil de funcionamento das fábricas, bem como no layout de sua implantação, influenciando toda a cadeia produtiva e gerando impactos diretos na quantidade de mão de obra necessária para seu funcionamento. Setores como saúde e administração pública vêm se abrindo para as oportunidades da IA mais recentemente, sendo que a pandemia da COVID-19 impulsionou positivamente essa transição. No campo da saúde, as inovações permitiram aprimorar métodos e dispositivos em diversos segmentos, auxiliando no cuidado aos pacientes, desde o tratamento de doenças, com maior precisão em exames e diagnósticos, até a melhoria da reabilitação do indivíduo e a prestação de serviços à comunidade. Na administração pública, a IA tem impactado principalmente a automação da gestão de serviços públicos, com efeitos diretos nas áreas financeira, de segurança e na qualidade dos serviços prestados. Embora a adesão e implementação da IA na realidade nacional sejam ainda baixas em comparação ao setor privado, dados da Escola Nacional de Administração Pública (ENAP), vinculada ao Poder Executivo Federal brasileiro, indicam que a adoção de softwares específicos tem aumentado desde 2015, sendo uma tendência em setores estratégicos como sustentabilidade, agricultura e saúde (ENAP, 2021). Segundo Almeida (2021), “a dinâmica da estrutura intelectual das publicações em IA na administração pública é sustentada por dois grupos temáticos principais: os desafios da sua gestão na administração pública e a própria implementação”, e, por essa

lógica, de certa maneira já se mostram mais maduros quanto às dificuldades de ser efetiva, as quais são superadas conforme a ampliação das aplicações de IA. De forma mais direta para o usuário final, destaca-se atualmente a presença da IA em praticamente todos os processos e dispositivos eletrônicos, desde os sistemas operacionais dos smartphones até os diversos aplicativos de uso amplo em escala global, tais como Google, Netflix, Spotify, Wallet, Instagram, Siri, entre outros. Esses recursos configuram uma estrutura complexa e interligada, combinando ferramentas para oferecer opções práticas no desempenho de funções comuns do cotidiano.

2.6. O IMPACTO ECONÔMICO DA IA

Segundo dados do Relatório do Banco Mundial (2024), a pandemia da Covid-19 “provocou a aceleração da transformação digital de maneira sem precedentes em todo o mundo”, marcando recordes de picos de tráfego de dados, com aumento significativo em vários países, sobretudo entre os mais desenvolvidos. O relatório também identificou que, em locais onde a tecnologia foi implementada e ampliada, houve impulso no crescimento econômico e surgimento de novas possibilidades de atuação no mercado durante o período de 2020 a 2023, estimando-se um aumento anual de 7% na criação de empregos para serviços digitais, cerca de seis vezes maior que o crescimento total de empregos em escala global.

Em dados gerais, observou-se que, durante o período de amostragem, os setores que investiram em soluções digitais perderam apenas metade do seu patamar de vendas, em comparação com aqueles que não integraram tais soluções ao ambiente digital. Axel van Rothenburg, vice-presidente de infraestrutura do Banco Mundial, concluiu no relatório que “serviços essenciais ao desenvolvimento – como hospitais, escolas, infraestrutura de energia e agricultura – dependem de conectividade e dados (...) e devem estar disponíveis, acessíveis e seguros para que os países em desenvolvimento prosperem”.

Entretanto, é importante salientar o abismo tecnológico enfrentado por esses países, assim como o custo dos serviços de internet e dos softwares operacionais frente ao dólar, que ainda constituem obstáculos significativos, talvez até maiores do que as diferenças culturais e a escassez de mão de obra qualificada para aplicações de IA. Com o objetivo de incrementar a discussão, apresenta-se como comparativo a pesquisa publicada em 2023 pela *Harvard Business Review*, periódico da Universidade de Harvard voltado para práticas de gestão de negócios. A pesquisa revelou que empresas internacionais como American Express, Disney e Ford Motors, entre outras, que investem na aplicação da IA em suas metodologias e na formação de uma cultura orientada por dados (*Data Driven*) desde 2012, tiveram cerca de 80,7% de seus executivos considerando os esforços e recursos aplicados como um “investimento de sucesso”, o qual atuou de forma decisiva para a readequação de seus respectivos setores após a crise imobiliária de 2008.

Complementarmente, o relatório anual da Gartner, publicado em 2022 — empresa mundialmente reconhecida pela especialização em pesquisa e consultoria em tecnologia da informação, e referência no setor pelo alto índice de acerto em suas projeções — prevê que “até 2027, 50% das organizações de grande porte usarão a arquitetura de negócios para avançar no planejamento estratégico diante da volatilidade, incerteza, complexidade e ambiguidade do mercado atual”, alertando para riscos financeiros e sociais severos futuros em caso de não adequação ao ambiente.

3. IA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A construção civil desempenha papel significativo em diferentes escalas no regulamento da economia de países em desenvolvimento, como o Brasil. Por isso, é fundamental promover uma reflexão de longo prazo acerca da preservação econômica da atividade e de seus profissionais, bem como do aprimoramento da qualidade dos empreendimentos e do impacto desses no meio urbano. Nesse contexto, a incorporação da IA como ferramenta na cadeia produtiva do setor revela-se estratégica, uma vez que possibilita tanto a previsão de riscos quanto o planejamento mais preciso, fundamentado em dados concretos. Conforme afirmam Koulamani et al. (2020), a IA, quando aplicada à construção civil, permite automatizar processos complexos, reduzir incertezas e aprimorar a tomada de decisões ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos. A IA já demonstrou resultados positivos em diversos aspectos, influenciando diretamente as formas de planejar, executar e manter projetos — etapas fundamentais de toda a cadeia produtiva da construção civil.

Adicionalmente, seu uso apresenta relevância no campo financeiro, ao contribuir para a redução de custos e prazos, com aplicações que tornam os processos mais eficientes, sustentáveis e seguros. Mais do que uma tendência tecnológica, a IA tem se consolidado como uma meta de transformação estratégica, impulsionando o setor rumo a novos referenciais de inovação, produtividade e excelência.

3.1. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E O IMPACTO CRIATIVO

O uso e a aplicação da IA têm impactado significativamente o setor da construção civil em diversas frentes, estimulando o desenvolvimento de pesquisas e a criação de algoritmos voltados ao atendimento de demandas específicas da área. Esse movimento tem incentivado, ainda, a reinvenção das indústrias de softwares, cujas atualizações vêm permitindo a integração de *plugins* e aplicações complementares a programas tradicionais como o AutoCAD, Revit, entre outros.

Como uma das consequências mais notáveis, observa-se a influência da IA sobre o processo criativo — elemento fundamental compartilhado entre a arquitetura, o design e a engenharia —, historicamente baseado em metodologias oriundas das artes e aprimorado ao longo de séculos de prática profissional. Com a utilização da modelagem BIM associada à IA, torna-se possível a análise de grandes volumes de dados, contribuindo para a precisão e o aperfeiçoamento tanto do planejamento quanto da concepção de projetos. Ademais, por meio do Design Generativo, já é possível utilizar algoritmos pré-configurados com parâmetros que possibilitam a geração automática de propostas de design, considerando aspectos como eficiência energética, disponibilidade de materiais e custos envolvidos. O chamado Design Generativo constitui uma ferramenta interativa que combina os princípios do projeto paramétrico com os recursos da IA, a partir de pré-requisitos estabelecidos pelo projetista. Esse processo permite a geração instantânea de múltiplas soluções de design para um mesmo problema, otimizando a tomada de decisão no processo projetual. Justamente por se tratar de uma inovação disruptiva, o tema suscita debates em diversos campos, gerando críticas relevantes que merecem análise aprofundada nos próximos anos, a fim de compreender o real potencial dessa abordagem.

Segundo Soddu (2021), pioneiro no campo do design generativo e pesquisador da temática na Politecnico di Milano há mais de três décadas, trata-se de “um processo morfogenético que utiliza algoritmos estruturados como sistemas não lineares para obter resultados únicos e irrepetíveis sem fim, executados por um código de ideia, como na natureza” (p. xx). O autor, que acompanha o desenvolvimento da aplicação do design generativo por artistas e pela indústria, defende que esse processo representa “um esgotamento racional das possibilidades, permitindo a escolha da melhor delas em um tempo mais hábil” (Soddu, 2019, p. xx), embora existam outras visões críticas e divergentes sobre a temática.

Entre as críticas destaca-se a falta de originalidade, uma vez que com as pré configurações dos algoritmos há uma tendência de se manter um padrão nos resultados gerados; a falta de participação humana no processo de criação, com o risco do designer se tornar apenas um expectador da máquina, manejando algoritmos para ter os resultados que precisa, tendo impacto direto sobre questões autorais e de expressão criativas genuínas. Trazendo um paralelo recente sobre design generativo como ferramenta, temos o sistema *DALL-E*² criado pela empresa *OPEN AI*³ - que é patrocinada pelo Elon Musk, fundador do *ex-Twitter* e atual X. Segundo descrição de Musk (2022) no site oficial de sua empresa, o sistema é apresentado como “um auxiliar para a criatividade humana, que produz imagens únicas e originais como nunca se viu antes” (tradução livre). De acordo com dados divulgados pela OpenAI em seu portal institucional, até o ano de 2022 aproximadamente 3.000 artistas utilizaram a plataforma DALL-E em mais de 118 países diferentes — resultado alcançado em menos de um ano de atividade aberta ao público. O modelo DALL-E é descrito como um sistema de geração de imagens com base em descrições textuais, fundamentado em uma arquitetura multimodal integrada à plataforma GPT (Generative Pre-trained Transformer). Sua operação consiste na conversão de comandos textuais em representações visuais por meio de aprendizado profundo e cumulativo, dispensando treinamento prévio por parte do usuário. Em 2022, o artista Jason M. Allen foi vencedor do Prêmio de Arte do Estado do Colorado na categoria artistas emergentes, tornando-se o primeiro a conquistar tal reconhecimento com o uso da ferramenta de IA Midjourney. Ao comentar a premiação, declarou que “a arte está morta (...) a inteligência artificial venceu” (NEW YORK TIMES, 2022, tradução livre).

² *DALLE*: programa de Inteligência Artificial operado pelo *OPEN AI* que gera imagens a partir de um *Data Driven* através de descrição textual do usuário.

³ *OPEN AI*: empresa do grupo X de Elon Musk que estuda e pesquisa a tecnologia da Inteligência Artificial. Opera aplicativos como *Chat GPT* e *DALLE*.

O episódio gerou repercussão internacional, suscitando posicionamentos diversos entre artistas, críticos e estudiosos, tanto favoráveis quanto contrários ao uso de IA nos processos criativos. Entre os críticos da aplicação da IA na produção artística está Fred Gelli — designer, professor universitário e publicitário brasileiro —, que afirma: “o que está em jogo é exatamente a essência do que nos faz humanos, nossa inteligência e capacidade de inventar” (FASTWORKERS, 2024). Nesse contexto, emergiu o conceito de “terceirização da imaginação”, expressão que passou a ser adotada por segmentos críticos à adoção de tecnologias nos campos criativos. Surgido em 2020, durante a pandemia de Covid-19, o termo questiona o uso de grandes bases de dados como fonte de geração de conteúdos, sem a criação original a partir da intuição, inspiração ou vivência humanas. A crítica central reside no fato de que tais ferramentas, ao replicarem padrões pré-existentes, eliminam o componente subjetivo e inventivo da criação artística. Em consonância com essa perspectiva, o artista sueco Simon Stålenhag — conhecido por suas obras de ficção científica e roteiros neo-futuristas no cinema — declarou, em entrevista à BBC de Londres, que enxerga a IA como “um tipo de gosma secundária (...) que nossos novos senhores da tecnologia esperam nos alimentar” (BBC Londres, 2022, tradução livre). Entre estudiosos da área e pensadores contemporâneos, há uma preocupação crescente quanto à possibilidade de a IA apresentar enviesamentos estruturais em suas bases de dados, comprometendo a neutralidade e a confiabilidade dos resultados gerados. Tal viés pode ocorrer devido à natureza das fontes utilizadas para o treinamento dos modelos, que frequentemente refletem opiniões, distorções ou padrões discriminatórios preexistentes nos conteúdos extraídos da internet.

Nesse sentido, Recchia e Daves (2021, tradução livre) alertam que “modelos de linguagem, como o GPT, formados por textos e informações extraídos da internet, refletem inerentemente os vieses presentes nessas fontes, incluindo vieses políticos”. Como esses modelos dependem de um processo contínuo de retroalimentação para treinar e refinar suas estruturas linguísticas, há o risco de que

reproduzam e até amplificam distorções, favorecendo determinados posicionamentos ideológicos em detrimento de outros, muitas vezes motivados por interesses políticos ou econômicos. Essa condição levanta questionamentos éticos importantes acerca da aplicação da IA em contextos sensíveis, como na formulação de políticas públicas, no setor educacional ou na construção civil, onde decisões baseadas em dados enviesados podem gerar impactos significativos e desproporcionais.

De maneira geral, o uso e a aplicação da IA na construção civil envolvem um processo complexo de cadeia intelectual, que demanda habilidades técnicas específicas, conhecimento em programação e implementações mais sofisticadas, podendo agravar a disparidade de conhecimento entre os profissionais da área. A mão de obra altamente especializada e os softwares, que exigem investimentos significativos tanto em equipamentos quanto em licenças oficiais, ampliam não somente as desigualdades do setor, como também criam gargalos no desenvolvimento de países que não dispõem, em um primeiro momento, de recursos financeiros para a atualização dessas ferramentas. Indo além da natureza imaginativa, as críticas também abordam questões sociais, como a homogeneização criativa decorrente da ausência de repertório cultural e regional, que a máquina pode, por vezes, não compreender devido à falta de referências plurais em seus bancos de dados. Essas variantes, tão ricas quando consideradas no processo criativo tradicional, podem passar despercebidas por serem específicas a contextos locais e não estarem tabuladas em data centers. As questões éticas e de responsabilidade ainda se encontram em estágio inicial de discussão, especialmente no que tange às políticas de segurança de dados em âmbito mundial.

No Brasil, as discussões envolvem a privacidade sobre o que está sendo criado, assegurando que o conteúdo seja mantido em sigilo criativo, bem como a responsabilidade sobre quem define os parâmetros para o funcionamento dos

algoritmos, temas que ainda carecem de respaldo jurídico consolidado, além da Lei Geral de Proteção de Dados (Lei nº 13.709, de 2018), cujo principal objetivo é “proteger os direitos fundamentais de liberdade e de privacidade e o livre desenvolvimento da personalidade da pessoa natural”. Ademais, discutem-se questões jurídicas ainda não regulamentadas, tais como os princípios conceituais relativos a direito autoral e plágio sobre materiais produzidos com auxílio da IA, assim como a possível participação nos lucros e direitos de royalties por parte das empresas de tecnologia.

3.2. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E A GESTÃO DE PROJETOS

3.2.1. GESTÃO DE PROJETOS ENQUANTO FERRAMENTA

O aumento da demanda na escala produtiva, impulsionado pela Revolução Industrial no século XIX, fomentou os princípios do que hoje se denomina “Gestão de Projetos” (PACHECO et al., 2016). Como desdobramento dessa lógica de produção e controle de qualidade em larga escala, o gerenciamento passou a ser adotado como ferramenta estratégica, sendo replicado e adaptado para diversos setores com o intuito de acompanhar seu desenvolvimento e controlar seus fatores críticos de sucesso (VAUGHAN et al., 2013; PACHECO et al., 2016). Ao considerar o contexto da construção civil no Brasil, observa-se que o setor atua historicamente como uma força motriz para o desenvolvimento da sociedade, apresentando ciclos de prosperidade, mas também de crises ao longo das décadas. Tal dinâmica evidencia não apenas seu elevado grau de relevância econômica, como também sua responsabilidade social e ambiental.

Nesse cenário, o uso de ferramentas capazes de aprimorar a inteligência do negócio como um todo — integrando a expertise técnica herdada da tradição do setor com o aperfeiçoamento dos processos gerenciais — torna-se fundamental para a promoção do desenvolvimento sustentável e para a gestão eficiente de recursos

financeiros, materiais, ambientais e políticos no futuro. Constatase, ainda, o aumento da concorrência entre empresas do setor, especialmente nas últimas duas décadas, o que tem compelido construtoras, incorporadoras e investidores a buscarem novas estratégias. Tais movimentos impactam diretamente a estrutura organizacional tradicional, a definição de metas, a redução de custos e o aprimoramento dos recursos disponíveis, assim como a qualidade dos produtos finais entregues (NAZÁRIO, 2016; AL HASHID et al., 2020). Pela natureza do termo em questão, compreende-se que a gestão de projetos atua como uma ferramenta essencial às organizações, contribuindo para a plena realização dos objetivos propostos, bem como para a manutenção da eficiência e da saúde organizacional em médio e longo prazo. Silva (2020, p. 88) define a gestão de projetos eficaz como “fundamental para o sucesso das obras, pois permite o alinhamento dos objetivos, a otimização dos recursos e a mitigação de riscos, garantindo que os projetos sejam concluídos dentro do prazo e do orçamento estipulados”. Entretanto, apesar do crescente incentivo à adoção de práticas de gestão motivadas pelo aumento da competitividade no setor, o cenário nacional ainda revela diversas dificuldades. Segundo Junkes et al. (2022, p. 74), os principais desafios envolvem “dificuldade na definição do escopo, interfaces do projeto, equipes multidisciplinares, interdependências de atividades e desperdícios de materiais causados por intempéries e variações ambientais”. Tais fatores dificultam a implementação satisfatória de metodologias de gestão dentro de prazos compatíveis com as demandas do mercado.

Para Pinto (2012), embora se observe o uso de técnicas voltadas ao monitoramento e à redução de prazos e custos, a gestão de projetos no Brasil ainda está em processo evolutivo, sendo necessário o desenvolvimento de uma abordagem estruturada, alicerçada em conhecimentos consolidados sobre o tema. Já Kern (2005) destacava, há duas décadas, que o segmento da construção civil apresenta dificuldades específicas relacionadas ao controle de custos e ao

planejamento. Essas dificuldades decorrem de características intrínsecas ao setor, como um ambiente incerto, variável, complexo e dinâmico, além do fato de que os produtos gerados são únicos e exigem um longo período de maturação. Apesar de se tratar de uma análise anterior à consolidação de ferramentas como o BIM, as observações de Kern (2005) permanecem pertinentes, ao evidenciar desafios estruturais e recorrentes na gestão de projetos no setor da construção civil. Esse panorama problematiza a visão, por vezes excessivamente otimista, de que o BIM, de forma isolada, seria capaz de solucionar as ineficiências históricas do setor. Ainda que sua adoção venha impulsionando avanços relevantes em diferentes frentes, sua efetividade está diretamente condicionada à articulação com práticas consolidadas de gestão de projetos, além de exigir mudanças culturais e organizacionais compatíveis com sua lógica de funcionamento. Nesse contexto, observa-se que a gestão de projetos ainda não constitui uma prática plenamente consolidada no setor da construção civil. No entanto, sua aplicação tem se expandido gradualmente, ganhando maior adesão entre empresas e profissionais. Embora ainda não operando de forma integral ou padronizada, a incorporação de princípios e metodologias da gestão de projetos já têm demonstrado impactos positivos, contribuindo para o aprimoramento da eficiência operacional e para o fortalecimento da saúde organizacional em horizontes de médio e longo prazo (Pinto, 2012; Kern, 2005).

Pinto (2012) destaca que, apesar da utilização de técnicas voltadas ao monitoramento e à redução de prazos e custos, o setor brasileiro ainda carece de uma visão estruturada e consolidada da gestão de projetos. Kern (2005), por sua vez, ressalta que as características peculiares da construção civil — como a complexidade, o ambiente dinâmico e o produto único — dificultam o controle de custos e o planejamento, reforçando a necessidade de constante aprimoramento das práticas de gestão. Diante desse panorama, torna-se imprescindível fundamentar a compreensão da gestão de projetos em referenciais teóricos amplamente reconhecidos, que possam orientar a adoção de práticas eficazes no

contexto da construção civil. Nesse sentido, o Guia do Conjunto de Conhecimentos em Gestão de Projetos, conhecido como *PMBOK Guide*⁴ configura-se como uma das principais referências globais para o desenvolvimento e a padronização das práticas de gerenciamento de projetos em diversos setores, incluindo a construção civil.

Nele um projeto é definido como:

Esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo. A natureza temporária dos projetos indica que eles têm um início e um término definidos. O término é alcançado quando os objetivos do projeto são atingidos ou quando o projeto é encerrado porque os seus objetivos não serão ou não podem ser alcançados, ou quando a necessidade do projeto deixar de existir (PMBOK, 2013, p.1).

Essa definição ressalta os aspectos fundamentais de um projeto, independentemente do setor em que se aplique. A partir dela, é possível identificar como requisitos essenciais:

1. **Temporário:** com início e fim definidos, a ser realizado durante um período específico, não como operação contínua.
2. **Único:** em relação a seus objetivos, resultados, e condicionantes, ainda que haja projetos semelhantes como referência.
3. **Produto, Serviço ou Resultado:** a meta de um projeto gira em alcançar um desses itens ao menos.

⁴ PMBOOK Guide: considerado a “bíblia” da gestão de projetos, é um guia publicado originalmente em 1996 pelo Instituto PMI, com atualizações periódicas que trazem boas práticas e técnicas para gerir projetos.

A partir desses elementos é possível compreender o cunho dos projetos e a interpretação de seus objetivos, assim como direcionar seus esforços, além de como apreender a gestão de maneira eficiente e assertiva. Ainda segundo o *PMBOK Guide* (PMI, 2013), a gestão de projetos envolve a aplicação de conhecimentos técnicos, habilidades, ferramentas e técnicas específicas, todas elas direcionadas intencionalmente ao atendimento dos requisitos estabelecidos para o projeto. Apesar de oferecer uma estrutura sistematizada que contempla processos, ferramentas e técnicas essenciais para a gestão eficiente de projetos, o *PMBOK Guide* tem sido alvo de críticas, especialmente no que se refere à sua aplicação em setores marcados por elevada complexidade e variabilidade, como a construção civil. A principal limitação apontada refere-se à sua abordagem predominantemente prescritiva e linear, que pode não se adequar plenamente às dinâmicas multifacetadas e imprevisíveis desses projetos.

Diante disso, torna-se necessária a adoção de adaptações e complementações metodológicas que considerem as especificidades do setor, tais como a exigência por maior flexibilidade, integração interdisciplinar e gestão contínua de riscos. Nesse contexto, o gerenciamento de projetos demanda a coordenação assertiva e eficiente de recursos provenientes de diferentes áreas, extrapolando o escopo estritamente técnico do produto final.

Conforme destacam Junkes et al. (2022, p. 74), fator relevante para a plena implementação das práticas de gestão é “assegurar também que [o projeto] seja planejado em todas as suas fases, emitindo, através de mecanismos de controle [...] para um horizonte de curto e médio prazos, possibilitando antecipar decisões gerenciais que garantam a execução do projeto no curso desejado”. Com o acompanhamento contínuo dos possíveis impactos sobre prazos e custos, as análises e projeções realizadas no contexto da gestão de projetos promovem não apenas o aumento da eficiência operacional, mas também a melhoria da comunicação entre as partes interessadas, “resultando em projetos mais coesos e

alinhados às expectativas dos clientes” (Silva, 2020, p. xx). Sua abrangência estende-se a diversos elementos estratégicos, como “recursos humanos, materiais, financeiros, políticos, equipamentos e de esforços necessários para obter-se o produto final da construção civil, ou seja, obra construída, atendendo-se a parâmetros preestabelecidos de prazo, custo, qualidade e risco” (Bransalise, 2017, p. xx).

Essa concepção evidencia a necessidade de um gerenciamento holístico e adaptativo, capaz de integrar conhecimentos técnicos, práticas consolidadas e soluções tecnológicas com vistas à excelência dos resultados obtidos.

3.2.2. IMPACTOS DA APLICAÇÃO DA IA E DO BIM NA GESTÃO DE PROJETOS

Nesse contexto, observa-se a crescente aplicação da gestão de projetos em diversos segmentos econômicos, de forma cada vez mais direcionada e estratégica. Destaca-se, ainda, a tendência de seu aprimoramento por meio da integração com o BIM e da IA, tecnologias que despontam como aliadas promissoras para os próximos anos.

Em um mercado global e altamente competitivo, a gestão de projetos representa um recurso facilitador. O controle eficiente das diferentes etapas permite conduzir os processos com maior aproveitamento, influenciando positivamente fatores críticos ao desenvolvimento organizacional. Essa gestão parte de premissas comuns ao setor da construção civil, como escopo, comunicação e tempo. Embora o desenvolvimento e a aplicação do BIM no cenário nacional ainda não ocorram de forma uniforme, observa-se que os principais desafios enfrentados são recorrentes e historicamente presentes no setor. Essas questões serão discutidas ao longo desta monografia, juntamente com a análise das tendências de recursos e aplicações, incluindo o uso da IA.

Com base nesse panorama, compreende-se que fatores como a gestão de recursos — financeiros, humanos e materiais —, a baixa qualificação da mão de obra nos canteiros de obras e nos escritórios técnicos, as oscilações econômicas e políticas e o ritmo acelerado das exigências de mercado constituem os principais gargalos enfrentados pelos gestores de projetos na realidade brasileira. Ainda que a gestão de projetos e as tecnologias associadas, como o BIM e a IA, estejam integradas e contribuam significativamente para o enfrentamento dos desafios do setor, é importante destacar que a figura do gestor não pode ser simplesmente suprimida dessa equação. Considerando que sua função envolve adaptação constante e tomada de decisões rápidas, a atuação humana permanece indispensável.

Torna-se cada vez mais necessário que o profissional da área esteja atento às transformações do mercado, desenvolvendo habilidades voltadas tanto à aplicação tecnológica quanto à gestão eficiente de recursos. No entanto, a interpretação crítica dos dados e a tomada de decisões estratégicas e comerciais continuam sendo, essencialmente, atribuições humanas, exigindo discernimento, experiência e responsabilidade.

3.2.3. APLICAÇÕES DA IA E DO BIM NA GESTÃO DE PROJETOS

Como ferramenta aplicada à gestão de projetos, a IA pode atuar em diversas frentes, influenciando diretamente os resultados obtidos. Por meio da automação de atividades rotineiras, torna-se possível elaborar cronogramas com planejamento e agendamento mais precisos, baseando-se em dados históricos e nos requisitos específicos de cada projeto. Isso resulta em ganhos de tempo útil nas atividades e na redução de oportunidades para erros operacionais. A partir de um princípio de retroalimentação de dados, a IA permite analisar o desempenho das frentes de trabalho e a distribuição de carga entre as equipes,

possibilitando a realocação de tarefas conforme a demanda e a expertise de cada profissional. Plataformas já amplamente utilizadas pelo cliente final como *Monday.com*⁵ e *Trello*⁶ permitem o gerenciamento de atividades sem necessário conhecimento prévio de seus usuários, abrangendo um público muito mais amplo e heterogêneo que softwares específicos de gestão como o *Project*⁷, tendo na IA o aprimoramento de suas atividades com a automatização de tarefas e previsão de prazos muito mais simplificado e intuitivos. A retroalimentação das ferramentas e aplicativos também é útil à técnica de *machine learning*, princípio que caracteriza o subconjunto da IA como “independente”, ao concentrar-se na construção de sistemas capazes de gerar novos aprendizados e conexões de informações ou melhorar desempenho, tendo como base os dados que consomem, possibilitando condições para prever problemas e permitindo que os gestores se antecipem com as medidas preventivas. A análise constante dessa base de dados com retroalimentação também proporciona um ambiente propício ao monitoramento e melhoramento contínuo, acompanhando o progresso do projeto com a identificação de possíveis ajustes, atrasos ou desvios do cronograma original. Como efeito dominó, há o impacto da IA sobre a gestão de recursos, permitindo uma otimização de insumos humanos e materiais, o que garante que os mesmos sejam utilizados de forma mais eficiente através de análises direcionadas de ferramentas que já atuam com o sistema de dados. Um exemplo possível é o *Kabbage*⁸, aplicativo já em funcionamento e de fácil interface para o usuário, voltado para gestão de pequenas e médias empresas que auxilia, através de fluxos de caixa, vendas, estoque e outras métricas, medir a saúde financeira do negócio e mesmo oferecer *inputs*⁹ para que melhorem e consigam cartas de crédito.

⁵ *Monday.com* : sistema operacional de trabalho focado no cliente final que oferece pelo aplicativo ferramentas para personalizar fluxos de trabalho.

⁶ *Trello*: aplicativo de fácil interface ao usuário para gerenciamento de fluxos de trabalho.

⁷ *Project*: software específico para Gestão de Projetos desenvolvido pela Microsoft.

⁸ *Kabbage*: aplicativo voltado ao consumidor final para organização financeira.

⁹ *input* : termo em inglês apreendido de maneira geral como “entrada para ideias novas”.

Um aspecto importante da gestão como um macro é a comunicação e colaboração de todos os envolvidos, itens fundamentais para que o projeto atenda às necessidades esperadas, com entregas de valor real e contribuindo ao êxito da empreitada. Por mais que haja planejamento, estrutura organizacional e base de dados de projetos prévios semelhantes, o fluxo de informações e engajamento dos *stakeholders*¹⁰ acaba sendo um dos escopos mais importantes e complexos de um gestor, não só com flexibilidade para realinhar as atividades e objetivos mediante mitigação de riscos, como também para zelar pela reputação da carreira profissional dos integrantes e de seu gestor. Plataformas de colaboração como *Microsoft Teams* com *AI Insights*¹¹, *Construflow*¹², *Asana*¹³ entre outros, já são amplamente utilizadas nos meios corporativos e mesmo em empresas de pequeno e médio porte, servindo de ferramentas bastante úteis para concentrar o fluxo de informações e organizar a rede de *stakeholders*.

Observa-se uma tendência de aprimoramento dessa vertente de ferramentas com o uso de *chatbots*¹⁴ e assistentes virtuais, com o intuito de oferecer suporte, respostas automatizadas para assuntos gerais, envio de atualizações em tempo real, integração com outras ferramentas e mesmo de coleta de *feedbacks*¹⁵ de seus usuários, tendo no último item um termômetro possível para analisar a comunicação com a equipe no todo, possibilitando identificar sinais de insatisfação ou de conflitos potenciais, permitindo que os gestores intervenham antes que problemas maiores surjam.

¹⁰ *Stakeholders* : no contexto corporativo de gestão corresponde ao grupo de pessoas que possam estar relacionadas a determinado projeto em algum grau de interesse.

¹¹ *Microsoft Teams* com *AI Insights* : plataforma de comunicação colaborativa corporativa com extensão de ferramenta de Inteligência Artificial.

¹² *Construflow*: plataforma digital para coordenação integrada do projeto.

¹³ *Asana* : plataforma digital para gerenciamento de trabalho.

¹⁴ *chatbots* : programa de computador que simula a conversação entre pessoas, geralmente usado como plantão de dúvidas e triagem dos clientes pelas empresas.

¹⁵ *feedback* : termo em inglês apreendido de maneira geral como “retorno ou avaliação da mensagem” que o emissor recebe.

O volume dos dados dos projetos de maneira geral são densos e muito ricos, envolvendo não só fatores cartesianos e lógicos, como cálculos e de definições técnicas, como também a expertise profissional dos envolvidos, tendo no *knowhow*¹⁶ da empresa com sua experiência nos métodos que aplicam uma fonte inesgotável de informações. A base de dados já existe mas nem sempre consegue ser filtrada e aplicada de maneira eficiente. A possibilidade de consulta a essa “biblioteca” prévia serve não só como referencial para futuros empreendimentos, mas para antecipar possíveis etapas e problemas do projeto ainda em andamento. Como o volume de informações é muito alto, a coleta, garimpo e aperfeiçoamento delas pode ser beneficiada com o auxílio da IA com o compilamento e organização dos dados e a possibilidade de se gerar relatórios e análises, economizando tempo e possibilitando uma maior precisão para tomadas de decisões, o que torna o processo mais eficiente.

Nesse sentido, ao consultar um grande volume de dados históricos a IA consegue ter precisão para averiguar padrões e tendências, incluindo dados como prazos, custos, recursos disponíveis e necessários e riscos para o desenvolvimento de determinada atividade. Ferramentas como o *Microsoft Project*¹³ já contam com plugin que auxilia na análise desses fatores, podendo prever em tempo real com ajustes dinâmicos quais impactos determinada atividade tem sobre o cronograma. As funções de aprendizado contínuo da máquina, simulações de cenários e de identificação e gestão das curvas de caminho crítico no cronograma ainda não vem sendo muito exploradas, porém seguem como funcionalidades possíveis em aplicativos para gestão de IA, como o já mencionado anteriormente *Microsoft Project*¹³, *Smartsheet* com *Automação de IA*¹⁷ da Google e *Clarizen* com *IA Predictive Analytics*¹⁸, mais comumente usados, e que provavelmente irão se aperfeiçoar em breve.

¹⁶ *knowhow* : termo em inglês apreendido de maneira geral como “repertório ou experiência”

¹⁷ *Smartsheet* com *Automação de IA* : software disponibilizado de maneira digital pela Google para colaboração e gerenciamento de trabalho.

¹⁸ *Clarizen* com *IA Predictive Analytics* : software para gerenciamento de trabalho colaborativo.

Acredita-se que a habilidade de aprendizado contínuo que as programações conseguem apreender com a execução de cada projeto, por si só já aprimora suas análises e previsões com o tempo e prática. Conforme abordado no artigo *Continuous Learning in Industry 4.0* (López-de-Ipiña, López e Pérez, 2019), a integração em tempo real do *big data* com o aprendizado contínuo de máquina permite a evolução simultânea de produtos e processos, aprimorando a eficiência e viabilizando tomadas de decisão empresariais mais coerentes e assertivas. Considerando que a indústria e o mercado, de maneira geral, se tornam cada vez mais dinâmicos, o uso da IA no gerenciamento de projetos revela-se uma alternativa promissora. Sua aplicação pode melhorar significativamente a eficiência operacional, ao mesmo tempo que contribui para o desenvolvimento dos colaboradores como agentes de decisão e execução. Além disso, a IA reduz a incidência de erros e fornece perspectivas analíticas que influenciam diretamente na tomada de decisões e no amadurecimento dos processos, por meio da retroalimentação de dados. Para alcançar esse nível de maturidade, os autores do artigo defendem que todo projeto, ao final de seu ciclo, seja submetido a uma avaliação sistemática de suas fases, com o intuito de identificar padrões e oportunidades de ajustes nas atividades executadas. Tal prática visa não apenas à formação de uma base de dados robusta (*big data*), mas também à construção de uma postura autocrítica, capaz de refletir sobre eventuais ações corretivas que poderiam ter sido adotadas para o aprimoramento do desempenho (López-de-Ipiña, López e Pérez, 2019).

3.3. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E O “CANTEIRO DE OBRAS”

Além de sua aplicação nas fases anteriores e durante o planejamento de uma obra, a IA também apresenta desdobramentos e possibilidades de uso no ambiente em que se estrutura a produção de um edifício: o canteiro de obras. Historicamente, no Brasil — enquanto país em desenvolvimento com ciclos construtivos constantes, desde pequenas edificações até grandes intervenções de infraestrutura —, o canteiro tem sido frequentemente tratado como um elemento

secundário no processo construtivo.

Em muitos casos, não recebe o suporte necessário para sua implantação plena e eficaz. Saurin e Formoso (2006) evidenciam, com base em dados empíricos, como o espaço do canteiro de obras tem sido negligenciado no processo de gerenciamento da construção. Essa negligência abre brechas para que decisões relacionadas à sua organização sejam tomadas apenas reativamente, como respostas imediatas a problemas de execução surgidos ao longo da obra, muitas vezes decorrentes da falta de planejamento adequado. Como consequência, surgem condições inadequadas que comprometem a saúde dos trabalhadores, expondo-os à falta de infraestrutura mínima, apoio operacional insuficiente e até riscos de acidentes. Nos últimos anos, o setor da construção civil tem passado por um processo acelerado de industrialização de seus métodos e procedimentos, voltando sua atenção também à gestão do canteiro de obras. Esta passou a ser compreendida não apenas como um meio para garantir produtividade e eficiência, mas também como uma estratégia de relacionamento com a comunidade local e de fortalecimento da imagem institucional do empreendimento.

Diversas construtoras têm utilizado a IA como recurso para projetar, gerenciar e monitorar o canteiro de obras de maneira mais moderna e abrangente. Além de contribuir para a eficiência operacional, essa abordagem tem sido utilizada como ferramenta de marketing, ao compartilhar informações seletivas com clientes e stakeholders, fortalecendo a transparência e a reputação do projeto. Um exemplo prático dessa aplicação está nos sistemas de monitoramento com sensores e câmeras equipadas com IA. Além de prover segurança ao evitar sinistros e controlar o acesso de pessoas não autorizadas, esses dispositivos auxiliam na inspeção contínua da obra dentro do perímetro do terreno. Com capacidade de detectar comportamentos de risco — como a ausência de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), obstruções de fluxo ou situações de perigo em áreas críticas —, esses sistemas emitem alertas em tempo real à equipe responsável, promovendo

um ambiente mais seguro e organizado.

Esses mesmos dispositivos, posicionados em pontos estratégicos do terreno e da edificação, podem ainda ser utilizados para gerar vídeos e relatórios visuais que contribuam tanto para o acompanhamento técnico quanto para fins de comunicação institucional do projeto, editáveis em *time-lapse*¹⁹ que a construtora/empreiteira compartilha com os clientes quando oportuno, para demarcar as fases de avanço de obra, gerando um marketing positivo a sua imagem com a aproximação da experiência e sentimento de transparência do processo. Enquanto parte técnica, a IA vem tendo êxitos em alguns pontos estratégicos do processo construtivo, já tendo alguns aplicativos disponíveis para auxiliar momentos chave de fases. O corpo de prova do concreto por exemplo, que têm duração média entre 28 e 91 dias para atender às normas técnicas da ABNT e da Associação do Cimento Portland, com a ajuda da IA tem sido testado para reduzir o prazo de avaliação em 3 dias. Através da análise crítica de um base de dados com resultados reais de testes prévios de corpos de prova, o algoritmo cruza as informações solicitadas de acordo com a situação caso necessária, e cria padrões para prever a resposta final de plasticidade e resistência da amostra, permitindo ajustes e correções preventivas em eventuais desvios comportamentais do material em um tempo muito mais rápido, o que permite reduzir possíveis problemas e prejuízos financeiros. Tendo o princípio da base de dados, o planejamento e condução da obra também podem se beneficiar da análise de situações caso semelhantes, gerando projeções baseadas em comportamentos anteriores. É possível através dessas análises como ferramenta aferir comportamento e ritmo de obra, gestão de recursos e resíduos e trazer à tona possíveis *insights*²⁰ na gestão, assim como tomadas de decisões mais rápidas para correção de erros.

¹⁹ *Time-lapse* : processo cinematográfico em que o tempo entre cenas é bem menor que o convencional, dando a sensação de o tempo passar mais depressa.

²⁰ *insight* : termo em inglês apreendido de maneira geral como compreensão ou solução de um problema pela capacidade intuitiva.

3.4. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E O PÓS OBRA

Assim como é possível analisar dados antes e durante a produção de uma edificação, no chamado pós obra - período de acompanhamento ao cliente após a execução e entrega definitiva do empreendimento -, pode-se usar como uma ferramenta para monitoramento e manutenção, servindo não só à construtora como ao cliente final e a empresa de gerenciamento sindical. Sensores conectados à IA podem coletar informações em tempo real sobre a estrutura, como variações de temperatura e umidade, movimentação de fundações, possíveis pontos de tensão estrutural, percolação, comportamento da rede elétrica e hídrica, entre outros. A análise dos dados permite identificar de maneira rápida o surgimento de problemas, emitindo alertas automáticos para pedidos de manutenção preventiva e reparos, antes que minem em grandes problemas. Os componentes do edifício também podem ter acompanhamento da IA que analisa os padrões históricos de manutenção e uso dos equipamentos aliando sua manutenção preventiva através de algoritmos de aprendizagem "*machine learning*", acompanhando em tempo real itens como ar condicionado, sistema de elevadores, captação de água pluvial e aquecimento, podendo sugerir intervenções para manutenção adequada com base nos dados de uso e desgaste, de modo a aumentar a eficiência operacional e reduzir significativamente os custos de manutenção emergencial.

Enquanto operabilidade da edificação, a IA pode auxiliar na gestão de recursos como energia e água, monitorando a demanda por consumo do edifício e ajustando automaticamente sistemas como iluminação, aquecimento, ventilação e hídrico, proporcional ao uso e ocupação em tempo real do edifício, aumentando a eficiência de consumo energético e conseqüentemente, da sustentabilidade de seu uso. Assim como nos componentes, através dos algoritmos e o "*machine learning*"

também é possível identificar padrões incomuns, mapeando falhas no sistema ou oportunidades de melhoramento dos sistemas. A análise de pós ocupação, instrumento tão importante no processo de retroalimentação de setores como projeto e engenharia, é positivamente impactado com o uso da IA para gerir os dados coletados do edifício de maneira integrada.

A formação desse base de dados durante a ocupação plena da edificação permite um exercício que é muito rico, porém nem sempre possível de ser realizado devido a complexidade das informações coletadas, que é a comparação entre o que foi projetado versus o desempenho real do edifício, identificando inclusive onde ocorreram possíveis desvios no processo e que impactam no resultado final, assim como levantar possibilidades de correções para alcançar as especificações planejadas inicialmente.

Um desdobramento possível é que a qualidade do projeto e sua manutenibilidade se potencializar através da IA, com o recurso de organização de informações e sua documentação constante, tendo em sua base dados desde o projeto até o histórico de manutenções, facilitando a consulta em momentos críticos e mesmo de rotina ordinária preventiva. A tendência é que aplicações baseadas em IA, como assistentes virtuais e sistemas inteligentes, tornem-se cada vez mais acessíveis aos usuários finais das edificações.

Esse cenário viabiliza a atuação desses mecanismos não apenas como ferramentas de automação, mas também como agentes capazes de aprender com o comportamento dos usuários e de se adaptar dinamicamente ao ambiente em que operam. Essa interação contínua favorece a constituição de um sistema simbiótico, no qual a experiência dos ocupantes é progressivamente aprimorada, ao mesmo tempo em que se promovem ganhos significativos na eficiência operacional, na gestão de recursos e na ampliação da vida útil das construções ao longo do tempo.

Segundo estudos, a integração de tecnologias como IoT e IA em edifícios inteligentes permite a coleta e análise de dados em tempo real, possibilitando ajustes automáticos nos sistemas de climatização, iluminação e segurança conforme as necessidades dos ocupantes. Isso resulta em uma experiência mais personalizada e confortável, além de contribuir para a redução do consumo energético e dos custos operacionais (CISCO, 2025).

4. BIM: UMA BREVE INTRODUÇÃO

Embora o tema esteja em evidência na atualidade, o BIM vem sendo gradualmente incorporado ao mercado da construção civil há aproximadamente 25 anos. Ainda assim, é fundamental apresentar uma contextualização introdutória da ferramenta, a fim de compreender os princípios que estruturam seu raciocínio operacional e metodológico. Essa abordagem inicial permite, posteriormente, o desenvolvimento de uma análise crítica mais consistente sobre sua implementação, especialmente diante das especificidades e desafios do setor no contexto brasileiro.

4.1. BIM : ORIGEM

O sistema de modelagem da informação da construção, conhecido como BIM, está intrinsecamente ligado à evolução do design e da construção civil, tendo emergido como resposta à necessidade de gerenciar projetos cada vez mais complexos, que demandam sistemas integrados para facilitar o compartilhamento de informações entre as diversas disciplinas envolvidas (Faroni, 2017). O termo *Building Information Model* foi utilizado pela primeira vez em 1989, no relatório *An Object-Oriented Environment for Representing Building Design and Construction Data*, elaborado por Garrett Jr., Basten e Breslin. Na ocasião, os autores propuseram um modelo digital capaz de representar os objetos físicos e funcionais de uma edificação, considerando aspectos como geometria, localização, materiais e a relação com espaços abstratos, como pavimentos e ambientes (Garrett Jr.; Basten; Breslin, 1989).

Entretanto, as bases conceituais do BIM remontam às décadas de 1960 e 1970, a partir dos estudos de Douglas Engelbart e Ivan Sutherland, pioneiros no desenvolvimento de sistemas de design assistido por computador. Em 1963, Sutherland desenvolveu o *Sketchpad*, um dos primeiros sistemas CAD interativos, considerado um antecessor direto das plataformas modernas atualmente utilizadas, como aquelas desenvolvidas pela Autodesk.

4.2. PRIMEIROS PASSOS

A concepção de um sistema integrado de modelagem na construção civil remonta às pesquisas de Douglas Engelbart e Ivan Sutherland na década de 1960. No entanto, foi apenas com o avanço dos sistemas CAD, entre as décadas de 1980 e 1990 — notadamente impulsionado pelas soluções desenvolvidas pela Autodesk — que o tema voltou a ganhar destaque no setor. Embora os primeiros softwares funcionassem essencialmente como pranchetas digitais, sua disseminação permitiu a industrialização do desenho técnico e abriu caminho para novas formas de representação tridimensional.

O termo BIM ressurgiu como uma proposta de evolução tecnológica para o setor da construção. Em 1992, Van Nederveen e Tolman já destacavam a relevância da integração de informações aplicadas à modelagem construtiva. Ainda na década de 1990, ferramentas como ArchiCAD e Revit passaram a incorporar dados aos modelos tridimensionais, marcando o início da consolidação do BIM como uma metodologia.

A partir dos anos 2000, a Autodesk difundiu amplamente o termo, promovendo sua aplicação prática em projetos de infraestrutura e contribuindo significativamente para o amadurecimento dos softwares e sua adoção em escala global. O BIM passou, então, a ser reconhecido não apenas como uma ferramenta de modelagem, mas como um sistema estratégico de integração de informações ao longo de todo o ciclo de vida das edificações (Azhar, 2011; Steel; Drogemuller; Toth, 2012).

4.3. CONCEITUAÇÃO

A sigla BIM representa os conceitos fundamentais do sistema aplicado à construção civil: *Building* refere-se à atividade de construir; *Information* ao compartilhamento estruturado de dados; e *Model* à representação digital precisa da geometria e dos elementos da edificação. Segundo Penttilä (2006), o BIM configura-se como uma metodologia para gerenciar projetos e seus dados em formato digital ao longo de todo o ciclo de vida da construção, promovendo avanços significativos no setor. Além da simulação virtual, o BIM permite a integração de informações que viabilizem a gestão desde as etapas iniciais de projeto até a operação e manutenção pós-obra. Diante de desafios globais enfrentados pela construção civil — como as mudanças climáticas e a gestão de resíduos —, Heidari et al. (2023) destacam que o BIM oferece abordagens inteligentes voltadas à sustentabilidade e à eficiência dos empreendimentos.

Enquanto sistema tecnológico avançado, o BIM não impacta apenas o modo de projetar, mas transforma toda a cadeia produtiva da construção, influenciando a maneira de planejar e executar uma obra. Seu uso permite a antecipação de condições de projeto por meio de simulações virtuais, contribuindo para a mitigação de erros e a melhoria da tomada de decisão.

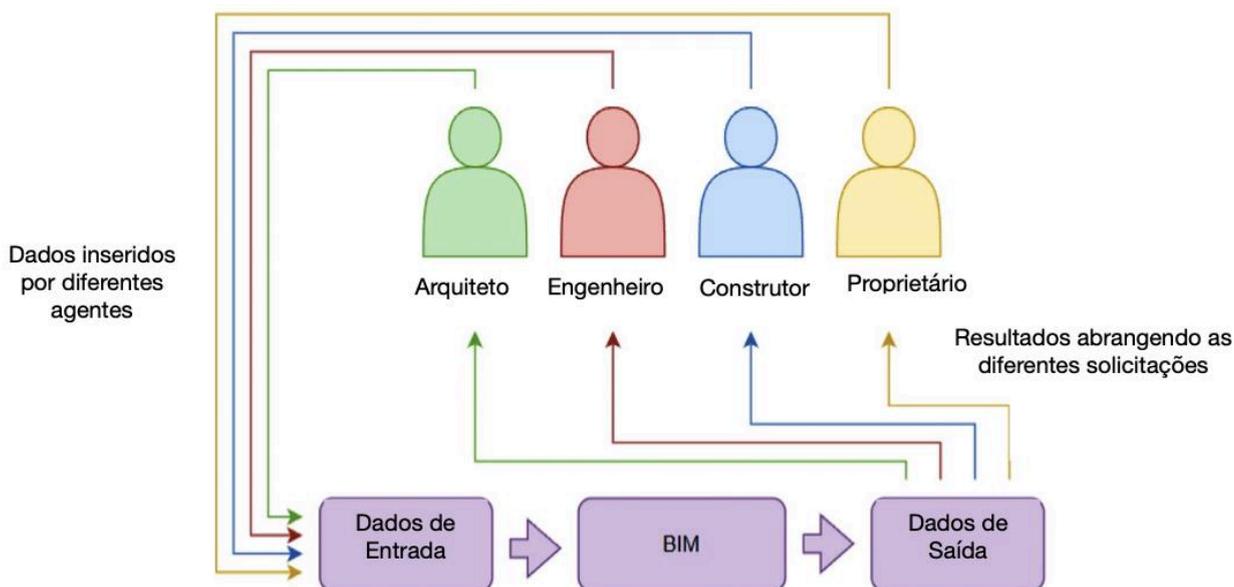
A Autodesk, em uma de suas primeiras publicações oficiais sobre o tema, definiu o BIM como um sistema “capaz de criar e operar bancos de dados digitais, permitindo a colaboração entre projetistas; gerenciar alterações em todos os bancos de dados de modo coordenado; e capturar e preservar informações para uso em aplicativos específicos do setor” (Autodesk, 2002, tradução livre). Com a incorporação progressiva de dados ao modelo, o BIM adquire camadas de complexidade que podem ser exploradas de acordo com o nível de estruturação da informação. Estudos de Penttilä, Lodge e Gaspar situam o BIM como um marco transformador no setor da construção civil, ao ampliar o gerenciamento para todo o ciclo de vida das edificações, incluindo questões relacionadas à sustentabilidade e

aos custos operacionais (Gaspar, 2019). Heidari et al. (2023) ressaltam que o BIM vai além da tecnologia, promovendo a colaboração e a coordenação entre os diversos agentes envolvidos no processo construtivo. Para Penttilä (2006), trata-se de um método promissor para a troca e gestão de dados durante toda a vida útil da edificação.

5. IMPACTO DO USO DO BIM PELO SETOR

A implantação do BIM no setor da construção civil tem apresentado crescimento significativo e impactado a indústria global, ainda que de forma não uniforme. É possível afirmar que a utilização do BIM tem contribuído para avanços relevantes em aspectos como a interoperabilidade entre sistemas, a troca eficiente de informações, a agilidade no desenvolvimento de projetos, a melhoria na tomada de decisões e o aprimoramento da modelagem tridimensional. A adoção da ferramenta em diferentes áreas do setor, apesar das variações em sua aderência, tem fortalecido um método de trabalho mais colaborativo entre os diversos *stakeholders*, ampliando gradualmente seu valor e potencial de aplicação (Penttilä, 2006). Embora a transição ocorra de maneira relativamente lenta, observa-se uma tendência de crescimento contínuo, consolidando o BIM como um recurso estratégico frente à demanda por projetos mais ágeis e eficientes, à crescente complexidade dos processos construtivos e à busca por soluções de design mais inovadoras (Penttilä, 2006).

Figura 3: Interação do setor da construção civil com o BIM



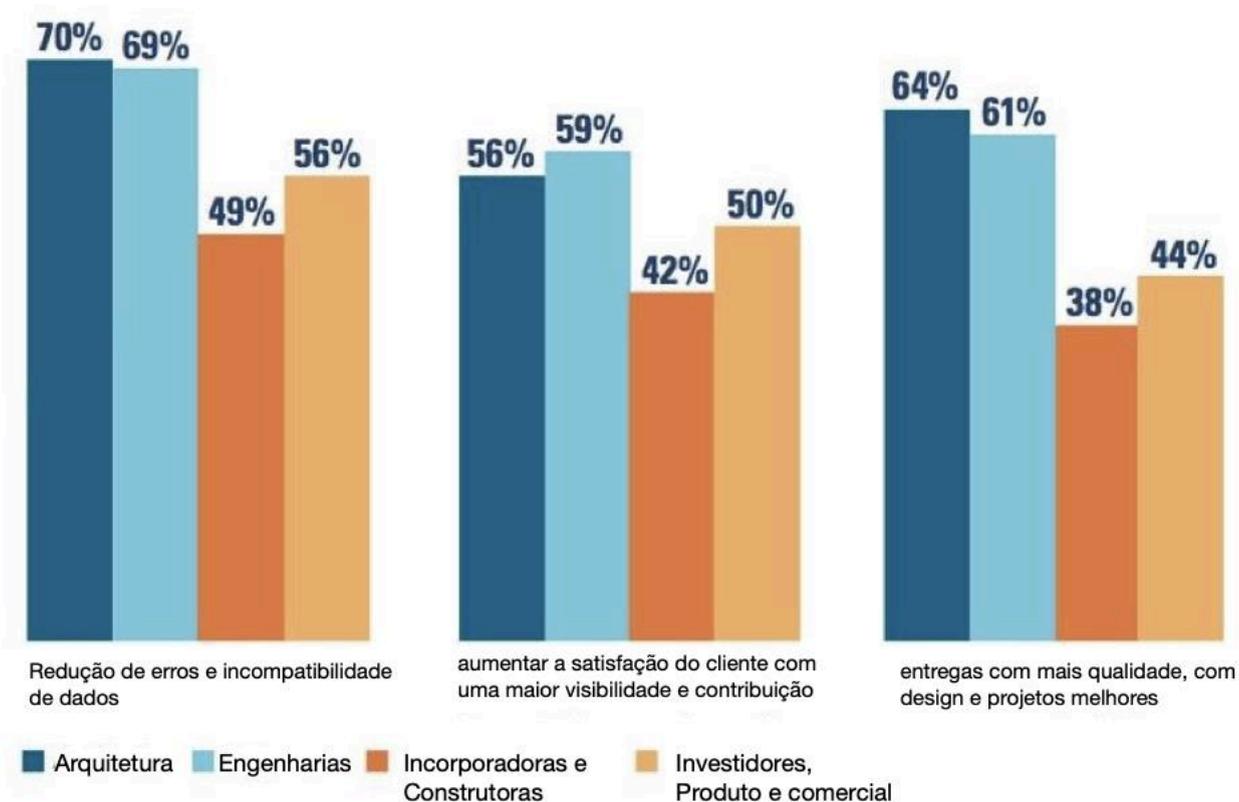
Fonte: AECO interaction with BIM, D. Bassir et al.: *Int. J. Simul. Multidisci. Des. Optim.* 14, 5 (2023)

Segundo dados de Heidari et al. (2023), no artigo *A Systematic Review of the BIM in Construction: From Smart Building Management to Interoperability of BIM & AI*, houve um aumento de aproximadamente 60% no número de downloads de softwares com interface BIM voltados à coordenação de projetos, no intervalo de cinco anos (entre 2014 e 2019), em plataformas especializadas. Tal crescimento representa uma mudança significativa no perfil dos usuários do setor, além de indicar impactos futuros relevantes na forma de gerenciamento sequencial de projetos.

Ahmed et al. (2023), no artigo *Application of Artificial Intelligence Tools with BIM Technology in Construction Management: Literature Review*, apresentam uma

análise bibliográfica detalhada, baseada em estudos de caso comparativos envolvendo empresas de diferentes portes que implementaram o sistema BIM em seus procedimentos. O recorte temporal da pesquisa, que abrange o período de 2010 a 2019, permite observar o amadurecimento da adoção definitiva do BIM, tanto em relação às práticas adotadas quanto ao nível de envolvimento dos profissionais. O estudo também evidencia os impactos diretos e indiretos dessa adoção em diversos núcleos do setor da construção civil.

Figura 4: Melhorias de resultados do projeto usando BIM por segmento do setor



Fonte: Project Outcome Improvements Using BIM (by Type of Company)

Mostafa A., M. Mohamed, Ahmed S., M. Waleed, A. Youssef 2023

Enquanto adendo, cabe ressaltar que o recorte de implementação de sistema BIM da figura acima se configura em uma realidade internacional, com especificidades e regionalismos próprios, não podendo, portanto, ser considerado um reflexo idêntico ao que se vislumbra no Brasil. No entanto, mesmo sendo de uma geografia e realidades distintas, como exercício é interessante observar que também houveram barreiras e dificuldades, que há resultados de melhorias notáveis, mas não uniformes entre os núcleos, tendo as variações entre os tipos de empresa relação direta com o uso e aplicação do sistema BIM em suas atividades. A pesquisa apresentada no gráfico foi aplicada em escritórios de arquitetura, empresas de engenharia e de construção, entre outras organizações atuantes no setor da construção civil, e demonstrou impacto positivo em diferentes aspectos dos resultados dos projetos, como economia de custos, cumprimento de cronogramas, melhoria da qualidade e redução de riscos — fatores fundamentais para a entrega bem-sucedida dos empreendimentos e o atendimento às expectativas dos clientes. Os mesmos objetivos dessa pesquisa foram utilizados como parâmetros avaliativos para a implementação do BIM no contexto nacional e, por esse motivo, foram replicados no presente estudo com o intuito de complementar a discussão proposta. Gaspar (2019) destaca a capacidade do BIM de evoluir em direção a sistemas cada vez mais integrados, incorporando tecnologias emergentes de forma a torná-lo uma plataforma centralizada de gerenciamento. No entanto, apesar dessa tendência de integração tecnológica, a revisão bibliográfica conduzida por Heidari et al. (2023, tradução livre) evidencia uma lacuna significativa na interoperabilidade do BIM com outras ferramentas, o que dificulta sua operação de maneira intuitiva por parte das empresas do setor.

Nesse cenário, a IA desponta como uma aplicação urgente e necessária, ao configurar-se como a combinação de software e hardware capaz de solucionar automaticamente problemas complexos, reduzindo a dependência da intervenção humana e potencializando a eficiência operacional dos processos construtivos. Penttilä (2007) considera que “o conceito BIM é um método promissor de troca de

dados, que permite ampla interação entre plataformas, bem como o gerenciamento de informações ao longo de todo o ciclo de vida da construção”. Complementarmente, Lodge et al. (2023, tradução livre) afirmam que “muitos dos primeiros adotantes do BIM acreditam que seu uso aumentará drasticamente à medida que tecnologias digitais, como dispositivos móveis, internet das coisas (IoT), big data, ciência de dados, aprendizado de máquina e IA, forem aprimoradas”, tornando-se cada vez mais acessíveis ao público final.

5.1. O “JOGO DA IMITAÇÃO ” x “*MACHINE LEARNING*”

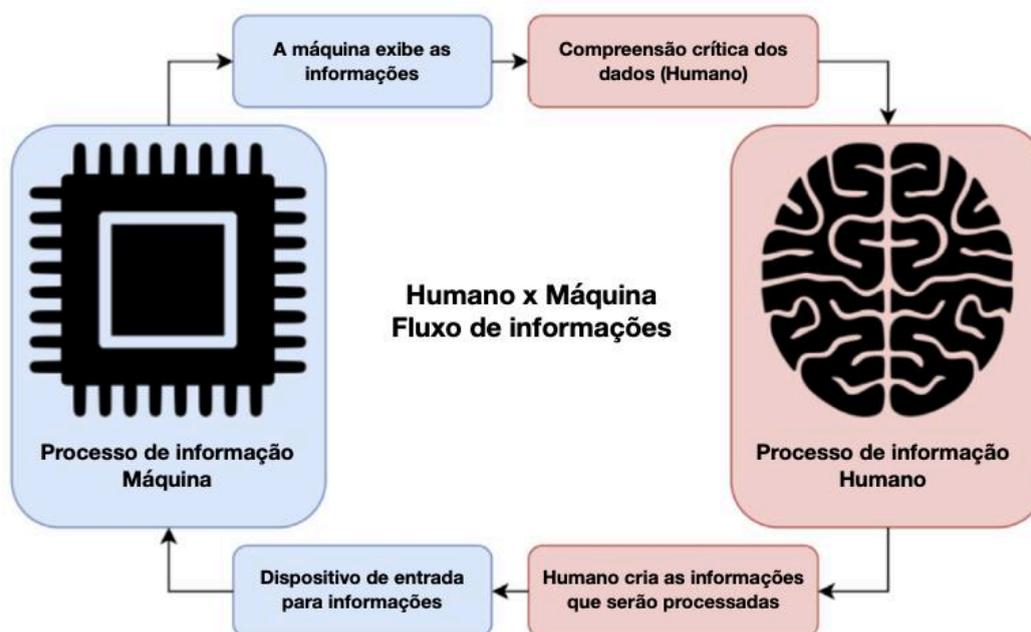
Apesar da existência de ferramentas que combinam BIM e IA, muitos usuários ainda desconhecem o potencial dessa integração. Como destacam Lodge et al. (2023, tradução livre), “o conceito dessa tecnologia deve ser bem compreendido para racionalizar sua presença em estudos de paisagem e construção”. O princípio da IA pode ser associado ao “Jogo da Imitação”, proposto por Alan Turing em 1939, no qual uma máquina é considerada inteligente se for capaz de simular respostas humanas. Essa concepção evoluiu para o conceito de *machine learning*, no qual os sistemas são capazes de aprender e aprimorar-se a partir da análise de dados e da experiência acumulada.

Nesse sentido, Ahmed et al. (2023, tradução livre) afirmam que a IA “envolve a simulação de processos de inteligência humana por máquinas”. Delgado (2021) complementa, ao afirmar que “IA é o estudo de como fazer as máquinas fazerem coisas que, no momento, as pessoas fazem melhor”. A partir da assimilação de grandes volumes de dados, a IA amplia sua capacidade de prever, corrigir e propor soluções, consolidando-se como uma aliada estratégica na gestão de projetos complexos. Sua integração ao BIM potencializa ganhos em eficiência, sustentabilidade e assertividade nas tomadas de decisão ao longo de todo o ciclo de vida da edificação.

5.2. VISÃO GERAL DA IA E SEUS SUB-CAMPOS

A IA, frequentemente associada ao *Machine Learning* (ML), refere-se à criação de agentes inteligentes — sistemas capazes de perceber o ambiente e agir de forma autônoma com base na interpretação desses dados (Heidari et al., 2023). Diferentemente da inteligência natural, própria dos seres humanos, a IA tem como foco central a aprendizagem automatizada e a resolução de problemas complexos. Ao simular o funcionamento do cérebro humano, a IA oferece vantagens significativas em diversas áreas, sobretudo pela precisão no processamento de grandes volumes de informação (Heidari et al., 2023). No entanto, conforme argumentam Lodge et al. (2023), humanos e máquinas possuem competências complementares, tornando essencial a interação entre ambos. A inteligência humana fornece os insumos conceituais e contextuais necessários para que a IA opere com maior eficácia, reforçando o caráter colaborativo dessa relação.

Figura 5: Fluxo de informações humano x máquina



Fonte: Benefits of AI and human intelligence. Lodge et. al, 2023

5.3. IA APLICADA AO BIM

O software BIM, enquanto modelo geométrico estruturado, apresenta a capacidade de compilar e filtrar diferentes tipos de informação previamente inserida. O *National Institute of Building Sciences* – NIBS (2007) propôs uma abordagem tripartida para a representação do BIM, dividindo-a em três níveis: como produto, representando o modelo federado da edificação; como ferramenta, referindo-se às aplicações capazes de interpretar esses modelos e agregar informações; e como processo, contemplando as atividades desenvolvidas ao longo de todo o ciclo de vida da construção (Penttilä et al., 2007; Oti; Tizani, 2015). A tecnologia da IA, por sua vez, utiliza os dados gerados pelo BIM, atuando como um elo entre esses níveis, com potencial para interpretar, analisar e propor modelos otimizados. Heidari et al. (2023) afirmam que “quando o BIM e a IA são integrados, eles criam uma combinação poderosa que pode trazer muitos benefícios para o setor da construção, [...] ajudando a automatizar processos de construção e melhorar a tomada de decisões” (tradução nossa). A integração entre as partes contribui significativamente para a antecipação de erros e riscos, otimização do uso de recursos e aprimoramento na tomada de decisões em tempo real. A metodologia BIM organiza-se em diferentes dimensões, que agregam camadas informacionais ao modelo digital. As principais dimensões são: 3D (modelagem geométrica), 4D (planejamento e cronograma), 5D (estimativas de custos), 6D (sustentabilidade) e 7D (operação e manutenção), entre outras. De acordo com Koutamanis (2019), essa estrutura dimensional visa representar os níveis crescentes de aprofundamento da informação e da funcionalidade incorporadas ao modelo ao longo de seu ciclo de vida.

Tabela 1 - Níveis de maturidade BIM e suas características segundo diferentes autores

Dimensão	Descrição	Contribuição segundo Koutamanis (2019)
3D – Geometria	Representação tridimensional dos elementos do projeto, integrando disciplinas como arquitetura, estrutura e instalações.	Base estrutural do BIM, essencial para integrar dados e garantir a coerência visual e técnica do modelo.
4D – Tempo	Incorpora o fator tempo ao modelo, permitindo o planejamento e simulação das etapas da construção.	Transforma o modelo em uma ferramenta de simulação dinâmica, melhorando a gestão do cronograma.
5D – Custo	Adiciona informações orçamentárias e permite controle financeiro do projeto em tempo real.	Alinha os aspectos técnicos e financeiros, oferecendo previsibilidade e transparência orçamentária.
6D – Sustentabilidade	Integra dados de desempenho energético e ambiental, como consumo de energia e pegada de carbono.	Permite análises preditivas para atender exigências regulatórias e metas de eficiência ambiental.
7D – Operação e Manutenção	Foca no uso do modelo após a obra, incluindo gestão de ativos, manutenção e suporte técnico.	Prolonga a utilidade do BIM, promovendo continuidade das informações durante o ciclo de vida do edifício.
8D – Segurança (opcional)	Considera requisitos de segurança e prevenção de riscos no canteiro e na operação da edificação.	(Alguns autores consideram esta dimensão adicional, embora Koutamanis enfatize as sete principais.)
9D – Industrialização (opcional)	Relacionada à construção off-site, modular e ao uso de tecnologias industriais no canteiro.	Envolve a integração do BIM com processos de produção industrializada, em desenvolvimento.

Fonte: autoria própria

No entanto, embora amplamente utilizada, a teoria das dimensões do BIM não está isenta de críticas. Autores como Borrmann et al. (2018) alertam que essa subdivisão em “Ds” pode assumir um caráter reducionista, ao sugerir uma evolução linear e

sequencial, quando, na realidade, as dimensões operam de forma integrada e simultânea. Para Koutamanis (2019), tal abordagem pode mascarar a complexidade real dos fluxos de trabalho e dos dados envolvidos, além de gerar confusão conceitual entre profissionais — especialmente em contextos nos quais a maturidade digital ainda é limitada.

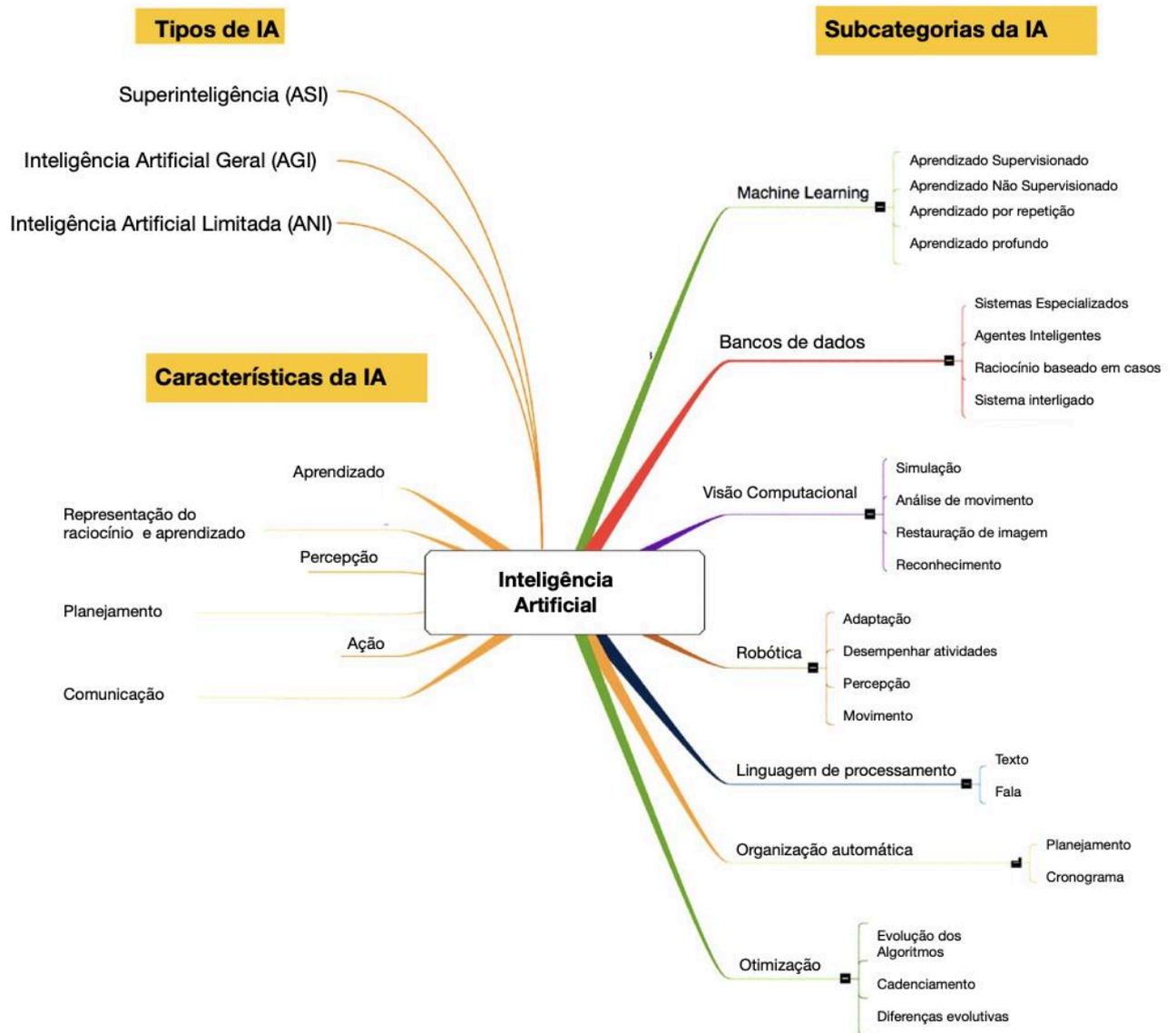
A proliferação de dimensões superiores, como 8D (segurança) e 9D (industrialização), sem consenso internacional padronizado, também contribui para a ambiguidade na aplicação e interpretação das informações modeladas. Assim, ainda que o modelo dimensional do BIM auxilie na organização e estruturação das informações, é fundamental reconhecer suas limitações enquanto arcabouço teórico e evitar sua instrumentalização como mero recurso de marketing. Na prática, muitas organizações ainda utilizam predominantemente os níveis 3D e 4D, com pouca integração das demais dimensões superiores.

Essa crítica reforça a importância de compreender o BIM como uma abordagem sistêmica, que deve incorporar suas potencialidades sem desconsiderar a complexidade envolvida e as especificidades de cada contexto de aplicação. Como destacado por Heidari et al. (2023), apesar do crescimento no uso do BIM para análises estruturais (27%) e energéticas (25%), sua aplicação principal ainda se concentra na modelagem geométrica tridimensional.

Segundo Lodge et al. (2023, tradução livre), a plena incorporação das demais dimensões do BIM, como tempo (4D) e custos (5D), depende fundamentalmente do uso de tecnologias de IA, especialmente aquelas que operam em tempo real, pois essas potencializam o processamento de dados e permitem gerar visualizações mais precisas. Ramaji, Messner e Leicht (2016, tradução livre) apontam que, num futuro próximo, as aplicações do BIM tendem a extrapolar o domínio dos profissionais da construção civil, alcançando também proprietários, gestores de

instalações, empreiteiros e fabricantes, ampliando significativamente seu alcance e utilidade.

Figura 6: esquema da Informação processada pela IA para a conclusão do BIM



Fonte: Lodge et al, 2023

A IA encontra interface principalmente nos desdobramentos da gestão de projetos e na correlação entre stakeholders. Lodge et al. (2023) destacam que, quando há colaboração efetiva entre as diversas equipes de projeto, com a premissa da retroalimentação constante de dados geoespaciais, em tempo real e históricos, é possível preencher automaticamente lacunas de conhecimento. À medida que a base de dados se expande, isso não só aumenta a eficiência, como também acelera a solução de problemas, promovendo uma gestão mais integrada e assertiva.

5.4. INTEROPERABILIDADE E PARAMETRIZAÇÃO

Um dos principais campos em que a IA pode encontrar aderência e oportunidades de aprimoramento dentro da modelagem BIM é a interoperabilidade, entendida como a capacidade de integrar diferentes grupos de softwares e projetos, bem como seus fluxos de informação respectivos. Essa integração é fundamental para o funcionamento eficiente do ecossistema digital na construção civil. Reis (2019) identifica diversas funções que a interoperabilidade pode desempenhar no contexto do BIM, incluindo:

- Space Linker: associação de informações macro e micro referentes a espaços urbanos;
- Enabler de Interoperabilidade: facilitador do compartilhamento de informações entre disciplinas e aplicativos;
- Data Store: armazenamento das informações ao longo do ciclo de vida do edifício;
- Procurement Facilitador: suporte às atividades relacionadas à aquisição de recursos durante o ciclo de vida do edifício;
- Apoiador: gerenciamento e uso compartilhado de informações em tempo real, com retroalimentação constante;
- Process Simulator: emulação virtual dos processos construtivos;

- Integrador de Sistemas: interlocução entre diversos sistemas de informação da indústria;
- Servidor: base de dados que fornece informações sob demanda em tempo real via internet;
- Green Builder: ferramenta para análises avançadas que apoiam o design e a construção sustentável e eficiente em termos energéticos.

Nesse contexto, os “objetos inteligentes” descritos por Succar (2009) — também chamados de parametrizados — são elementos centrais no BIM, destacando-se por sua conexão com dados reais que refletem as características físicas dos elementos modelados. Essa parametrização permite a incorporação de metadados, o que difere significativamente da representação bidimensional tradicional do CAD. Conforme Eastman et al. (2014), “a modelagem paramétrica possibilita a inclusão de parâmetros e regras relacionadas a características geométricas e dados cruciais dos objetos, como tipo de material, custo e propriedades de desempenho”. Por outro lado, a ausência de interoperabilidade pode comprometer o fluxo informacional, prejudicando as interações entre equipes e disciplinas na fase de projeto, e, conseqüentemente, gerando retrabalho e erros de interpretação (Leal & Silva, 2024). A complexidade da interoperabilidade no setor da construção exige soluções que garantam maior confiabilidade na troca de dados. Embora a IA ofereça potencial para integrar sistemas BIM e outras ferramentas de gestão, sua eficácia ainda depende da qualidade dos dados e da capacidade das organizações de adaptarem seus processos. Portanto, apesar dos avanços, a implementação da IA enfrenta desafios técnicos e culturais, muitas vezes de origem humana e que precisam ser superados para melhorar realmente a eficiência no gerenciamento de projetos.

5.5. TENDÊNCIAS NA APLICAÇÃO DA IA NO BIM

Uma das tendências mais evidentes na aplicação da IA ao BIM é a gestão de construções inteligentes e o planejamento integrado das obras, abrangendo desde a fase de projeto até o pós-obra. Essa abordagem contempla tanto novos empreendimentos quanto edificações existentes, fundamentando-se na premissa de que a plataforma BIM estabelece um modelo de trabalho pautado no gerenciamento integrado de informações.

Essa metodologia oferece diversas potencialidades, entre as quais se destacam: a detecção antecipada de conflitos multidisciplinares na etapa projetual, a otimização de custos e prazos, a realização de análises energéticas e o planejamento estratégico das fases de operação e manutenção. No entanto, observa-se que, em grande parte dos casos, os custos de operação e manutenção são considerados apenas na fase inicial do projeto, sem a adoção sistemática de ferramentas que apoiem a gestão ao longo da vida útil da edificação, o que compromete o desempenho a longo prazo.

A aplicação de algoritmos de IA permite a antecipação e mitigação de atrasos, por meio da análise de dados históricos e de fatores externos. Além disso, possibilita a proposição de contingências e o apoio à avaliação de riscos, contribuindo para a otimização do cronograma. Tais algoritmos também são capazes de identificar estratégias para o aprimoramento do sequenciamento de tarefas e de suas interdependências (HEIDARI et al., 2023). A incorporação dessas tecnologias aos novos projetos favorece mudanças procedimentais e estabelece uma nova relação com os processos construtivos, promovendo maior eficiência na gestão de atividades anteriormente realizadas de forma manual. Além da otimização do cronograma e da execução, a IA pode ser empregada para aprimorar a elaboração de orçamentos e outras tarefas correlatas à construção. Conforme aponta Padilha (2017), “as informações da construção serão associadas de forma paramétrica, e os quantitativos estarão diretamente relacionados ao projeto”, o que possibilita a extração de diversos elementos — como materiais, mão de obra e equipamentos — para a formulação de orçamentos preliminares e uma compreensão mais precisa dos custos ao longo do ciclo de vida da edificação. Essa abordagem também permite a avaliação da sustentabilidade e do desempenho energético, além de fornecer dados estratégicos ao usuário final. A integração entre IA e BIM, aplicada à gestão orçamentária e à análise de riscos, contribui para a consolidação do "modo de fazer" das organizações, promovendo a retroalimentação dos processos, a revisão de procedimentos e premissas, bem como a antecipação

de problemas e a simulação de cenários futuros. À medida que as bases de dados se expandem, torna-se viável identificar áreas de redução de custos sem comprometer a qualidade ou a segurança, além de avaliar riscos financeiros com potencial de impactar o empreendimento, utilizando métricas de desempenho fundamentadas em dados históricos e em informações atualizadas. Na fase pós-obra, o uso do Facility Management ou Gestão de Facilidades objetiva a coordenação do ambiente construído, oferecendo suporte às atividades de operação e manutenção para garantir a continuidade funcional. Para tanto, a modelagem da informação no setor da construção deve ser integrada e colaborativa, permitindo que todas as partes envolvidas atualizem e compartilhem dados ao longo do processo.

Como destacam Araújo et al. (2011), “com o BIM, um projeto complexo envolvendo muitos profissionais e muitas tecnologias pode ser facilmente gerenciado, pois facilita o processo colaborativo”. No entanto, a adoção dessas tecnologias requer mudanças significativas nos hábitos dos usuários e na relação com os processos construtivos, considerando que a digitalização e o aprimoramento de atividades anteriormente manuais podem resultar em ganhos substanciais de eficiência gerencial.

Observa-se, entretanto, que a aplicação do BIM ainda se concentra, em grande medida, nas fases iniciais do ciclo de vida das edificações — planejamento, projeto e construção. Volk et al. (2014) ressaltam a crescente importância das etapas posteriores, tais como manutenção, reforma, desconstrução e o encerramento da vida útil das edificações, especialmente em estruturas mais complexas. Dado que as construções existentes representam a maior parcela dos conglomerados urbanos, seu desempenho frente às exigências ambientais, operacionais e de manutenção pode apresentar desgastes e anomalias, configurando um mercado promissor para o desenvolvimento de soluções inovadoras.

Para atender a essa demanda crescente, o setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) tem buscado a integração de ferramentas automatizadas ao ambiente BIM, com o intuito de reduzir os custos operacionais e promover maior controle sobre o desempenho ao longo do tempo. Apesar da existência de diversos plugins e softwares que oferecem suporte a essas funcionalidades, a inovação tecnológica no setor caracteriza-se por um ciclo contínuo de evolução e obsolescência, exigindo constante atualização dos recursos e processos utilizados. Nesse cenário, torna-se imprescindível que os profissionais do setor adotem uma postura proativa de aprendizado contínuo, voltada à capacitação técnica e à adaptação às mudanças tecnológicas. Conforme ressaltam Lodge et al. (2023), a eficácia da interação entre humanos e sistemas tecnológicos depende da qualidade e consistência do fluxo de informações compartilhadas, o que reforça a necessidade de constante estudo, revisão de práticas e atualização dos recursos disponíveis no mercado.

6.0. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O USO DO BIM E A APLICAÇÃO DA IA

A busca por maior eficiência nas etapas de projeto, planejamento, execução e manutenção das edificações, aliada à necessidade de otimização dos recursos disponíveis, tem levado o setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) a intensificar os investimentos em tecnologias digitais. Dentre essas tecnologias, destaca-se o BIM, cuja adoção tem crescido progressivamente no Brasil, assim como o interesse pela aplicação de soluções baseadas em IA (SANTOS, 2024). Apesar de seu potencial transformador, a aplicação do BIM e da IA ainda ocorre de forma incipiente no contexto nacional. Contudo, tais ferramentas possibilitam a integração de diferentes disciplinas técnicas em um modelo federado, promovendo um ambiente de dados compartilhados com maior precisão e coordenação entre os agentes envolvidos. Essa abordagem favorece uma gestão mais eficiente das informações ao longo de todo o ciclo de vida da edificação, representando um avanço significativo para o setor. Entretanto, conforme aponta Manzione (2024), a incorporação dessas tecnologias impõe desafios de ordem técnica, organizacional e cultural que precisam ser enfrentados.

A implementação do BIM no Brasil tem ocorrido de maneira gradual, ainda que as projeções apontem para uma expansão consistente nos próximos anos. Tal cenário pode ser atribuído à complexidade de sua adoção, à necessidade de soluções projetuais mais eficazes e à reestruturação dos fluxos de trabalho tradicionalmente estabelecidos. Para Eastman et al. (2014), a transição para o BIM demanda uma mudança de paradigma nos aspectos humanos, processuais e tecnológicos, exigindo a superação da zona de conforto e a adaptação a um modelo integrado, baseado em processos tridimensionais.

Do ponto de vista cultural, observa-se que a indústria da construção civil ainda opera majoritariamente com estruturas organizacionais baseadas em associações temporárias de equipes. Esse modelo, aliado à falta de clareza quanto às

responsabilidades e aos benefícios tangíveis do uso do BIM, tem gerado hesitação por parte de profissionais e empresas (MANZIONE, 2013). A prática recorrente de formar equipes provisórias para atender demandas pontuais reflete uma cultura voltada à execução imediata, em detrimento da construção de conhecimento institucional. Essa estrutura fragmentada, marcada pela subcontratação e vínculos de curta duração, compromete a formação de equipes coesas e a consolidação de práticas colaborativas sustentáveis. Manzione (2024) ressalta que “a estrutura organizacional baseada em equipes temporárias prioriza a entrega e não o desenvolvimento; por isso, as empresas do setor AEC, via de regra, utilizam seus profissionais em vez de formá-los ou retê-los”. Tal lógica evidencia um entrave estrutural persistente, mesmo diante da incorporação de tecnologias integradoras como o BIM e a IA. A superação desse modelo demanda uma transformação cultural profunda, que vá além da simples adoção de ferramentas digitais e promova uma reconfiguração das relações profissionais e dos valores organizacionais.

No que compete ao incentivo institucional, destaca-se o papel do governo federal na promoção do BIM, por meio da “Estratégia Nacional BIM”, lançada em 2018, que estabeleceu diretrizes e prazos para a adoção da metodologia em projetos públicos. Mais recentemente, com a entrada em vigor da Lei n.º 14.133/2021, um novo marco legal passou a orientar as contratações públicas, incluindo a priorização do uso do BIM nos processos licitatórios para obras públicas, o que representa um avanço importante rumo à consolidação da tecnologia.

Ainda assim, a adoção do BIM permanece limitada, e esse cenário não pode ser atribuído à ausência de iniciativas de divulgação ou marketing. A tecnologia ainda exige investimentos substanciais em softwares, hardwares e capacitação profissional. Soma-se a isso a escassez de mão de obra qualificada, tanto na formação inicial quanto na atualização dos profissionais atuantes, acentuada pelas desigualdades regionais no acesso a recursos. Essa disparidade compromete a padronização na implementação do BIM, exigindo investimentos significativos para

viabilizar sua adoção plena. Além disso, a elevada curva de aprendizado, aliada à obsolescência rápida de algumas ferramentas, impõe uma exigência de fluência técnica que pode impactar negativamente a agilidade operacional, fomentando resistência e limitando a efetividade da metodologia.

No que se refere à IA, os desafios se assemelham aos enfrentados com o BIM, especialmente no que diz respeito à formação de profissionais e à ausência de regulamentações específicas. Questões como privacidade de dados, direitos autorais, integridade das aplicações e retroalimentação dos sistemas ainda carecem de normatização clara, inclusive em âmbito internacional. No entanto, a IA configura-se como uma tecnologia emergente de elevado potencial para o setor, especialmente quando integrada ao BIM, oferecendo soluções promissoras para o aprimoramento da produtividade, sustentabilidade e precisão dos projetos da construção civil.

Apesar de sua crescente popularidade, é fundamental reconhecer que a IA representa uma ferramenta de apoio, cujo valor depende do conhecimento técnico que a fundamenta. Há o risco de que analistas e profissionais tornem-se apenas operadores dessas tecnologias, negligenciando o aprofundamento teórico, o domínio normativo e a capacidade crítica imprescindíveis para uma atuação técnica de excelência. A precarização do capital humano, nesse contexto, pode comprometer a qualidade dos projetos e a segurança das obras. Assim, torna-se essencial distinguir entre os profissionais que apenas utilizam ferramentas digitais e aqueles que dominam os fundamentos técnicos e tomam decisões embasadas, assegurando que o avanço tecnológico esteja aliado à competência técnica e ao julgamento crítico.

Outro fator relevante diz respeito à cultura organizacional vigente no setor da AEC. Muitos gestores ainda demonstram uma compreensão limitada dos processos de gestão, não incorporando os aspectos técnicos e estratégicos necessários ao desenvolvimento de suas equipes. Observa-se, nesse cenário, uma tendência à

adoção de soluções imediatistas e superficiais, em detrimento de abordagens mais analíticas e integradas. Essa prática compromete o desenvolvimento profissional contínuo e o aprimoramento crítico dos colaboradores — aspectos indispensáveis para o sucesso na implementação de tecnologias complexas como o BIM e a IA.

6.1.CONCLUSÃO

Como evidenciado ao longo desta pesquisa, o setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) representa uma parcela expressiva do Produto Interno Bruto (PIB) nacional e, no contexto brasileiro, assume papel estratégico na estabilidade econômica. Além de empregar significativo contingente de mão de obra direta e indireta, exerce forte influência na alocação de recursos e investimentos, funcionando como importante termômetro da saúde do mercado.

Por constituir uma força motriz da economia, o setor acompanha os ciclos de crescimento e retração, o que reforça a necessidade de consolidá-lo como agente estratégico de transformação. Nesse sentido, a incorporação de tecnologias digitais, como o BIM e a IA, apresenta-se como uma oportunidade concreta de modernização e aprimoramento sistêmico, permitindo articular o conhecimento técnico tradicional à gestão eficiente de recursos — sejam eles financeiros, materiais, ambientais ou políticos. A presente pesquisa teve por objetivo compreender o papel do BIM no atual contexto de expansão da IA, analisando seu impacto e aplicação ao longo das etapas de desenvolvimento de projetos na construção civil. Por meio de revisão bibliográfica e análise documental, foi traçado um panorama da evolução histórica dessas tecnologias, suas influências políticas e econômicas, bem como os desafios específicos de sua implementação no cenário nacional. Reconhece-se que a rapidez das transformações tecnológicas e a obsolescência de ferramentas — como determinados softwares e plugins — impõem limitações à consolidação de um referencial teórico definitivo, indicando que o tema permanece em constante desenvolvimento.

Constatou-se que o BIM e a IA, mais do que tendências tecnológicas, configuram-se como instrumentos promissores para fomentar produtividade, eficiência e inovação sustentável no setor construtivo. Todavia, diversos entraves estruturais e culturais ainda dificultam sua adoção plena. Entre os principais obstáculos, destacam-se o alto custo dos softwares e equipamentos — agravado pela instabilidade cambial —, a ausência de políticas comerciais diferenciadas para países em desenvolvimento e a lacuna geracional entre profissionais experientes, mas com pouca familiaridade digital, e jovens tecnicamente atualizados, porém ainda carentes de repertório prático e normativo.

Adicionalmente, o ritmo acelerado do mercado atual, com prazos curtos e exigência por entregas rápidas, dificulta a aplicação estruturada dessas ferramentas, comprometendo a qualidade de sua utilização. Exemplo disso é a popularização da modelagem 3D, importante avanço, mas que, isoladamente, não reflete o escopo completo da metodologia BIM, a qual propõe um modelo colaborativo e integrado para todas as fases do empreendimento (LEAL; SILVA, 2024). De forma semelhante, a IA emerge como recurso estratégico, ao oferecer soluções algorítmicas para os desafios cotidianos da construção civil.

Dessa forma, torna-se fundamental investir na formação de profissionais com pensamento crítico e visão sistêmica, aptos a compreender as tecnologias digitais como ferramentas de gestão de dados complexos, indo além do simples domínio operacional. A qualificação técnica, aliada à capacidade analítica e à habilidade decisória, será determinante para o êxito da transformação digital no setor.

É igualmente imprescindível promover a conscientização de lideranças e gestores quanto ao caráter estratégico dessas tecnologias, mesmo quando sua aplicabilidade imediata ainda não esteja plenamente incorporada à rotina empresarial. No campo da gestão de projetos, por exemplo, a integração entre BIM e IA desponta como tendência irreversível. O relatório *PwC AI Job Barometer (2024)* evidencia esse

movimento ao apontar crescimento expressivo na demanda global por profissionais qualificados em ferramentas digitais — especialmente na área de gestão, que já representa aproximadamente 20% das oportunidades relacionadas à IA, com taxas de crescimento econômico até 3,5 vezes superiores à média em empresas que adotaram essas soluções.

Diante desse cenário, é possível afirmar que o setor da construção civil necessita de uma adaptação urgente para usufruir plenamente da convergência entre tecnologias digitais e gestão estratégica. Essa transição requer investimentos contínuos em capacitação, mudanças culturais e revisão de processos, de modo a promover um ambiente mais propício à inovação. Ainda que de forma gradual, tal integração já começa a redefinir padrões operacionais, ampliar a autonomia criativa dos profissionais e estabelecer novos referenciais de atuação.

Por fim, cabe questionar se a integração entre o BIM e a IA representa, em termos contemporâneos, a materialização do antigo ideal do “ajudante autônomo” dos gestores de projetos — uma busca milenar que remonta aos autômatos da mitologia grega, personificados por Hefesto, deus da forja. Tal metáfora evidencia o potencial inovador e transformador dessas tecnologias, cujo alcance prático ainda está em plena fase de descoberta e desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

ALGAYER, T. A. **Gerenciamento da informação baseado em um modelo BIM - FN para a gestão da manutenção**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – UFSC, Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/215663>. Acesso em: 2 set. 2023.

ALMEIDA, M. I. S. de. **Inteligência artificial como instrumento de governança radical para organizações públicas**. Brasília: Enap, 2023. 80 p. il. (Cadernos Enap, 127; Coleção: Cátedras 2021). ISSN 0104-7078.

AL-GHAMDI, S.; AL RASHID, A.; KHAN, A. S.; KOÇ, M. **Additive manufacturing: Technology, applications, markets, and opportunities for the built environment**. *Automation in Construction*, v. 118, p. 103268, 2020.

AZHAR, S.; LEUNG, B. H. I.; MOK, J. Y. N.; NADEEM, A. **Building information modeling (BIM): A new paradigm for visual interactive modeling and simulation for construction projects**. In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS, 2012. Proceedings... Reston: ASCE, 2012. p. 950–959. Disponível em: <https://doi.org/10.1061/9780784412329.096>. Acesso em: 27 maio 2025.

BAGNALL, R.; BRODERSEN, K.; CHAMPION, K. B.; ERSKINE, A. HUEBNER, S. R.; **The Encyclopedia of Ancient History**. (1ª ed.) Wiley-Blackwell, 2012.

BASSIR, D.; CHANG, H.; CHEN, G.; LODGE, H.; MAJAK, J. **Application of artificial intelligence and machine learning for BIM: review**. *International Journal for Simulation and Multidisciplinary Design Optimization*, v. 14, p. 5, 2023. DOI: 10.1051/smdo/2023005. Disponível em: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-04145095>. Acesso em: 27 maio 2025.

BITTENCOURT, G. **Inteligência artificial: ferramentas e teorias**. 2. ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001.

BRASIL. Decreto nº 9.377, de 17 de maio de 2018. **Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling**. Diário Oficial da União, Brasília, 18 mai. 2018. Seção 1, p. 3.

BREVE histórico do BIM. [S. l.]: Saepro, 2021. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/saepro/saepro-2/conheca-o-projeto/breve-historico-do-bim/>. Acesso em: 2 set. 2023.

CARABATEA, M. **Greek mythology**. Peania: Pergamos, 2007.

CASTRO, A. B. **Autômatos: a mecânica como imitação da vida**. In: *Anais do VII Seminário Nacional de Pesquisa em Arte e Cultura Visual*, Brasil, p. 91–101, 1 jun. 2014. ISSN 2316-6479. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/778/o/2014-eixo1_8_automatos-_a_mecanica_como_imitacao_da_vida.pdf. Acesso em: 2 jun. 2024.

DESCARTES, R. **Le Discours de la Méthode: O discurso do método**. Tradução e revisão: GALVÃO, M. E.; STAHEL, M. 3. ed. rev. São Paulo: Livraria Martins Fontes, 2001. ISBN 85-336-0551-X.

DIGITAL PROGRESS AND TRENDS REPORT 2024: **Relatório do Grupo Banco Mundial**. Washington, DC: [s. n.], 2024. Disponível em: <https://www.worldbank.org/pt/news/press-release/2024/03/05/accelerated-by-covid-and-ai-global-digital-landscape-remains-uneven>. Acesso em: 15 jun. 2024.

EASTMAN, C.; LISTON, K.; SACKS, R.; TEICHOLZ, P. **BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. 2. ed. Weinheim: Wiley, 2011. ISBN 9780470541371.

FORD, S.; AOUAD, G.; BRANDON, P.; BROWN, F.; CHILD, T.; COPPER, G.; KIRKHAM, J.; OXMAN, R.; YOUNG, B. . **The object oriented modeling of building design concepts**. 29. ed. [S. l.]: Elsevier, 1994. p. 419. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0360132394900019>. Acesso em: 2 set. 2023.

GASPAR, J. A. da M. **O significado atribuído ao BIM ao longo do tempo**. 2019. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) – Universidade Estadual de Campinas, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2019.1096405>. Acesso em: 14 set. 2024.

GELLI, F. **IA generativa e a terceirização da imaginação**. [S. l.]: 18 set. 2024. Disponível em: <https://fastcompanybrasil.com/coluna/ia-generativa-e-a-terceirizacao-da-imaginacao/>. Acesso em: 18 jul. 2024.

HEIDARI, A.; PEYVASTEGHAR, Y.; AMANZADEGAN, M. **A systematic review of the BIM in construction: from smart building management to interoperability of BIM & AI**. *Architectural Science Review*, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00038628.2023.2243247>. Acesso em: 27 maio 2025.

HSU, F. **Behind Deep Blue: Building the computer that defeated the world chess champion**. Princeton: Princeton University Press, 2002. ISBN 0-691-09065-3.

JUNKES, V.; LERMEN, F. H.; MARCELINO, A. C.; MATOS, C. **Gestão de projetos na construção civil: estudo de caso em obras públicas**. *Produto & Produção*, v. 23, n. 1, p. 87–99, 2022.

KERN, A. P.; FORMOSO, C. T. **Integração dos setores de produção e orçamento na gestão de custos de empreendimentos de construção civil**. *Revista Tecnologia (UNIFOR)*, v. 25, n. 1, p. 11–17, 2004.

Kuipers, Martijn & Prasad, Ramjee. (2022). **Journey of Artificial Intelligence. Wireless Personal Communications**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Artificial-Intelligence-timeline-before-the-term-arti>

ficial-intelligence_fig1_355759683. Acesso em 25 jun. 2025

LEAL, E. F.; SILVA, L. G. P. da. **Revolucionando o setor da construção: a sinergia entre tecnologia BIM, modelagem da informação da edificação e inteligência artificial**. Integrar: Revista Acadêmica *CEI*, v. 2, p. 1–6, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.12610435>. Acesso em: 18 jul. 2024.

LOSANO, M. G. **História de autômatos: da Grécia antiga à Belle Époque**. São Paulo: Companhia das Letras, 1992.

McCULLOCH, W. S.; PITTS, W. **A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity**. Bulletin of Mathematical Biophysics, v. 5, p. 115–133, 1943. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF02478259>. Acesso em: 2 jun. 2024.

MIOTO, R. C. T.; LIMA, T. C. S. de. **Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica**. Revista *Katálysis*, v. 10, n. especial, p. 37–45, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rk/a/HSF5Ns7dkTNjQVpRyvvhc8RR/?format=pdf>. Acesso em: 29 mar. 2025.

MOOR, J. **The Dartmouth College Artificial Intelligence Conference: The Next Fifty Years**. Disponível em: The Dartmouth College Artificial Intelligence Conference: The Next Fifty Years. Acesso em: 25 jun. 2025

NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES – NIBS. **National Building Information Modeling Standard version 1 – Part 1: Overview, principles and methodologies**. 2008. 183 p. Disponível em: https://buildinginformationmanagement.files.wordpress.com/2011/06/nbimsv1_p1.pdf. Acesso em: 2 set. 2023.

OVER 100 DATA AND ANALYTICS PREDICTIONS THROUGH 2028. [S. l.]: Gartner, 2023. Disponível em: <https://www.gartner.com/en/doc/over-100-data-and-analytics-predictions-through-2028>. Acesso em: 2 set. 2023.

PADILHA, I. J. S. **BIM: introdução ao sistema e seus benefícios para o mercado da construção civil na cidade de Maceió-AL.** Revista On-line IPOG, dez. 2017.

PENTTILÄ, H.; RAJALA, M.; FREESE, S. **Building information modelling of modern historic buildings.** In: Proceedings of the 25th eCAADe Conference, Frankfurt am Main, Germany, p. 607–613, 2007. Disponível em: http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2007_124.content.pdf.

PWC. AI Job Barometer: How will AI affect jobs, skills, wages, and productivity? [S. l.]: PwC, 2024. Disponível em: <https://www.pwc.com/gx/en/issues/artificial-intelligence/job-barometer/report.pdf>. Acesso em: 26 out. 2024.

REIS, E. da S. **Utilização da tecnologia BIM no desenvolvimento das fases de operação e manutenção das edificações.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/26332/1/CT_TECBIM_I_2019_07.pdf. Acesso em: 2 set. 2023.

SAURIN, T. A.; FORMOSO, C. T. **Planejamento de canteiros de obra e gestão de processos.** Recomendações Técnicas HABITARE, v. 3, 2006.

SHELLEY, M. W.. **Frankenstein; or, The modern Prometheus.** Londres: Lackington, Hughes, Harding, Mavor & Jones, 1818.

STEEL, J.; DROGEMULLER, R.; TOTH, B. **Model interoperability in building information modelling. Software & Systems Modeling**, v. 11, n. 1, p. 99–109, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10270-010-0178-4>.

SUCCAR, B. **Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders**. Automation in Construction, 2009. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2942066/mod_resource/content/1/2009-Building_information_modelling_framework.pdf. Acesso em: 2 set. 2023.

TURING, A. **Computing machinery and intelligence**. Mind, v. LIX, n. 236, p. 433–460, 1950. Disponível em: <https://academic.oup.com/mind/article/LIX/236/433/986238>. Acesso em: 8 jun. 2024.

UNDERWOOD, J.; ISIKDAG, U. **Handbook of research on building information modeling and construction informatics: concepts and technologies**. New York: Information Science Reference, 2010. 756 p.

VALLANCE, C. **ARTE está morta: o polêmico boom de imagens geradas por inteligência artificial**. [S. l.]: 18 set. 2024. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-62949698>. Acesso em: 18 jul. 2024.

VAUGHAN, J. LLEMING, M. L.I. **Cost-benefit analysis of construction information management system implementation: case study**. Journal of Construction Engineering and Management, v. 139, n. 4, p. 445–455, 2013.

VOLK, R.; STENGEL, J.; SCHULTMANN, F. **Building information modeling (BIM) for existing buildings — literature review and future needs**. Automation in Construction, v. 38, p. 109–127, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092658051300191X>. Acesso em: 2 nov. 2024.