

De 11 a 14 - NOVEMBRO DE 2024

**Inteligência Artificial
na Gestão de Operações:**
Limitações e possibilidades



EXPLORANDO A SINERGIA ENTRE BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) E INTERNET DAS COISAS (IOT): UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

SANTOS, HUGO – hkramer.en@gmail.com
CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI

CLAUDIA APARECIDA DE MATTOS - cmattos@fei.edu.br
CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI

ÁREA: 6. ENGENHARIA ORGANIZACIONAL.
SUBÁREA: 6.7 GESTÃO DA TECNOLOGIA.

RESUMO: *Este estudo tem por objetivo mapear a literatura sobre a integração entre Building Information Modeling (BIM) e Internet das Coisas (IoT), destacando a evolução, as aplicações práticas e as tendências futuras dessa convergência tecnológica. A pesquisa foi conduzida através de uma análise bibliométrica para avaliar a produção científica relacionada ao tema de 2016 a 2024, identificando 126 artigos relevantes indexados na base de dados Scopus. A análise revelou um crescente interesse acadêmico no BIM, especialmente em 2023, e destacou cinco clusters temáticos. Os resultados sugerem que, apesar do progresso significativo, existem oportunidades a serem exploradas. Conclui-se que a integração de BIM e IoT tem um potencial transformador para a construção e gestão de infraestruturas urbanas, oferecendo melhorias em eficiência, segurança e sustentabilidade. A abordagem dessas oportunidades pode ampliar ainda mais os benefícios dessas inovações, promovendo um desenvolvimento para a engenharia de construção e de produção.*

PALAVRAS-CHAVES: *BUILDING INFORMATION MODELING (BIM); INTERNET DAS COISAS (IOT); INDUSTRIA DE CONSTRUÇÃO; INOVAÇÃO TECNOLÓGICA.*

1. INTRODUÇÃO

A transformação digital tem permeado diversos setores ao longo das últimas décadas, acompanhando a evolução tecnológica e a transformação das necessidades de produtos e serviços (Nagy et al., 2018). Este fenômeno não é exclusivo das grandes corporações, mas também é essencial para pequenas e médias empresas que buscam se manter competitivas no mercado globalizado.

No contexto da transformação está o Building Information Modeling (BIM), uma metodologia que revoluciona a concepção, construção e gestão de projetos no setor de arquitetura, engenharia e construção (AEC) (Celoza et al., 2023). O BIM traz benefícios significativos, desde a redução de custos e tempo de construção até a melhoria na colaboração entre os diversos stakeholders, além de ser crucial para a sustentabilidade ambiental (Azhar et al., 2011).

O BIM representa mais do que uma ferramenta de software; é uma nova forma de praticar arquitetura, engenharia e construção, impulsionada pela demanda por eficiência, sustentabilidade ambiental, redução de custos e mitigação de riscos (Succar, 2009).

Além disso, o BIM está cada vez mais integrado a outras tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT). A integração entre BIM e IoT oferece novas possibilidades para a indústria da construção, fornecendo informações em tempo real sobre o desempenho e a utilização dos espaços, facilitando uma melhor tomada de decisão ao longo do ciclo de vida do projeto (Lee et al., 2020).

Este estudo tem por objetivo mapear a literatura sobre a integração entre Building Information Modeling (BIM) e Internet das Coisas (IoT), destacando a evolução, as aplicações práticas e as tendências futuras dessa convergência tecnológica. A relevância do tema para a engenharia de produção reside na sua capacidade de otimizar processos, aumentar a eficiência e promover a sustentabilidade, aspectos cruciais para o desenvolvimento de projetos inovadores e competitivos.

Portanto, a pergunta chave que orienta este trabalho é: "Quais são as tendências de pesquisa da relação entre Building Information Modeling (BIM) e Internet das Coisas (IoT)?"

2. REVISÃO DE LITERATURA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A construção civil enfrenta desafios contínuos em eficiência, produtividade e sustentabilidade. Nos últimos anos, a integração de duas tecnologias emergentes tem se mostrado promissora para impulsionar a transformação digital desse setor: o Building Information Modeling (BIM) e a Internet das Coisas (IoT). O BIM e a IoT permitem uma gestão mais precisa e integrada dos projetos, facilitando a colaboração entre diferentes disciplinas e melhorando a tomada de decisões (Wang et al., 2022). Isso resulta em uma maior produtividade, redução de custos e avanços na sustentabilidade, beneficiando amplamente tanto o setor da construção quanto a engenharia de produção. Conforme destacado por Liu et al. (2020), a combinação de BIM e IoT oferece novas possibilidades para monitoramento em tempo real e gerenciamento eficiente de recursos, elevando o nível de inovação na engenharia de produção.

2.1 O que é o Building Information Modeling (BIM)?

O Building Information Modeling (BIM) é descrito pelo National BIM Standard-United States Project Committee (NBIMS-US, 2020) como uma representação digital das características físicas e funcionais de um objeto. Este modelo atua como um recurso central de conhecimento, oferecendo uma base confiável para decisões ao longo de todo o ciclo de vida do objeto, desde a concepção até a demolição. A definição sublinha a função do BIM como um núcleo de informações que facilita decisões informadas e eficazes em todas as etapas do projeto.

Essa visão é corroborada pela Autodesk (2023), que descreve o BIM como um processo holístico de criação e gerenciamento de informações para um recurso construído. Com base em um modelo inteligente e habilitado por uma plataforma na nuvem, o BIM integra dados estruturados e multidisciplinares para produzir uma representação digital de um recurso em todo seu ciclo de vida, desde o planejamento e o projeto até a construção e as operações.

Segundo Bilal et al. (2016), o BIM é uma metodologia que vai além da simples criação de modelos tridimensionais, abrangendo também a gestão de informações do ciclo de vida do projeto. "O BIM permite a integração de várias disciplinas e processos, melhorando a eficiência, a qualidade e a colaboração em projetos de construção". Esse enfoque reforça a capacidade do BIM de conectar diferentes stakeholders e fases do projeto através de uma

plataforma de dados comum. Além disso, Azhar (2011) argumenta que o BIM oferece uma plataforma para a colaboração eficiente entre todos os stakeholders de um projeto, desde arquitetos e engenheiros até construtores e operadores. Ele afirma que "o BIM facilita a comunicação e a coordenação entre as equipes, reduzindo erros e retrabalhos, o que resulta em economia de tempo e custos".

2.2 O Que é a Internet das Coisas (IoT)?

A Internet das Coisas (IoT) refere-se à interconexão de dispositivos físicos, veículos, eletrodomésticos e outros objetos incorporados com sensores, software e conectividade de rede. Essa interconexão permite a coleta, troca e análise de dados em tempo real, abrindo possibilidades sem precedentes para monitoramento e controle inteligente de sistemas e ambientes. Segundo Xu, He e Li (2018), a IoT envolve "dispositivos inteligentes" equipados com chips, RFID, sensores ou outros dispositivos capazes de se conectar em rede e compartilhar dados. A principal ideia por trás da IoT é que, nas últimas décadas, as tecnologias de informação e telecomunicações evoluíram significativamente. O objetivo é construir observações precisas e de longo prazo utilizando métodos analíticos complexos para criar melhores soluções de planejamento, operação, otimização e manutenção. Em suma, a IoT refere-se à interconexão de dispositivos físicos que coletam e trocam dados através da internet. Esses dispositivos incluem desde eletrodomésticos e veículos até sensores industriais e equipamentos médicos, todos equipados com tecnologia de comunicação para interagir e compartilhar informações.

Como destacam Li et al. (2019), a IoT "permite a comunicação de máquina para máquina e a automatização de processos, melhorando a eficiência e a coleta de dados em tempo real". Essa capacidade de conectar e gerenciar dispositivos de forma inteligente está transformando diversos setores, incluindo a construção civil e a engenharia de produção, ao permitir maior controle, automação e análise de dados.

2.3 Como funciona a integração entre BIM e IoT

A integração entre BIM e IoT tem se mostrado promissora para aprimorar a eficiência e a gestão de operações na indústria da construção. Conectar fluxos de dados em tempo real com modelos BIM de alta fidelidade oferece diversas aplicações potenciais, desde a gestão e controle de sistemas de iluminação até a segurança e eficiência de construções complexas (Tang et al., 2019; Delgado e Caicedo, 2018; Lu et al., 2020).

Esses estudos revelam o potencial transformador da integração entre BIM e IoT na

criação de ambientes construídos mais inteligentes e sustentáveis. Em suma, explorar as tendências de pesquisa nesse campo é essencial para identificar lacunas e direções futuras, aprimorando a eficiência, produtividade e sustentabilidade, tanto na indústria da construção quando na engenharia de produção.

3.0 METODOLOGIA

Este estudo será conduzido utilizando uma abordagem de análise bibliométrica, uma metodologia quantitativa amplamente utilizada para avaliar a produção científica em um determinado campo de estudo (Moed, 2005). A análise bibliométrica é uma técnica poderosa que permite quantificar e visualizar padrões de produção, colaboração e impacto dentro de uma área específica de pesquisa (Aria & Cuccurullo, 2017).

A população objeto deste estudo será composta por artigos científicos relacionados ao tema Building Information Modeling (BIM). A seleção desses artigos será realizada em bases de dados acadêmicas, como o Scopus, utilizando termos de busca relevantes, como "Building Information Modeling", "BIM", "Technology" e "IoT".

O plano amostral envolverá a escolha de uma amostra representativa de artigos, levando em conta critérios de relevância e qualidade. Artigos que não estejam diretamente ligados ao tema ou que não cumpram os critérios de inclusão previamente estabelecidos serão descartados. A definição desses critérios será fundamentada em estudos anteriores que empregaram metodologias de análise bibliométrica semelhantes (Lopez-Rocha & Isaza-Castro, 2017).

Para garantir a relevância dos dados, focaremos exclusivamente em artigos científicos, excluindo artigos de conferências e outras formas de comunicação acadêmica. Todos os artigos selecionados serão restritos ao idioma inglês, devido à sua predominância na comunicação científica internacional (Leydesdorff & Wagner, 2009). Além disso, limitaremos a seleção a artigos publicados posteriormente a 2016, para analisar o cenário atual e tendências futuras no campo de estudo.

A coleta de dados será realizada utilizando o software VosViewer, amplamente utilizado por pesquisadores para análise bibliométrica e visualização de redes de conexão de palavras (Aria et al., 2017; Van Eck & Waltman, 2010). Essa ferramenta permitirá a análise de alguns aspectos da produção científica, incluindo autoria, citações, palavras-chave e redes de coautoria.

4.0 RESULTADOS

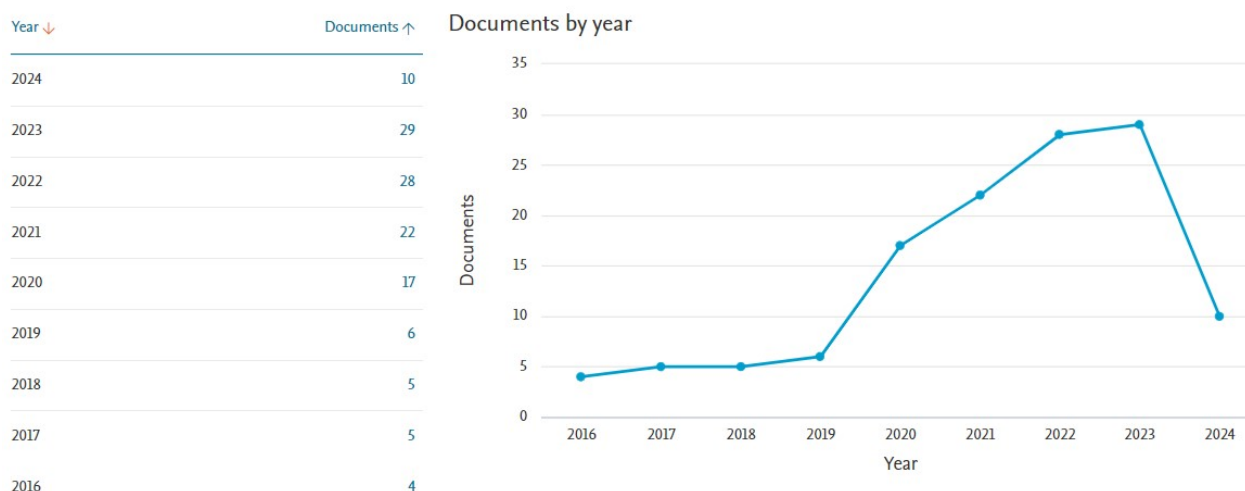
De 2016 a 2024, o Building Information Modeling (BIM) tem ganhado crescente atenção na literatura acadêmica, destacando sua importância e impacto na indústria da construção. A Figura 01 mostra a quantidade de artigos publicados durante esse período. A análise bibliométrica selecionou 126 artigos sobre BIM publicados em diversas revistas indexadas na base de dados Scopus. Podemos ver, com base na Figura 1, que essa combinação de palavras atingiu um pico de 29 artigos publicados em 2023.

Essa análise revela uma tendência crescente de interesse e pesquisa sobre BIM durante o período analisado. Esse aumento pode ser atribuído à adoção crescente do BIM, reconhecido como uma ferramenta vital para melhorar a eficiência, a qualidade e a sustentabilidade na construção civil.

Os cinco artigos mais referenciados nesse campo acumularam mais de 140 citações cada, demonstrando o significativo interesse tanto da academia quanto dos profissionais da área. Esse volume de citações sublinha a importância e a influência das pesquisas desenvolvidas em torno do BIM.

Além disso, observamos um crescimento contínuo na produção científica sobre BIM, indicando um campo de estudo em constante evolução e expansão. Até 2019, a pesquisa sobre BIM era relativamente limitada, mas desde então, houve um aumento significativo na produção de artigos, indicando uma maior conscientização e reconhecimento da importância do BIM na construção civil.

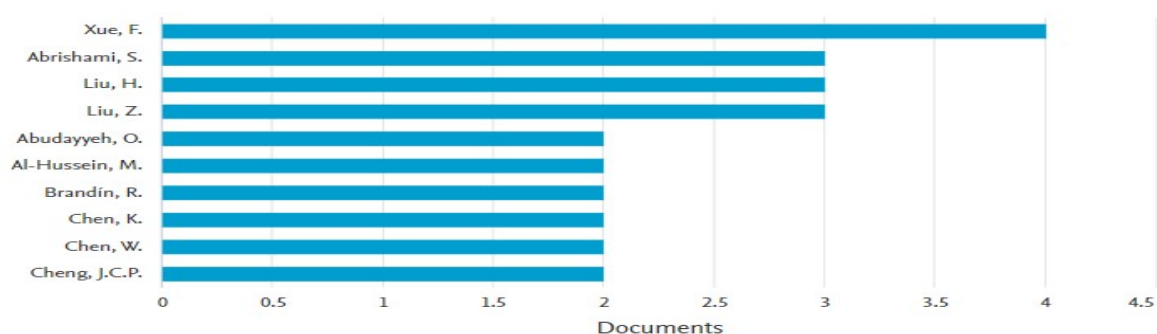
FIGURA 1 - Indicador de quantidade de publicações por ano.



Fonte: Elaboração Autoral a partir de Base de Dados extraída do Scopus.

A análise do gráfico da Figura 2 revela que o autor com mais publicações relacionadas ao tema é o sr. Xue, Fan, com quatro artigos publicados entre 2016 e 2024. Dentre suas publicações, duas possuem mais de 285 citações e duas mais de 100 citações, indicando sua significativa contribuição para as pesquisas sobre BIM e Internet das Coisas. Notavelmente, Xue, Fan é coautor do artigo com maior número de citações nesta bibliometria, "Prefabricated construction enabled by the Internet-of-Things", que recebeu, até o momento da pesquisa 294 citações.

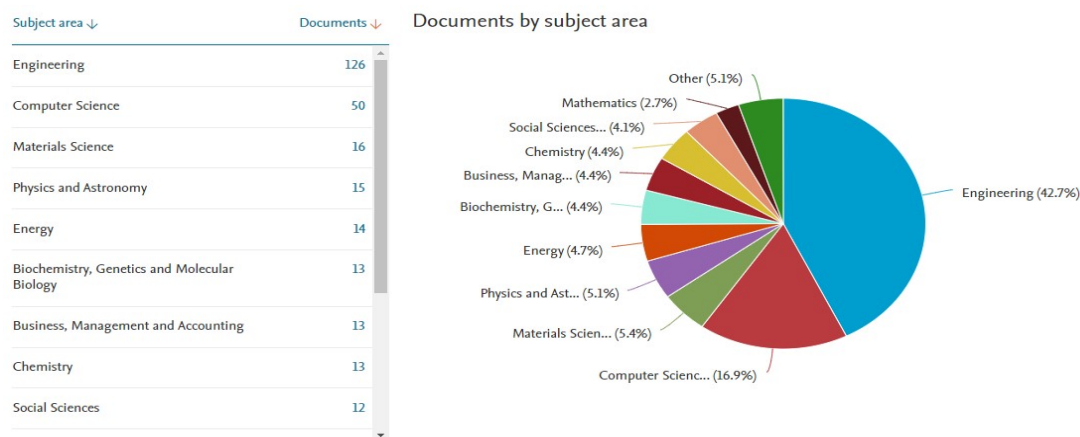
FIGURA 2 - Indicador de quantidade de publicações por ano.



Fonte: Elaboração Autoral a partir de Base de Dados extraída do Scopus.

A Figura 3 mostra que a área de engenharia tem atraído um interesse considerável, refletido na quantidade substancial de publicações e estudos que abordam o uso e as aplicações do BIM no contexto da engenharia. Portanto, adotamos como critério para nossa análise bibliométrica a concentração das pesquisas dentro das disciplinas de engenharia.

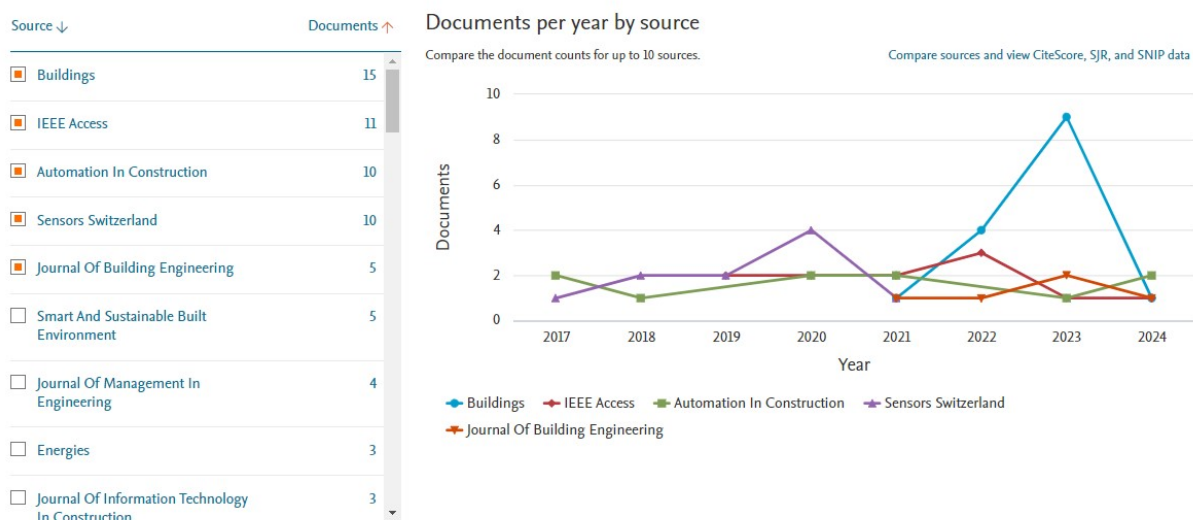
FIGURA 3 - Gráfico de Documentos por Área de Pesquisa.



Fonte: Elaboração Autoral a partir de Base de Dados extraída do Scopus.

Analisando a Figura 4, podemos concluir que a maior fonte de publicação sobre o tema BIM é a revista "Buildings", que contribuiu com 15 artigos para nossa análise. Esta revista se destaca não apenas pela quantidade de publicações, mas também por seu elevado prestígio, evidenciado pelo percentil 83 na área de Arquitetura. Isso sublinha a importância da "Buildings" como um veículo de disseminação de conhecimento e avanços tecnológicos relacionados ao BIM. Em seguida, a "IEEE Access" aparece como a segunda maior fonte com 11 artigos. Possuindo um impressionante percentil 92 em engenharia de forma geral, essa revista reforça sua relevância e qualidade nas pesquisas publicadas. A terceira fonte é a revista "Automation in Construction", que se destaca com um percentil impressionante de 99% nas áreas de engenharia civil, contribuindo com 10 artigos citados em nosso estudo. Em quarto lugar, temos a revista "Sensors Switzerland", também com 10 artigos. Esta publicação é particularmente significativa devido à sua ligação estreita com a integração de sensores e a Internet das Coisas (IoT). A "Sensors Switzerland" é uma fonte vital para pesquisas que exploram a aplicação de sensores inteligentes no contexto do BIM, reforçando a importância da interconexão e monitoramento em tempo real. Por fim, a "Journal of Building Engineering" é mencionada com 5 artigos publicados. Essas fontes de alta reputação são fundamentais para a disseminação e desenvolvimento do conhecimento sobre BIM, especialmente nas áreas de engenharia e arquitetura, refletindo o crescente interesse e a importância do tema nesses campos.

FIGURA 4 - Gráfico de Documentos por Fontes.



Fonte: Elaboração Autoral a partir de Base de Dados extraída do Scopus.

4.1 Análise dos Clusters Obtidos

A análise resultou na formação de cinco diferentes clusters (Figura 5), identificados pelas cores vermelho, verde, amarelo, azul e roxo. Cada cluster representa um conjunto de palavras-chave interrelacionadas, refletindo áreas de pesquisa e desenvolvimento no campo da integração entre Building Information Modeling (BIM) e Internet das Coisas (IoT).

O cluster vermelho contém a maioria das palavras-chave, incluindo as principais palavras da pesquisa: "BIM" e "IoT". Além dessas, outras palavras significativas neste cluster são "Smart City", "Smart buildings", "Sensors", "Big data", "Ontology" e "Interoperability". A análise do cluster vermelho revela a interconexão entre BIM, IoT e várias tecnologias e conceitos avançados que juntos impulsionam a evolução das cidades e edifícios inteligentes. A combinação dessas palavras-chave revela um campo de pesquisa dinâmico e crucial, que é fundamental para promover o desenvolvimento sustentável e eficiente das nossas infraestruturas urbanas. Cada termo analisado nesse cluster contribui para a criação de ambientes mais inteligentes, conectados e responsivos, refletindo o potencial transformador da combinação entre BIM e IoT. A importância da interoperabilidade e da ontologia destaca a necessidade de padrões comuns e frameworks para a integração efetiva dessas tecnologias.

O cluster verde se concentra em tecnologias e práticas voltadas para a gestão da segurança e a simulação digital. "Safety management" refere-se à implementação de medidas de segurança utilizando dados em tempo real e simulações digitais para prevenir acidentes e melhorar a segurança no local de trabalho. "Digital twins" são réplicas digitais de objetos físicos, usados para monitorar e simular o desempenho de edifícios e infraestruturas. "Artificial intelligence" e "virtual reality" permitem a criação de ambientes virtuais para simulação, treinamento e análise, aumentando a capacidade de prever e mitigar riscos. A combinação dessas palavras-chave indica uma forte ênfase na utilização de tecnologias avançadas para melhorar a segurança e a eficiência na construção e gestão de edificações. Este cluster destaca como a integração de BIM e IoT pode revolucionar a gestão da segurança por meio de previsões precisas e simulações realistas.

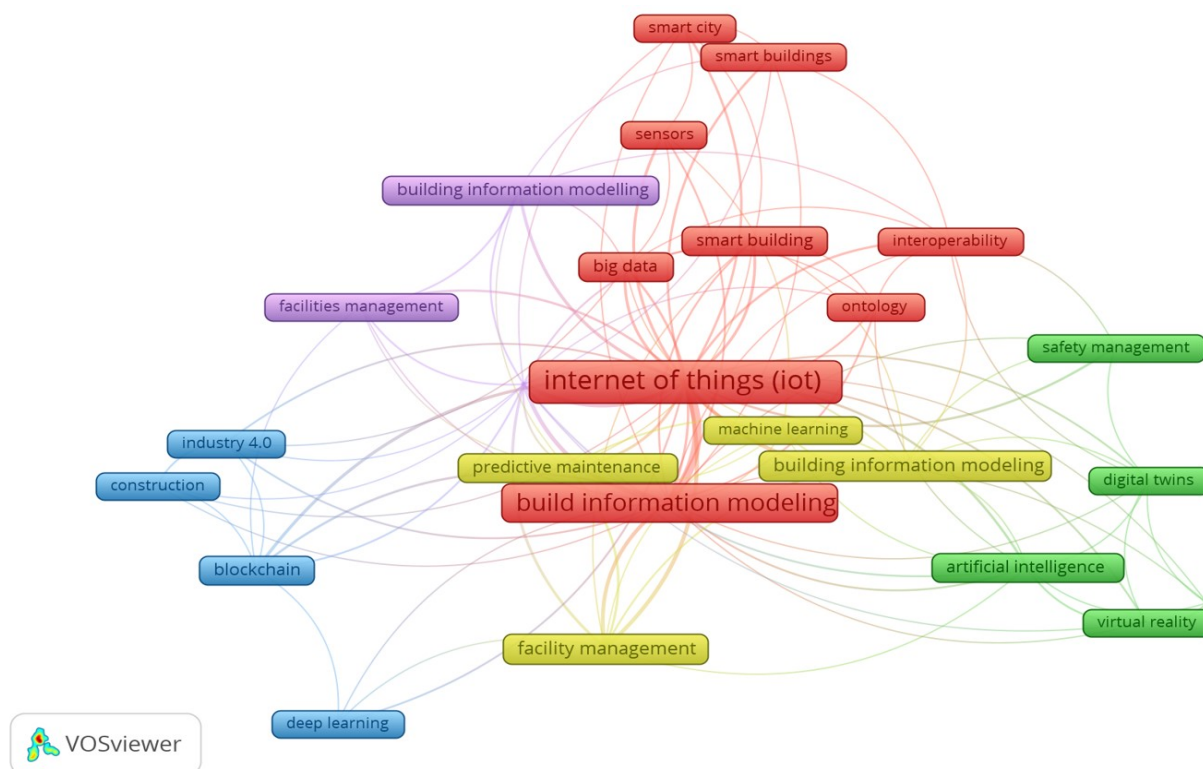
O cluster amarelo destaca o uso de técnicas avançadas de análise de dados e manutenção preditiva no gerenciamento de instalações. "Machine learning" é uma subárea da inteligência artificial que permite a análise e previsão de padrões a partir de grandes volumes de dados. "Predictive maintenance" utiliza dados coletados por sensores IoT para prever falhas e otimizar a manutenção de equipamentos e sistemas. "Facility management" refere-se à gestão eficiente das instalações, abrangendo desde a manutenção de rotina até a otimização

do uso de recursos. Este cluster sugere um foco em melhorar a eficiência operacional e a longevidade das instalações por meio de análises avançadas e manutenção preditiva. A capacidade de prever problemas antes que ocorram transforma a abordagem tradicional de manutenção, reduzindo custos e aumentando a confiabilidade dos sistemas.

O cluster azul destaca a interseção entre tecnologias emergentes e a construção civil. 'Industry 4.0' representa a quarta revolução industrial, focada na digitalização e automação dos processos. No campo da construção, tecnologias como 'Blockchain' garantem a gestão segura e transparente de dados e transações, enquanto 'Deep learning' permite análises profundas para decisões mais informadas. Esse cluster ressalta a transformação digital na construção, com melhorias significativas em qualidade, segurança e eficiência.

O cluster roxo enfatiza a integração entre BIM e gestão de instalações. 'Building Information Modeling' (BIM) é essencial para criar modelos digitais detalhados de edifícios, enquanto 'Facilities management' refere-se à eficiente gestão das operações e manutenção. Este cluster destaca o BIM como uma ferramenta central que unifica dados e operações, aumentando a eficiência e coordenação."

FIGURA 5 – Mapa de palavras-chave.



Fonte: Elaboração Autoral a partir de Base de Dados extraída do Scopus e manipulação no Vosviewer.

A utilização de BIM para facilities management destaca seu potencial para transformar

a forma como os edifícios são operados e mantidos, otimizando recursos e melhorando a sustentabilidade. Através da análise dos clusters, também foi possível elaborar a Tabela 1, identificando as principais palavras-chave e oportunidades de pesquisa por cluster.

TABELA 1 - Identificação de Oportunidades de Pesquisa por meio da Análise dos Clusters.

Cor do Cluster	Palavras-Chave	Oportunidades de Pesquisa
Vermelho	- BIM, IoT, Smart City, Smart buildings, Sensors, Big data, Ontology, Interoperability	Interoperabilidade e ontologia para integração efetiva de tecnologias: Necessidade de desenvolver padrões e frameworks comuns que permitam a integração harmoniosa de BIM e IoT, garantindo que diferentes sistemas possam trabalhar juntos de maneira eficiente e sem conflitos.
Verde	- Safety management, Digital twins, Artificial intelligence, Virtual reality	Melhorias na previsão de riscos e segurança em ambientes de construção: Explorar como tecnologias como gêmeos digitais, IA e realidade virtual podem ser utilizadas para prever e mitigar riscos, além de melhorar as práticas de segurança no local de trabalho.
Amarelo	- Machine learning, Predictive maintenance, Facility management	Desenvolvimento de algoritmos de machine learning para manutenção preditiva: Foco em criar algoritmos mais precisos e eficientes que utilizem dados coletados por sensores IoT para prever falhas em equipamentos e sistemas, otimizando a manutenção e reduzindo custos operacionais.
Azul	- Industry 4.0, Construction, Blockchain, Deep learning	Implementação prática de blockchain e deep learning na construção: Investigação sobre como essas tecnologias emergentes podem ser aplicadas de maneira prática na construção para melhorar a transparência, a segurança dos dados e a análise de grandes volumes de informações.
Roxo	- Building Information Modeling, Facilities management	Otimização e eficiência na gestão de instalações usando BIM: Estudo de métodos para utilizar BIM de forma mais eficaz na gestão de instalações, melhorando a coordenação, a operação e a manutenção de edifícios e infraestruturas.

Fonte: Elaboração Autoral a partir da análise do mapa de palavras gerado na Figura 5.

4.2 Principais Tendências de Pesquisa

Com base na análise da Figura 6, representada na sequência, podemos dizer que em 2020, observamos uma ênfase significativa em temas relacionados ao gerenciamento e análise de grandes volumes de dados (Big Data) e à estruturação do conhecimento (Ontology). A segurança (Safety Management) também era uma preocupação central, refletindo a

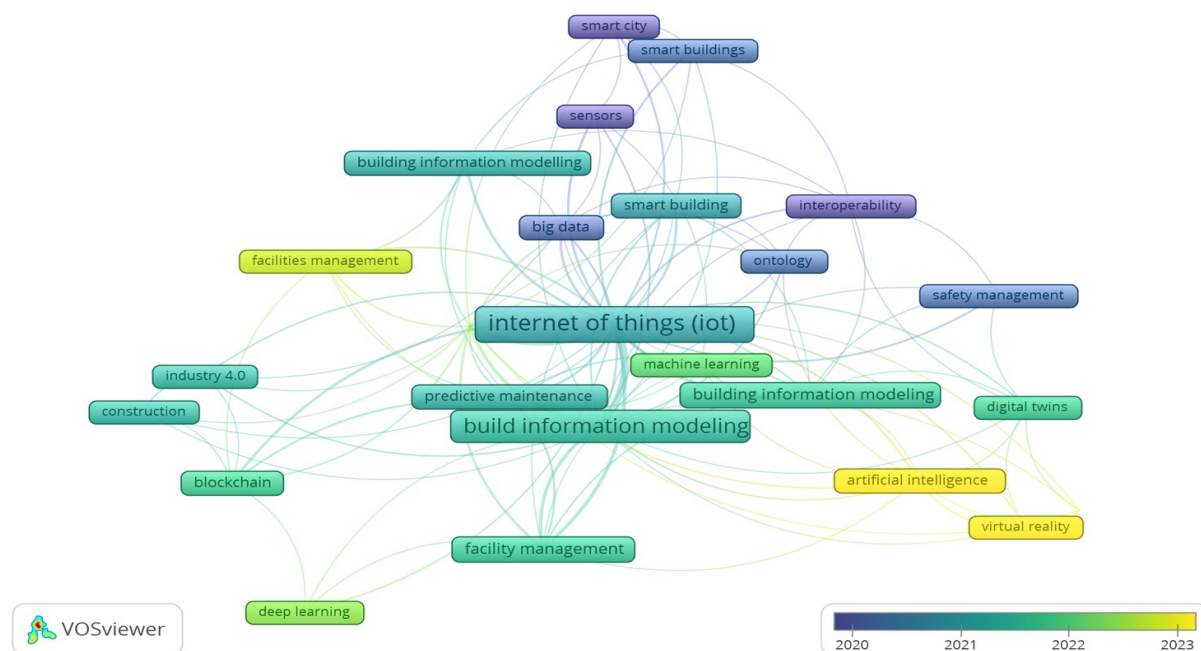
necessidade de gerenciar riscos e garantir a proteção em diversos setores.

No ano de 2021, houve um deslocamento para temas mais específicos e aplicados. A indústria da construção (Construction) e a manutenção preditiva (Predictive Maintenance) ganharam destaque, indicando um foco maior na aplicação de tecnologias avançadas para melhorar a eficiência e a sustentabilidade. A presença de termos como Industry 4.0 e Blockchain sugere um crescente interesse em tecnologias emergentes que promovem a automação e a segurança nas transações.

Em 2022, o foco se voltou para técnicas avançadas de inteligência artificial, com ênfase em aprendizado de máquina (Machine Learning) e aprendizado profundo (Deep Learning). Esse período marca um aprofundamento nas capacidades analíticas e preditivas das máquinas, mostrando a maturidade crescente dessas tecnologias e sua aplicação em diversas áreas.

No ano de 2023, as palavras-chave mais frequentes indicam uma expansão das aplicações tecnológicas para além do processamento de dados e aprendizado de máquina. A realidade virtual (Virtual Reality) e a inteligência artificial (Artificial Intelligence) destacam-se como áreas de inovação, enquanto o gerenciamento de instalações (Facilities Management) reflete a aplicação prática dessas tecnologias na otimização de espaços físicos e recursos.

FIGURA 6 – Mapa de palavras-chave por período.



Fonte: Elaboração Autoral a partir de Base de Dados extraída do Scopus e manipulação no Vosviewer.

5.0 CONCLUSÃO

A análise bibliométrica realizada revelou uma diversidade de áreas de pesquisa representadas por cinco clusters distintos, destacando diferentes aspectos da interação entre BIM e IoT. Observamos várias lacunas de pesquisa que ainda precisam ser exploradas, como a integração de tecnologias emergentes, a sinergia entre realidade virtual e IA, e a aplicação prática de blockchain na construção civil.

A integração de BIM e IoT apresenta um potencial transformador para a construção e gestão de infraestruturas urbanas, melhorando a eficiência, segurança e sustentabilidade dos ambientes construídos. Abordar as lacunas identificadas pode ampliar ainda mais os benefícios dessas inovações, promovendo um desenvolvimento urbano mais inteligente e resiliente.

Com base na análise temporal das palavras-chave, observamos várias oportunidades de pesquisa que ainda precisam ser exploradas. A integração de tecnologias emergentes como Big Data, Inteligência Artificial (IA) e Blockchain carece de estudos que examinem como essas tecnologias podem ser combinadas para criar soluções mais robustas e inovadoras. Além disso, a sinergia entre Realidade Virtual e IA, que pode gerar experiências mais imersivas e inteligentes, também precisa ser investigada em diferentes setores como educação, saúde e entretenimento. Em termos de aplicações práticas, é necessário um foco maior em estudos setoriais detalhados, especialmente sobre como as técnicas avançadas de IA podem melhorar a segurança em setores críticos e como o Blockchain pode ser utilizado para aprimorar a gestão de instalações.

Explorar os desafios na implementação dessas tecnologias é outra lacuna importante. É essencial identificar e quebrar as barreiras enfrentadas pelas empresas na adoção de tecnologias da Indústria 4.0, especialmente em pequenas e médias empresas, bem como investigar as limitações tecnológicas e econômicas da Realidade Virtual e Aumentada.

Foi observada a ausência da palavra sustentabilidade como um dos clusters, mesmo sendo uma questão amplamente discutida nos últimos anos. Isso pode sugerir uma necessidade importante de pesquisas mais focadas na sustentabilidade e no impacto ambiental dessas tecnologias.

Questões éticas e de segurança também são áreas que requerem maior atenção, especialmente no contexto do uso crescente de IA e machine learning, incluindo privacidade, viés algorítmico e decisões autônomas.

Como conclusão geral, a integração de BIM e IoT apresenta um potencial

transformador para a construção e gestão de infraestruturas urbanas. As descobertas deste artigo destacam a importância de continuar explorando essas tecnologias para melhorar a eficiência, segurança e sustentabilidade dos ambientes construídos. Ao abordar as lacunas identificadas, futuras pesquisas podem ampliar ainda mais os benefícios dessas inovações, promovendo um desenvolvimento urbano mais inteligente e resiliente.

REFERÊNCIAS

Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). **Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis**. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959-975.

Autodesk website <https://www.autodesk.com.br/solutions/bim> (acesso em 18 de maio de 2024).

Azhar, S. (2011). **Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry**. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241-252.

Azhar, S., Khalfan, M., & Maqsood, T. (2011). **Building Information Modeling (BIM): Now and Beyond**. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 12(4), 15-28.

Bilal, M., Oyedele, L. O., Qadir, J., Munir, K., Ajayi, S. O., Akinade, O. O., & Pasha, M. (2016). **Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends**. *Advanced Engineering Informatics*, 30(3), 500-521.

Celoza, S., Fonseca, A., & Ribeiro, J. (2023). **Recent Developments in BIM: Applications in AEC Industry**. *Journal of Construction Engineering*.

Delgado, J. M. D., & Caicedo, F. (2018). **Integration of IoT and BIM for smart building management**. *Smart Cities Conference*.

Lee, G., Yu, J., & Jeong, D. (2020). **BIM and IoT-based Monitoring and Assessment Framework for Building Operation Optimization**. *Energy and Buildings*, 217, 109994.

Leydesdorff, L., & Wagner, C. S. (2009). **Is the United States losing ground in science? A global perspective on the world science system**. *Scientometrics*, 78(1), 23-36.

Li, S., Xu, L. D., & Zhao, S. (2019). **The Internet of Things: A Survey**. *Information Systems Frontiers*, 17(2), 243-259.

Liu, Y., Zhang, H., & Wu, W. (2020). **Real-Time Data Integration and Analysis in Construction Projects Using BIM and IoT**. *Advanced Engineering Informatics*, 45, 101127.

Lopez-Rocha, S., & Isaza-Castro, J. (2017). **A bibliometric analysis of global research on BIM and its applications in construction management.** Journal of Construction Engineering and Management, 143(8), 04017069.

Lu, Q., Chen, L., Li, S., & Zheng, X. (2020). **BIM and IoT-based monitoring and management platform for construction waste management.** Journal of Cleaner Production, 272, 122755.

Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F., & Chlamtac, I. (2020). **Internet of Things: Vision, Applications and Research Challenges.** Ad Hoc Networks, 10(7), 1497-1516.

Moed, H. F. (2005). Citation Analysis in Research Evaluation. Springer.

Nagy, J., Oláh, J., Erdei, E., Máté, D., & Popp, J. (2018). **The Role and Impact of Industry 4.0 and the Internet of Things on the Business Strategy of the Value Chain—The Case of Hungary.** Sustainability, 10(10), 3491.

National BIM Standard-United States Project Committee (NBIMS-US). (2020). NBIMS-US V3. National Institute of Building Sciences.

Succar, B. (2009). **Building Information Modelling Framework: A Research and Delivery Foundation for Industry Stakeholders.** Automation in Construction, 18(3), 357-375.

Tang, S., Shelden, D. R., Eastman, C. M., Pishdad-Bozorgi, P., & Gao, X. (2019). **A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends.** Automation in Construction, 101, 127-139.

Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). **Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping.** Scientometrics, 84(2), 523-538.

Wang, X., Li, H., & Cheng, J. (2022). **Enhancing Project Management through BIM and IoT Integration.** Journal of Construction Engineering and Management, 148(1), 04021095.

Xu, L. D., He, W., & Li, S. (2018). **Internet of Things in Industries: A Survey.** IEEE Transactions on Industrial Informatics, 10(4), 2233-2243.

Xue, F., Lu, W., Chen, K., & Tang, P. (2021). **Prefabricated construction enabled by the Internet-of-Things.** Automation in Construction, 130, 103865.