

BIM no Planejamento, Modelagem e Análise de Saídas de Emergência em Edificações: Uma Revisão da Literatura

BIM in the Planning, Modeling, and Analysis of Emergency Exits in Buildings: A Literature Review

Maria Alice Barros Cabral Arcoverde

 orcid.org/0009-0006-9786-3137

Eliane Maria Gorga Lago¹

 orcid.org/0000-0003-0987-3492

Adolpho Guido de Araújo¹

 orcid.org/0000-0002-9398-9422

Bianca Maria Vasconcelos Valerio¹

 orcid.org/0000-0002-5968-9581

Vinícius Francis Braga de Azevedo¹

 orcid.org/0000-0001-6759-8105

¹Escola Escola Politécnica de Pernambuco,
Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil.
E-mail: ariaallicemabc@gmail.com.br

DOI: 10.25286/rep.v11i2.3890

Esta obra apresenta Licença Creative
Commons Atribuição-Não Comercial 4.0
Internacional.

Como citar este artigo pela NBR 6023/2018:
Arcoverde, M.A.B.C.; Lago, E.M.G; Araújo,
A.G.; Vasconcelos, B.M.; Azevedo, V.F.B. BIM
no Planejamento, Modelagem e Análise de
Saídas de Emergência em Edificações: Uma
Revisão da Literatura. Revista de Engenharia
e Pesquisa Aplicada, Recife, v. 11, n. 2, p. 57
– 66, agosto, 2026.

RESUMO

A ferramenta Building Information Modeling é essencial para o planejamento e a modelagem de saídas de emergência, pois representa edificações de forma integrada, precisa e tridimensional e permite a detecção de conflitos e a verificação de conformidade com normas de segurança. O estudo avalia a eficácia dessa ferramenta no planejamento, na modelagem e na análise de saídas de emergência e rotas de fuga e examina sua aplicação, resultados, limitações e perspectivas na literatura científica. A pesquisa segue o protocolo PRISMA 2020, inclui busca na base Scopus e aplica critérios de inclusão e exclusão que resultam em 67 artigos selecionados. Os resultados indicam benefícios em integração da informação, otimização espacial, simulação de evacuação, apoio à tomada de decisão e inovação tecnológica. O estudo mostra que a ferramenta melhora a previsibilidade, a precisão e a rastreabilidade e apoia o planejamento de evacuação orientado por dados e desempenho, o que fortalece a cultura de segurança e impulsiona edificações mais seguras.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem da Informação da Construção; Segurança contra incêndio; Rotas de fuga; Saídas de emergência; Simulação de evacuação.

ABSTRACT

Building Information Modeling is essential for the planning and modeling of emergency exits because it represents buildings in an integrated, precise, and three-dimensional way and enables the detection of conflicts and the verification of compliance with safety standards. The study evaluates the effectiveness of this tool in the planning, modeling, and analysis of emergency exits and escape routes and examines its application, results, limitations, and perspectives in the scientific literature. The research follows the PRISMA 2020 protocol, includes a search in the Scopus database, and applies inclusion and exclusion criteria that result in 67 selected articles. The results indicate benefits in information integration, spatial optimization, evacuation simulation, decision-making support, and technological innovation. The study shows that the tool improves predictability, precision, and traceability and supports data- and performance-driven evacuation planning, which strengthens safety culture and promotes safer buildings.

KEYWORDS: Building Information Modeling; Fire safety; Escape routes; Emergency exits; Evacuation simulation.

1 INTRODUÇÃO

Segundo [1] nas últimas décadas, a indústria da construção civil tem passado por uma transformação sem precedentes impulsionada pela digitalização. O desenvolvimento de novas tecnologias de informação e modelagem tridimensional vem modificando profundamente os processos de concepção, execução e manutenção de edificações. Nesse contexto, o Building Information Modeling (BIM) ou Modelagem da Informação da Construção, surge como uma das inovações mais relevantes, capaz de integrar aspectos técnicos, operacionais e gerenciais em uma única base de dados digital.

O BIM não é apenas uma ferramenta de representação gráfica tridimensional, mas um processo integrado de gestão da informação que abrange o ciclo de vida completo da edificação, permitindo interoperabilidade entre diferentes disciplinas [2].

De acordo com [3] a adoção do BIM tem se tornado um fator determinante para o aprimoramento dos processos de projeto e execução, resultando em melhor planejamento de recursos humanos e financeiros, aumento da qualidade das obras e maior transparência na gestão. O BIM, nesse sentido, não representa apenas uma inovação técnica, mas uma mudança de paradigma no modo como se projeta, constrói e opera o ambiente construído. O BIM é hoje reconhecido globalmente como um dos pilares da modernização e digitalização da indústria da construção, fundamentando a transição de processos fragmentados para fluxos de trabalho colaborativos e baseados em dados [4] [5].

Na segurança contra incêndio, o BIM também desempenha papel relevante, especialmente pela importância das rotas de fuga e saídas de emergência no desempenho de edificações [6]. A segurança de uma edificação depende, em grande medida, da eficácia de seus sistemas de evacuação, especialmente as rotas de fuga e saídas de emergência. As histórias de incêndios em grandes edifícios evidenciam que falhas nas rotas de fuga permanecem entre as principais causas de perdas humanas.

As práticas tradicionais de gestão são limitadas em dinamismo e integração quando comparadas ao BIM. O BIM surge como uma metodologia revolucionária que cria um ambiente digital compartilhado, aumentando a precisão, a eficiência

e a colaboração em todas as fases do projeto [7]. As simulações de evacuação, quando realizadas, baseavam-se em modelos simplificados e informações estáticas, sem considerar adequadamente fatores humanos dinâmicos, como comportamento coletivo, percepção de risco e acessibilidade. Essas limitações resultavam em uma lacuna entre o planejamento teórico e o comportamento real dos ocupantes em situações de emergência [8].

Com a introdução do BIM, tornou-se possível integrar modelos digitais ricos em informação com ferramentas de simulação computacional, como Fire Dynamics Simulator (FDS), Pathfinder e PyroSim. Essa integração tem revolucionado o modo de compreender o desempenho de edificações em situações de incêndio. Segundo [9], o BIM permite criar ambientes virtuais de análise onde é possível prever o comportamento das pessoas, estimar tempos de evacuação, identificar gargalos e testar diferentes configurações de layout, ampliando a capacidade preditiva dos projetistas.

A literatura internacional demonstra um avanço expressivo na utilização dessas técnicas. [10] observaram que, desde o desenvolvimento e a ampla adoção dos modelos de simulação, ferramentas baseadas em BIM vêm sendo aplicadas para estudar evacuações e identificar deficiências nos edifícios durante as saídas de emergência, oferecendo aos projetistas e engenheiros dados mais precisos para otimizar a evacuação. Pesquisas subsequentes [11] [12] [13] confirmam que o BIM tem se tornado um instrumento essencial na análise de fluxos de ocupantes e na melhoria das estratégias de evacuação.

Diante desse cenário, esta pesquisa propõe realizar uma revisão sistemática da literatura internacional sobre o uso do BIM no planejamento, modelagem e análise de saídas de emergência e rotas de fuga em edificações.

2 METODOLOGIA

A pesquisa utiliza uma abordagem qualitativa, de caráter exploratório e bibliográfico, pautada na identificação, seleção e análise crítica da literatura científica relacionada ao uso do BIM no planejamento, modelagem e verificação de saídas de emergência e rotas de fuga em edificações. Nesse contexto, emergem as seguintes questões de

pesquisa, que orientam o desenvolvimento do estudo:

Q1. Quais são os benefícios encontrados no uso do BIM para projeto, planejamento, modelagem e análise de saídas de emergência e rotas de fuga em edificações?

Q2. Quais são os desafios encontrados nos estudos, quanto à aplicação prática do BIM para projeto, planejamento, modelagem e análise de saídas de emergência e rotas de fuga em edificações?

Q3. Quais direções de pesquisa futuras são sugeridas pelos estudos para ampliar ou consolidar os benefícios do uso do BIM no planejamento, modelagem e análise de saídas de emergência e rotas de fuga em edificações?

Para garantir rigor metodológico e transparência, o estudo segue as diretrizes do protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), amplamente reconhecido por padronizar e qualificar revisões sistemáticas. Esse protocolo permite uma análise estruturada e reproduzível, possibilitando o rastreamento de cada etapa do processo, desde a identificação das publicações até a inclusão final dos estudos selecionados.

A base de dados Scopus foi selecionada por sua abrangência internacional e relevante para o campo da construção civil.

2.1 ETAPAS DA REVISÃO

A revisão foi conduzida em quatro etapas principais: (1) definição da estratégia de busca, (2) aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, (3) triagem e seleção dos estudos, e (4) análise qualitativa dos resultados.

A *string* de busca foi formulada para abranger diferentes combinações de termos relacionados ao BIM e às saídas de emergência, aplicadas à base de dados Scopus, conforme segue:

("BIM" OR "Building Information Modelling") AND ("emergency exit*" OR "Regresso system*" OR "means of egress" OR "egress route*" OR "escape route*" OR "fire escape*" OR "fire escape route*" OR "evacuation*") AND ("building" OR "construction")

Essa formulação buscou capturar estudos que tratassem simultaneamente do uso do BIM e do planejamento de rotas de evacuação e saídas de emergência em edificações, restringindo o escopo ao campo da construção civil.

2.2 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Os estudos foram excluídos quando não apresentavam relação com o tema da pesquisa, conforme análise do título, resumo e palavras-chave (CE1); não abordavam a aplicação do BIM (CE2); não tratavam do uso do BIM no planejamento, análise, simulação ou apoio à evacuação em situações de incêndio, incluindo estudos voltados a outras emergências (CE3); não aplicavam o BIM à análise de saídas de emergência e rotas de fuga em edificações cobertas (CE4); ou apresentavam apenas discussões teóricas, sem aplicação prática, estudo de caso, experimento ou simulação (CE5).

Os artigos selecionados foram organizados em uma planilha de extração de dados (Microsoft Excel), elaborada para facilitar na análise e síntese das principais informações de cada estudo incluído. Os dados extraídos subsidiaram a síntese apresentada nos capítulos seguintes, organizados conforme a caracterização geral dos estudos, os métodos e ferramentas empregados, os benefícios relatados e as limitações observadas no uso do BIM em saídas de emergência e rotas de fuga

3 RESULTADOS

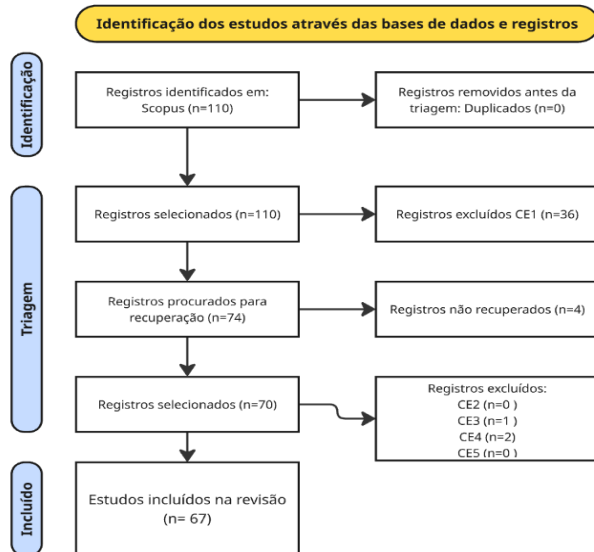
3.1 IDENTIFICAÇÃO, TRIAGEM E INCLUSÃO DOS ESTUDOS

A revisão sistemática foi realizada em outubro de 2025. Na fase da identificação, foram encontrados inicialmente 110 resultados, na base de dados Scopus, conforme ilustra a Figura 1. Dentre eles, não foi identificado duplicidade. Em seguida, na fase da triagem, atribuiu-se os critérios de exclusão (CE1) de acordo com a leitura do título, resumo e palavras-chave dos artigos, excluindo 36 deles. Dos 74 artigos remanescentes, 4 não foram recuperados para download, por não estarem acessíveis de forma gratuita.

Os 70 artigos remanescentes foram recuperados das bases de dados para leitura completa e aplicação dos critérios de exclusão, onde 1 artigo foi excluído por não focar na aplicação do BIM para projeto, planejamento, modelagem e análise de saídas de emergência e rotas de fuga em edificações e 2 artigos foram excluídos por não possuírem a aplicação do BIM integrado ao projeto, planejamento, modelagem e análise de saídas de

emergência e rotas de fuga, não foi realizada em edificações cobertas. Após a fase da triagem, obteve-se 67 artigos incluídos para análise na revisão sistemática da literatura.

Figura 1 – Fluxograma PRISMA.



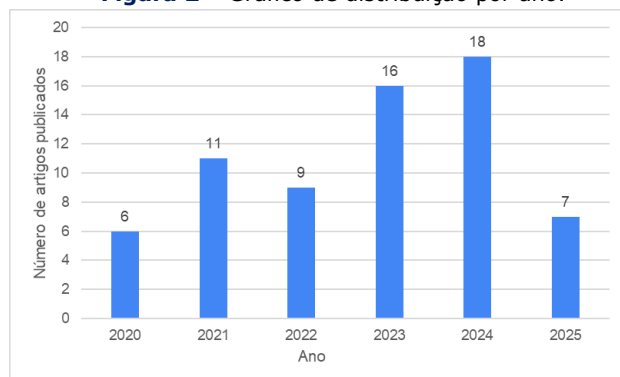
Fonte: Os Autores.

3.2 CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS ESTUDOS INCLUIDOS

Esta seção apresenta a caracterização dos estudos selecionados quanto ao ano de publicação, país do autor principal, periódico e tipo de pesquisa.

Conforme a Figura 2, observa-se crescimento das publicações entre 2020 e 2024, passando de seis para dezoito artigos, o que evidencia o aumento do interesse pela temática. Em 2025, registraram-se sete publicações, resultado possivelmente influenciado pela coleta parcial dos dados ou à normal oscilação de publicações ao longo dos anos.

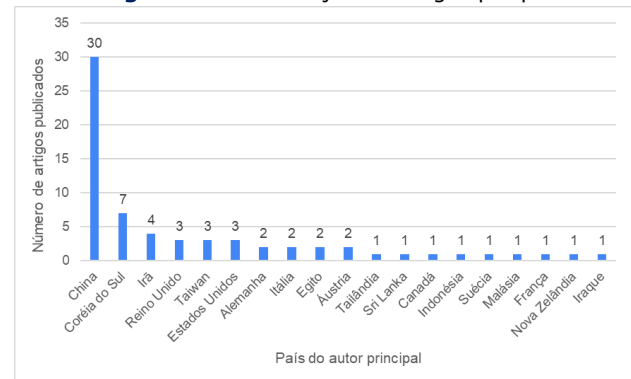
Figura 2 – Gráfico de distribuição por ano.



Fonte: Os Autores.

De acordo com a Figura 3, observa-se que a China lidera expressivamente o número de publicações sobre o uso de ferramentas BIM aplicadas ao planejamento e gestão da segurança contra incêndios nas edificações, com 30 artigos, seguida pela Coreia do Sul (6), Irã (4), Taiwan (3), Estados Unidos (3) e Reino Unido (3).

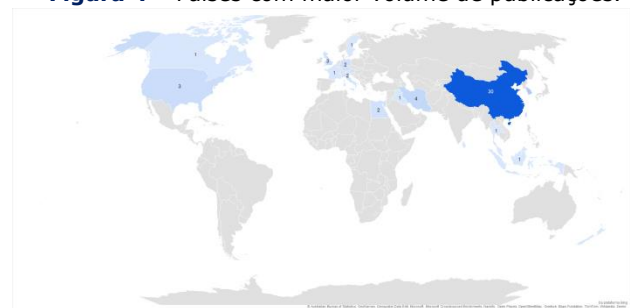
Figura 3 – Distribuição de artigos por país.



Fonte: Os Autores.

A Figura 4 mostra que a maior parte das publicações se concentra em países do hemisfério Norte, com destaque para a China. Os demais países apresentam uma ou duas publicações, indicando que a aplicação do BIM em saídas de emergência ainda se encontra em consolidação em diferentes contextos. Esse cenário evidencia oportunidades para ampliar pesquisas em países do hemisfério Sul, incluindo o Brasil, onde a adoção do BIM tem avançado.

Figura 4 – Países com maior volume de publicações.

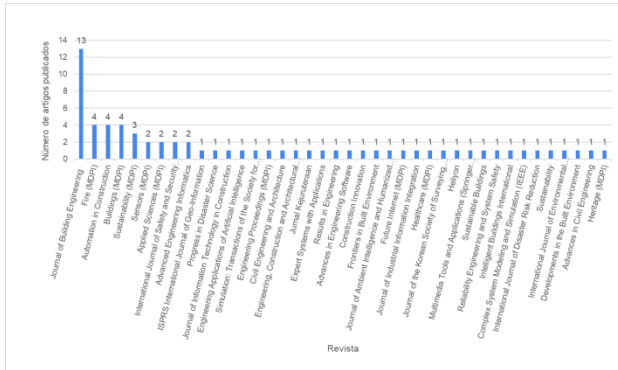


Fonte: Os Autores.

A Figura 5 apresenta a distribuição das publicações por periódico. O Journal of Building Engineering concentra o maior número de artigos (13), seguido por Fire, Automation in Construction e Buildings, com quatro publicações cada. Os demais estudos distribuem-se entre diferentes periódicos, evidenciando a diversidade de áreas que

investigam a aplicação do BIM na segurança e no desempenho de edificações.

Figura 5 – Distribuição por publicações em revista.

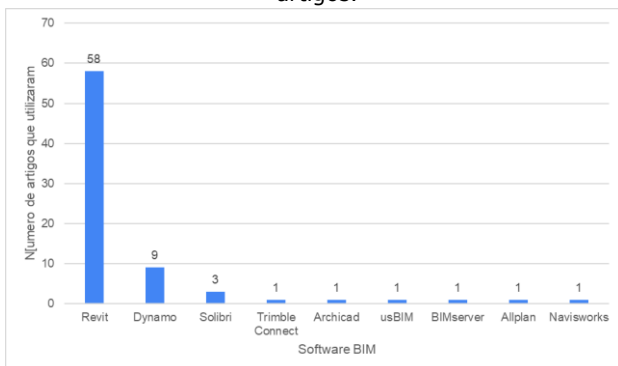


Fonte: Os Autores.

3.3 SOFTWARES BIM E FREQUÊNCIA DE USO NOS ARTIGOS

A Figura 6 mostra o Revit como o software BIM mais utilizado, com 58 ocorrências. Dynamo e Solibri aparecem com menor frequência, enquanto os demais softwares apresentam uso pontual. Os resultados indicam a predominância do ecossistema Revit nas pesquisas sobre evacuação e segurança em edificações, embora outras ferramentas BIM também sejam empregadas.

Figura 6 – Frequência de uso dos softwares BIM nos artigos.



Fonte: Os Autores.

Além dos softwares apresentados na Figura 6, alguns estudos utilizaram ferramentas compatíveis com o padrão IFC, como PyroSim, Pathfinder, IfcOpenShell, web-ifc e IFC Java Toolbox. Essas soluções apoiam a simulação de incêndio, evacuação e o processamento de modelos BIM, mas não foram incluídas na análise por não se destinarem à autoria ou edição de modelos.

3.4 SÍNTESE DOS BENEFÍCIOS RELATADOS

Com base na revisão sistemática conduzida, foram organizadas onze categorias de benefícios do uso do BIM aplicáveis ao planejamento, modelagem e análise de saídas de emergência e rotas de fuga.

Essas categorias são apresentadas no Quadro 2, acompanhadas dos termos equivalentes em inglês, das respectivas palavras-chave.

Quadro 2 – Benefícios do uso do BIM na segurança e evacuação de edificações.

BENEFÍCIO	TERMO EM INGLÊS	PALAVRA-CHAVE
Integração e Interoperabilidade da Informação	<i>Information Integration and Interoperability</i>	Interoperabilidade
Planejamento e Otimização Espacial do Projeto	<i>Spatial Planning and Project Optimization</i>	Planejamento
Simulação de Evacuação	<i>Evacuation Simulation</i>	Simulação
Suporte à Tomada de Decisão	<i>Decision Support</i>	Suporte à Decisão
Verificação de Conformidade Normativa	<i>Regulatory Compliance Checking</i>	Conformidade normativa
Monitoramento do Edifício	<i>Building Monitoring</i>	Monitoramento
Inovação e Desenvolvimento Tecnológico	<i>Technological Innovation and Development</i>	Inovação
Gestão do Ciclo de Vida e Manutenção	<i>Life Cycle and Maintenance Management</i>	Ciclo de vida
Avaliação de Desempenho e Validação de Modelos	<i>Performance Evaluation and Model Validation</i>	Desempenho
Sustentabilidade e Resiliência em Projetos de Segurança	<i>Sustainability and Resilience in Fire Safety Design</i>	Resiliência

Fonte: Os Autores.

Nos subitens a seguir, são resumidos os benefícios identificados, destacando como os autores têm utilizado o BIM em diferentes contextos técnicos e metodológicos.

3.5 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS ESTUDOS

Neste subitem são apresentados os onze benefícios identificados. Foram examinadas as diferentes formas como os autores têm utilizado o BIM para o planejamento, modelagem e avaliação de rotas de fuga e saídas de emergência, considerando aspectos técnicos e metodológicos.

3.5.1 Integração e interoperabilidade da informação

A literatura destaca a integração e a interoperabilidade como benefícios centrais do BIM, ao permitir o compartilhamento de informações entre softwares e disciplinas em um modelo único, favorecendo a coordenação e a consistência dos dados.

Na prática, essa interoperabilidade é evidenciada por diferentes estudos: [14] integraram Revit, Archicad, Allplan e Solibri para verificação automática de rotas de fuga via modelos IFC, enquanto [15] avançaram com o IFC4.3 para armazenamento permanente dos resultados. [16] desenvolveram o Evac 4BIM, conectando Revit e Pathfinder com fluxo bidirecional de dados; [17] automatizaram verificações com Dynamo, Revit e Python; e [18] aplicaram Ifc Open Shell e ontologias RDF/SWRL para otimização semântica das saídas de emergência. Além disso, ferramentas como FDS e Pathfinder foram utilizadas de forma interoperável em simulações reais de incêndio e evacuação [19] [20], enquanto abordagens de visão computacional ampliam esse potencial ao automatizar a digitalização e o enriquecimento de modelos IFC [21] [22].

Os estudos indicam que a interoperabilidade do BIM integra modelos, simuladores e ferramentas de verificação, reduzindo retrabalho e aumentando a confiabilidade das análises de evacuação.

3.5.2 Planejamento e otimização espacial do projeto

A literatura indica que o BIM aprimora o planejamento de projetos ao permitir a otimização de rotas de fuga e saídas de emergência, além da avaliação antecipada de soluções ainda na fase de concepção. Com isso, favorece a análise e o ajuste do desempenho das evacuações em modelos tridimensionais.

Na prática, diversos estudos demonstram essas aplicações: [17] utilizaram Dynamo e Revit para verificação automática das larguras de evacuação com alertas em tempo real; [14] desenvolveram um método para gerar e validar rotas diretamente

em modelos IFC; e [18] integraram Revit, IfcOpenShell e ontologias RDF/SWRL, reduzindo o tempo de evacuação em até 28%. Em aplicações experimentais, [19] combinaram Revit, FDS e Pathfinder para simular evacuações em bibliotecas, obtendo reduções superiores a 13% no tempo de saída, enquanto [23] integraram varredura a laser (TLS), Revit e Dynamo para identificar gargalos e inadequações em rotas de evacuação. Em todos os casos, o BIM atua como núcleo de coordenação, possibilitando a análise de cenários alternativos e o suporte à tomada de decisão baseada em desempenho.

Em síntese, o BIM permite avaliar e otimizar soluções de evacuação desde a fase de projeto, consolidando-se como ferramenta de apoio à simulação e à tomada de decisão em segurança contra incêndios.

3.5.3 Simulação de evacuação

A literatura indica que a integração entre BIM e simulação de evacuação permite prever gargalos, avaliar layouts e identificar falhas nas rotas de fuga ainda na fase de projeto. Ao integrar modelos e informações da edificação, o BIM amplia a precisão das análises de evacuação.

Evidências empíricas reforçam esse papel: [19] integraram Revit, PyroSim e Pathfinder, reduzindo o tempo de evacuação em 13,7% após ajustes; [20] aplicaram BIM com FDS e Pathfinder em uma estação de metrô, obtendo reduções superiores a 50%; [24] e [25] associaram BIM a modelos fuzzy para avaliar estratégias de evacuação; [26] integraram BIM, GIS e aprendizado por reforço para simulações dinâmicas; e [27] utilizaram ontologias para atualização automática de rotas durante incêndios.

Em síntese, a integração entre BIM e simulação de evacuação aprimora o planejamento e a análise de desempenho, consolidando-se como ferramenta estratégica para projetos mais preditivos, realistas e orientados à segurança, apesar dos desafios técnicos ainda existentes.

3.5.4 Suporte à tomada de decisão

A literatura revisada converge ao apontar o BIM como instrumento essencial para a tomada de decisão ao longo do ciclo de vida das edificações, integrando simulações, métodos de otimização e raciocínio semântico para avaliar cenários, comparar alternativas de evacuação e orientar

intervenções com base em dados, reduzindo subjetividade e tempo de resposta.

Estudos evidenciam essa capacidade: [24] combinaram BIM, PyroSim, Pathfinder e modelos fuzzy para classificar riscos e recomendar estratégias; [18] integraram BIM e ontologias RDF/SWRL para definir automaticamente posições ideais de saídas; [27] aplicaram raciocínio semântico para atualização dinâmica de rotas; [25] desenvolveram um sistema no Revit com otimização BBOA para equilibrar custo e segurança; e [26] utilizaram BIM, GIS e aprendizado por reforço para decisões adaptativas em tempo real.

Em síntese, o BIM apoia a tomada de decisão em segurança contra incêndios ao integrar dados e simulações, tornando as análises de evacuação mais eficientes e confiáveis.

3.5.5 Verificação de conformidade normativa

A literatura indica que o BIM aprimora a verificação automatizada da conformidade normativa ao converter requisitos legais em regras computáveis, reduzindo erros e tornando as análises mais ágeis e confiáveis.

Evidências empíricas demonstram essa aplicação: [17] automatizaram a verificação de larguras de evacuação com Dynamo e Revit; [14] utilizaram Solibri e modelos IFC para checagem de rotas, enquanto [15] avançaram com IFC4/IFC4.3 para armazenamento permanente dos resultados; [21] integraram visão computacional ao BIM para identificação automática de símbolos normativos; e [18] e [16] empregaram ontologias e fluxos IFC para garantir conformidade simultânea com normas internacionais e códigos locais.

Em síntese, o BIM integra e automatiza a verificação normativa, aumentando a confiabilidade das análises, apesar dos desafios de padronização e interoperabilidade.

3.5.6 Visualização e colaboração multidisciplinar

A literatura indica que o BIM favorece a visualização e a colaboração multidisciplinar em segurança contra incêndios ao integrar modelos 3D e informações compartilhadas, melhorando a compreensão das rotas de fuga e a coordenação entre as equipes.

Estudos evidenciam esses benefícios: [16] integraram Revit e Pathfinder (Evac 4BIM), permitindo visualizar mapas de calor e fluxos de

evacuação; [19] combinaram Revit, PyroSim e Pathfinder para simular graficamente fumaça e movimento de ocupantes; [20] aplicaram BIM em estação de metrô para análise de cenários complexos; [21] utilizaram visão computacional para identificar e padronizar elementos de segurança; e [25] integraram um plug-in ao Revit para visualização instantânea de medidas e impactos na evacuação.

Em síntese, o BIM integra visualização e colaboração entre disciplinas, apoiando decisões mais eficientes em segurança contra incêndios.

3.5.7 Monitoramento do edifício

A literatura indica que o BIM integra sensores, alarmes e dispositivos IoT para o monitoramento da segurança contra incêndios, permitindo acompanhar condições críticas e atualizar rotas de evacuação em tempo real. Com isso, sua aplicação estende-se do projeto à operação e à resposta a emergências.

Estudos evidenciam essa evolução: [27] integraram sensores ao BIM via ontologias para atualização automática de rotas; [26] combinaram BIM, GIS e aprendizado por reforço para decisões dinâmicas; e pesquisas com gêmeos digitais conectam alarmes, detectores e câmeras ao modelo 3D, permitindo monitorar incêndio, ocupantes e condições estruturais em tempo real.

Em síntese, a integração do BIM com sistemas inteligentes permite o monitoramento e a resposta a emergências em tempo real, embora ainda existam desafios de interoperabilidade e infraestrutura.

3.5.8 Inovação e desenvolvimento tecnológico

A literatura indica que o BIM integra tecnologias como aprendizado de máquina, realidade aumentada, ontologias semânticas e gêmeos digitais, ampliando sua aplicação para verificação, simulação e apoio à decisão em segurança contra incêndios.

Evidências ilustram esse avanço: [21] integraram BIM, visão computacional e deep learning (Keypoint R-CNN e IfcOpenShell) para reconhecimento automático de símbolos normativos; [25] desenvolveram um plug-in no Revit com algoritmo BBOA para otimizar medidas de proteção; e [27] e [18] aplicaram ontologias e regras SWRL para automatizar decisões de evacuação e posicionamento de saídas.

Em síntese, o BIM impulsiona a inovação ao integrar inteligência artificial e automação semântica, viabilizando análises preditivas para a segurança das edificações.

3.5.9 Gestão do ciclo de vida e manutenção

A literatura revisada converge ao reconhecer o BIM como ferramenta estratégica na gestão do ciclo de vida das edificações, permitindo que informações de segurança contra incêndio, evacuação e manutenção sejam continuamente atualizadas, rastreáveis e reutilizáveis desde o projeto até a operação e reformas. Assim, o BIM atua como um repositório dinâmico de dados sobre rotas de fuga, equipamentos e verificações normativas, apoiando a manutenção preventiva e a gestão integrada.

Estudos evidenciam essa aplicação: [15] utilizaram IFC4.3 para armazenar permanentemente resultados de análises de rotas; [21] enriqueceram modelos BIM com dados de equipamentos via visão computacional, otimizando inspeções; e [28] aplicaram aprendizado profundo para converter plantas 2D em modelos BIM, facilitando atualizações e integração com sistemas automatizados.

Em síntese, o BIM fortalece a continuidade informacional e a eficiência operacional ao longo do ciclo de vida, consolidando-se como infraestrutura colaborativa essencial para a gestão e manutenção inteligente da segurança contra incêndios.

3.5.10 Avaliação de desempenho e validação de modelos

A literatura revisada converge ao reconhecer o BIM como plataforma robusta para avaliação e validação de métodos de simulação em segurança contra incêndios, ao integrar um modelo digital unificado que permite comparar resultados, testar algoritmos e aprimorar a interoperabilidade, garantindo maior precisão, rastreabilidade e confiabilidade nas análises.

Evidências empíricas reforçam esse papel: [29] integraram BIM, FDS e ABM para simular evacuações e ajustar rotas; [16] desenvolveram o Evac 4BIM para validação bidirecional entre Revit e Pathfinder; [25] utilizaram o Revit como núcleo integrador entre FDS, Pathfinder e CFAST, testando o algoritmo BBOA; e [14] aplicaram Solibri com modelos IFC para verificação automática de rotas, com maior rapidez e precisão que métodos manuais.

Em síntese, o BIM atua como ambiente de validação comparativa, padronizando fluxos, integrando ferramentas e elevando a precisão e a confiabilidade das simulações, consolidando-se como infraestrutura essencial para o desenvolvimento e aprimoramento da segurança contra incêndios.

3.5.11 Sustentabilidade e resiliência em projetos de segurança

A literatura converge ao apontar o BIM como ferramenta estratégica para aumentar a sustentabilidade e a resiliência das edificações frente a incêndios, terremotos e riscos múltiplos, permitindo análises multilayer que antecipam vulnerabilidades, comparam soluções e orientam estratégias mais seguras e adaptativas ao longo do ciclo de vida.

Evidências mostram que [30] integraram BIM, avaliação probabilística e simulação por agentes para analisar evacuações em cenários pós-terremoto; estudos em estações ferroviárias identificam pontos críticos de fumaça e acessibilidade; e [31] demonstram que a otimização de rotas e fluxos via BIM melhora a eficiência operacional e energética. Além disso, o BIM sustenta a “golden thread”, garantindo continuidade informacional entre projeto, operação e manutenção.

Em síntese, o BIM transcende a modelagem geométrica ao integrar segurança, sustentabilidade e desempenho, permitindo prever comportamentos, otimizar recursos e promover uma abordagem de projeto orientada à resiliência e à eficiência ao longo de todo o ciclo de vida.

3.6 LIMITAÇÕES IDENTIFICADAS NOS ESTUDOS

A literatura revisada demonstra que, embora o BIM apresente elevado potencial para apoiar a segurança contra incêndios em edificações, sua aplicação ainda enfrenta limitações técnicas, metodológicas e de padronização. Os principais desafios concentram-se na interoperabilidade entre plataformas, decorrente da implementação incompleta do IFC, incompatibilidade entre softwares, perda de informações e elevada dependência de parametrizações complexas e conhecimento especializado para automatização dos processos [15] [16] [17] [18].

No planejamento, simulação e tomada de decisão, persistem limitações quanto à qualidade

dos parâmetros, à representação realista do comportamento humano e ao alto custo computacional, além da necessidade de grandes volumes de dados e validação empírica [19] [20] [24] [26]. Já na verificação normativa, visualização e colaboração, os entraves incluem baixa automação, incompatibilidades entre plataformas e dependência de ajustes manuais, o que restringe a escalabilidade das soluções [14] [21].

3.7 DIREÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

As pesquisas futuras devem concentrar-se no aprimoramento da interoperabilidade, automação e validação prática do BIM aplicado à segurança contra incêndios. Também são necessárias maior integração com tecnologias emergentes, como IoT, gêmeos digitais, inteligência artificial e ambientes imersivos, além do desenvolvimento de modelos mais realistas para simulação de evacuação, verificação normativa automatizada, gestão do ciclo de vida das edificações e abordagens que conciliem segurança e sustentabilidade.

5 CONCLUSÕES

A revisão sistemática demonstra que o BIM representa um avanço significativo na segurança contra incêndios, ao atuar como plataforma integrada para planejamento, simulação e apoio à decisão, promovendo maior precisão, colaboração e aderência normativa. Seus principais benefícios incluem interoperabilidade, automação de verificações e análise preditiva de evacuação.

Entretanto, sua adoção ainda depende de investimentos em capacitação, desenvolvimento de ferramentas alinhadas às normas nacionais e validação prática em edificações reais, além da integração com tecnologias como IoT e gêmeos digitais. Ressalta-se que, apesar da automação, o BIM não substitui o julgamento técnico, especialmente diante das limitações na representação do comportamento humano em situações de emergência.

A revisão sistemática evidencia que, embora os softwares sejam capazes de automatizar etapas importantes, como a verificação de conformidade normativa, a simulação de fluxos de evacuação e a integração com modelos de incêndio, eles não substituem o papel do profissional de segurança. As decisões relacionadas à viabilidade das rotas de fuga, ao comportamento humano e à gestão de riscos dependem de julgamento técnico e

experiência prática, aspectos que os sistemas automatizados ainda não reproduzem de forma confiável.

No contexto brasileiro, o avanço do BIM está associado à padronização de processos, adaptação às normas locais e iniciativas institucionais como a Estratégia BIM BR. Em síntese, o BIM se consolida como ferramenta estratégica para a segurança contra incêndios, mas seu pleno potencial depende da integração entre tecnologia, validação empírica e qualificação profissional.

REFERÊNCIAS

- [1] KK NAJI, M. et al. Revisão da transformação digital. IEEE Access, v. 12, p. 31461–31487, 2024.
- [2] EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. BIM Handbook. Hoboken: Wiley, 2018.
- [3] SILVA, A. Pesquisas sobre inovação em BIM. Revista de Engenharia e Construção, v. 12, n. 3, p. 45–56, 2021.
- [4] NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES (NIBS). US National BIM Program. Washington, D.C., 2025.
- [5] BUILDINGSMART INTERNATIONAL. IFC Certification Participants. Disponível em: <https://technical.buildingsmart.org/services/certification>. Acesso em: 12 set. 2025
- [6] ISLAS-TOSKI, M.; CUEVAS, E.; PÉREZ-CISNEROS, M.; ESCOBAR, H. Agent-based evacuation modeling. Smart Cities, v. 7, p. 3165–3187, 2024..
- [7] TRAN, V.; TRAN, H.; NGUYEN, T. BIM adoption challenges. Engineering Journal, v. 28, n. 8, p. 79–98, 2024.
- [8] WANG, B.; ZHANG, J.; GUO, J.; LU, Y. BIM-based virtual environment. Automation in Construction, v. 46, p. 104–113, 2014.
- [9] SUN, Q.; TURKAN, Y. BIM-based simulation framework for evacuation. Automation in Construction, v. 118, p. 103294, 2020.
- [10] TAN, L.; HU, M.; LIN, H. Agent-based simulation of building evacuation: combining human behavior with predictable spatial accessibility in a fire emergency. Information Sciences, v. 295, p. 53–66, 2015

- [11] RONCHI, E.; NILSSON, D. Fire evacuation in high-rise buildings. *Fire Science Reviews*, v. 2, p. 1–21, 2013.
- [12] ZHANG, W.; LONG, Y. BIM-based simulation of evacuation. *Automation in Construction*, v. 127, p. 103707, 2021.
- [13] YANG, L.; WANG, X.; LIU, H. BIM and evacuation simulation. *Buildings*, v. 12, n.3, p. 451–468, 2022.
- [14] FISCHER, C.; SCHÖNFELDER, J.; KIM, J. Automated rule-checking of evacuation routes using IFC models. *Journal of BuildingEngineering*, Amsterdam, v. 76, p. 108634, 2023.
- [15] FISCHER, S.; URBAN, H.; SCHRANZ, C.; HASELBERGER, M.; SCHNABEL, F. Generation of new BIM domain models... *Developments in the Built Environment*, Amsterdam, v. 19, p. 100499, 2024.
- [16] YAKHOU, A.; FISCHER, C.; KIM, J. Evac4BIM add-in. *Fire*, v. 6, n. 2, p. 85–101, 2023.
- [17] XU, Y. et al. General code checking using BIM. *Automation in Construction*, v. 158, p. 105040, 2025.
- [18] ZHAO, X.; HUANG, L.; SUN, Z.; FAN, X.; ZHANG, M. Exit-location optimisation with BIM and ontology. *Automation in Construction*, v. 150, p. 104842, 2023.
- [19] ZHENG, X.; LI, C.; DENG, F. Integrating BIM and FDS for library evacuation. *Automation in Construction*, v. 140, p. 104330, 2022.
- [20] KIM, H.; LEE, J.; PARK, S. BIM-FDS evacuation in metro stations. *Fire Safety Journal*, v. 132, p. 103690, 2022.
- [21] SCHÖNFELDER, J.; FISCHER, C.; HASSAAN, A. Vision-based enrichment of BIM models. *Fire Technology*, v. 60, p. 1441–1460, 2024.
- [22] HASSAAN, M.; OTT, P. A.; DUGSTAD, A.; TORRES, M. A.; BORRMANN, A. Emergency floor plan digitization. *Sensors*, v. 23, p. 8344, 2023.
- [23] SUKMONO, A. et al. Terrestrial laser scanning for evacuation simulation. *Civil Engineering and Architecture*, v. 9, n. 7, 2129–2139, 2021.
- [24] LI, C.; DENG, F.; ZHAO, Y. Hybrid fuzzy-BIM models. *Buildings*, v. 15, n. 3, p. 513–528, 2025.
- [25] SABBAGHZADEH, M. et al. BIM-based optimisation of fire safety measures. *Sustainability*, v. 14, n. 3, 1626, 2022.
- [26] OMIDBEYK, M.; GHAVAMI, M. Multi-agent simulation of population evacuation. *Journal of Building Engineering*, v. 111, 113035, 2025.
- [27] DENG, H.; FAN, Z.; WEI, X.; DENG, Y. An ontology-based approach to dynamic indoor fire emergency evacuation path planning with BIM integration. *Advanced Engineering Informatics*, Amsterdam, v. 57, p. 102456, 2025.
- [28] HASSAAN, M.; OTT, P. A.; DUGSTAD, A.; TORRES, M. A.; BORRMANN, A. Emergency floor plan digitization. *Sensors*, v. 23, p. 8344, 2023..
- [29] SUN, Q.; TURKAN, Y. BIM-based simulation framework for evacuation. *Automation in Construction*, v. 118, p. 103294, 2020..
- [30] HASSAAN, A.; SCHÖNFELDER, J.; FISCHER, C. Digitizing legacy evacuation plans using deep learning. *Automation in Construction*, v. 157, p. 104987, 2023.
- [31] GODES, R.; ZHAO, Y.; LI, C. BIM-based sustainable evacuation optimization. *Sustainability*, Basel, v. 16, n. 9, p. 7532, 2024.
- [32] LIN, Y.; CHEN, Z. Rule-based BIM fire checking. *Automation in Construction*, v. 155, p. 105042, 2024.
- [33] LUO, X.; ZHENG, T.; YANG, J. Cloud BIM collaboration. *Sustainability*, v. 16, n. 6, p. 3920, 2024..
- [34] CHEN, L.; ZHAO, Y.; LI, C. IoT-based BIM monitoring systems for fire emergency management. *Automation in Construction*, Amsterdam, v. 154, p. 105014, 2024..
- [35] TANG, L.; LIU, Y.; KIM, S. Linking BIM and CMMS. *Facilities*, v. 43, n. 2, p. 135–150, 2025.
- [36] KANG, D.; WU, Z.; LIN, Y. Data collection for BIM-based evacuation validation. *Fire*, v. 7, p. 412, 2024.
- [37] WU, Z.; KANG, D.; LIN, Y. Standardized metrics for BIM-based evacuation. *Fire*, v. 8, n. 1, p. 67–82, 2025.