XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8898

Desempenho energético, BIM e certificação em edificações públicas universitárias: uma Revisão Sistemática da Literatura

Energy Performance, BIM, and Certification in Public University Buildings: A Systematic Literature Review

Renata Camelo Lima
Universidade Federal de Alagoas | Maceió | Brasil | renata.camelo@ifal.edu.br
Selene Maíra Morales
Universidade Federal de Alagoas | Maceió | Brasil | selene.morales@proinfra.ufal.br
Juliana Oliveira Batista
Universidade Federal de Alagoas | Maceió | Brasil | juliana.batista@fau.ufal.br

Resumo

A eficiência energética em edificações públicas no Brasil tem sido impulsionada por instrumentos como o Programa Brasileiro de Etiquetagem para Edificações (PBE Edifica). Entretanto, mesmo com a obrigatoriedade de etiquetagem na Administração Pública Federal, sua aplicação permanece limitada e pouco integrada aos processos de projeto. Nas Instituições Federais de Ensino Superior (Ifes), essa questão é agravada pela escala e complexidade do parque edificado. Nesse contexto, o Building Information Modeling (BIM) emerge como infraestrutura informacional capaz de integrar modelagem, simulação e gestão ao longo do ciclo de vida. Este artigo analisa seu potencial na integração entre modelagem, avaliação de desempenho energético e certificação, por meio de revisão sistemática da literatura. Os resultados indicam que, apesar dos avanços na simulação e o potencial para suporte à decisão, a integração com a certificação ainda ocorre de forma fragmentada.

Palavras-chave: Eficiência energética. BIM. Certificação energética. Edificações públicas universitárias.

Abstract

Energy efficiency in public buildings in Brazil has been driven by regulatory instruments such as the Brazilian Building Labeling Program (PBE Edifica). However, despite the mandatory labeling requirement for Federal Public Administration buildings, its implementation remains limited and weakly integrated into design processes. In Federal Higher Education Institutions (Ifes), this issue is further intensified by the scale and complexity of the building stock. In this context, Building Information Modeling (BIM) emerges as an informational infrastructure capable of integrating modeling, simulation, and management throughout the building lifecycle. This article analyzes its potential to support the integration between modeling, energy performance assessment, and certification through a systematic literature review. The results indicate that, despite advances in simulation and its potential for decision support, integration with certification processes remains fragmented.

Keywords: Energy efficiency. BIM. Building Energy Certification. Public University Buildings.

INTRODUÇÃO

A eficiência energética em edificações públicas tem se consolidado como eixo estratégico das políticas de sustentabilidade no Brasil, sendo progressivamente incorporada por meio de instrumentos normativos. Nesse contexto, o Programa Brasileiro de Etiquetagem para Edificações (PBE Edifica) estabelece critérios para classificação do desempenho energético, incentivando a busca por soluções técnicas mais eficientes para as edificações. A obrigatoriedade de etiquetagem na Administração Pública Federal, instituída pela Instrução Normativa 02/2014 do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão [1], reforça esse movimento ao vincular o desempenho energético a processos formais de contratação e gestão. Apesar desses avanços, a avaliação energética ainda ocorre, com frequência, em caráter *ex-post*, ou seja, após a definição do projeto ou a conclusão da obra, o que reduz seu potencial como instrumento de apoio à tomada de decisão. Estudos indicam que a simulação energética permite quantificar ganhos de eficiência, mas sua aplicação permanece limitada por entraves institucionais e operacionais [2][3], evidenciando a desconexão entre avaliação normativa e processo de concepção.

No setor público, essa limitação é agravada por condicionantes institucionais, como o ciclo orçamentário, que privilegia o menor custo inicial em detrimento do custo ao longo do ciclo de vida da edificação, e pela fragmentação entre as etapas de projeto, construção, operação e manutenção. No caso das Instituições Federais de Ensino Superior (Ifes), a complexidade é ampliada pela escala e diversidade do parque edificado. Nesse cenário, o Building Information Modeling (BIM) emerge como infraestrutura informacional capaz de integrar dados ao longo do ciclo de vida das edificações, uma vez que possibilita a incorporação de atributos técnicos e paramétricos aos modelos digitais, viabilizando análises de desempenho energético desde as fases iniciais de projeto. Evidências indicam que modelos BIM podem apoiar a identificação de pontos críticos e a simulação de cenários de melhoria, além de gerar relatórios compatíveis com requisitos normativos quando adequadamente parametrizados [4]. Contudo, sua aplicação ainda enfrenta limitações associadas à qualidade dos dados, à ausência de padrões consolidados de parametrização e às dificuldades de interoperabilidade entre plataformas.

Paralelamente, a discussão sobre padronização de edificações públicas, especialmente no setor educacional, tem evoluído para modelos paramétricos orientados por desempenho, que substituem projetos rígidos por estruturas adaptáveis às condições locais. Estudos indicam que tais modelos podem reduzir custos e prazos, desde que conciliem repetição tipológica e flexibilidade projetual [5][6]. Experiências internacionais, como os baseline designs no Reino Unido e as diretrizes COBIM na Finlândia [7], demonstram a viabilidade dessa abordagem ao integrar detalhamento técnico, interoperabilidade e adaptação contextual [8][9]. Nesse contexto, o BIM assume papel central ao viabilizar a integração entre geometria e dados de desempenho e o suporte à tomada de decisão. Ainda assim, persiste uma lacuna na articulação entre instrumentos normativos, processos de projeto e tecnologias digitais, cuja superação é fundamental para ampliar a efetividade das políticas de eficiência energética, especialmente no contexto das Ifes.

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar o potencial do Building Information Modeling (BIM) na integração entre modelagem, avaliação de desempenho energético e instrumentos normativos, por meio de uma revisão sistemática da literatura, com ênfase no contexto das Instituições Federais de Ensino Superior (Ifes).

PLANEJAMENTO E FORMALIZAÇÃO DA RSL

A revisão sistemática da literatura foi conduzida com base no protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), estruturada nas etapas de identificação, triagem e elegibilidade dos estudos. Adotou-se estratégia de busca iterativa, adequada a campo interdisciplinar emergente, visando articular evidências ainda dispersas na literatura.

Na fase inicial da revisão, definiu-se como questão principal de pesquisa: Como a literatura científica recente tem abordado a integração entre BIM, desempenho energético e certificação de edificações? Para responder a essa questão, foram estabelecidas três subquestões orientadoras: (i) quais abordagens, métodos e aplicações têm sido utilizados para integrar BIM, desempenho energético e certificação de edificações; (ii) quais desafios, limitações e lacunas são identificados quanto à integração entre BIM, simulação energética e instrumentos normativos de certificação; e (iii) em que medida os estudos analisados podem subsidiar a aplicação de BIM, desempenho energético e certificação em edificações públicas e educacionais.

As buscas foram realizadas nas bases Scopus e Web of Science, selecionadas por sua abrangência multidisciplinar, sendo organizadas em dois conjuntos temáticos: o conjunto A, referente à temática principal (BIM, eficiência energética, certificação e edificações educacionais), e o conjunto B, de caráter complementar (parametrização, padronização e edificações escolares). Essa divisão foi adotada devido à baixa incidência de estudos que abordam simultaneamente todos os eixos temáticos.

DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Foram definidos critérios de inclusão e exclusão visando assegurar a atualidade, consistência metodológica e aderência temática dos estudos. Consideraram-se publicações entre 2021 e 2026, incluindo artigos científicos e trabalhos de conferência revisados por pares, nos idiomas inglês e espanhol. Foram excluídos documentos como capítulos de livros, editoriais e relatórios técnicos.

A seleção temática foi restrita às áreas de engenharia, energia, ciências ambientais, sustentabilidade e arquitetura. Também foram excluídos estudos sem relação direta com a integração entre BIM, desempenho energético ou instrumentos normativos.

Após a aplicação dos critérios, os registros foram exportados em formato BibTeX e organizados para triagem. No conjunto A, a estratégia inicial foi reformulada para ampliar a recuperação, resultando em 9 registros na Web of Science e 524 na Scopus, dos quais os 50 mais relevantes foram selecionados. No conjunto B, a busca inicial não

retornou resultados, sendo ajustada para obtenção de 12 estudos na Web of Science e 23 na Scopus.

APLICAÇÃO DOS TESTES DE RELEVÂNCIA

A triagem dos estudos foi realizada em dois níveis, correspondentes aos testes de relevância 1 (TR1) e 2 (TR2). O TR1 consistiu na leitura de títulos, resumos e palavras-chave, com exclusão de registros duplicados, fora do escopo ou com abordagem tangencial. Como resultado, foram selecionados 17 artigos no conjunto A e 10 no conjunto B.

O TR2 consistiu na leitura integral dos estudos, considerando pertinência teórica, consistência metodológica e contribuição para os objetivos da pesquisa. Ao final, foram selecionados 11 artigos no conjunto A e 5 no conjunto B, compondo o corpus final da revisão sistemática. O quadro 1 apresenta a síntese dos resultados de seleção, que são detalhados individualmente no quadro 2.

Quadro 1: Informações gerais sobre os artigos encontrados em cada base de dados.

Busca	Base de Dados	N° de artigos encontrados	N° de artigos selecionados	Descartados após TR1	Selecionados após TR1	Selecionados após TR2
A	Web of Science	9	9	42	17	11
	Scopus	524	50			
B	Web of Science	12	12	25	10	5
	Scopus	23	23			

Fonte: as autoras.

Quadro 2: Detalhamento dos estudos considerados na RSL.

ID Referência	Autor	Ano	País	Título
[10]	An, N. et al.	2024	China	From Building Information Modeling to Building Energy Modeling: Optimization Study for Efficient Transformation
[11]	Bonomolo, M.; Di Lisi, S.; Leone, G.	2021	Itália	Building Information Modelling and Energy Simulation for Architecture Design
[12]	Bracht, M. K.; Melo, A. P.; Lamberts, R.	2021	Brasil	A Metamodel for Building Information Modeling-Building Energy Modeling Integration in Early Design Stage

[13]	Carvalho, J. P. et al.	2021	Portugal	BIM-Based Energy Analysis and Sustainability Assessment — Application to Portuguese Buildings
[14]	Ciacci, C. et al.	2022	Itália	Evaluation of the Cost-Optimal Method Applied to Existing Schools Considering PV System Optimization
[15]	de Paula, L. M.; Olufa, A.; Tatari, O.	2025	EUA	BIM-Based Machine Learning Framework for Early-Stage Building Energy Performance Prediction
[16]	Fitriani, H. et al.	2022	Indonésia	Investigation of Energy Saving Using Building Information Modeling for Building Energy Performance in Office Building
[17]	Hammes, S. et al.	2026	Áustria	Ten questions concerning building information modeling (BIM): Energy-efficiency in design, construction, and operation
[18]	Mady, A. et al.	2024	Egito	A Generative Design Approach to Improving the Environmental Performance of Educational Buildings in Hot Arid Climates. (Assiut National University as a Case Study)
[19]	Mohammadi, S. et al.	2022	Irã	Generative Design and IEQ Performance Optimization of School Buildings Based on a Parametric Algorithm
[20]	Rahman, M.; Mim, S. A.; Oshin, S. A.	2021	Bangladesh	Integration of Building Information Modeling (BIM) and LEED for a Green Building Rating
[21]	Rizehbandi, S.; Taghaddos, H; Sadatnya, A.	2025	Irã, Canadá	An Integrated Machine Learning and Optimization Framework for Enhancing Sustainable Building Design
[22]	Schwartz, Y. et al.	2022	Reino Unido	Modelling platform for schools (MPS): The development of an automated One-By-One framework for the generation of dynamic thermal simulation models of schools
[23]	Singh, M. M.; Deb, C.; Geyer, P.	2022	Bélgica, Índia, Alemanha, Suíça	Early-stage design support combining machine learning and building information modelling
[2]	Song, H.; Liu, Y.; Deng, Q.	2025	China	A Two-Stage Generative Optimization Framework for “Daylighting Schools”: A Case Study in the Lingnan Region of China
[9]	Tsikas, P. et al.	2025	Grécia	BIM-Based Machine Learning Application for Parametric Assessment of Building Energy Performance

Fonte: as autoras.

EXTRATOS RELEVANTES DA RSL

PANORAMA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA

A análise da produção científica recente (2021–2026) evidencia um campo em consolidação, com predominância de abordagens aplicadas e uso intensivo do BIM como suporte à análise de desempenho energético. De modo geral, os estudos convergem para a utilização do BIM como base para simulação energética em fases iniciais de projeto, configurando a vertente dominante da literatura. Nessa abordagem, o modelo informacional fornece dados para ferramentas especializadas, permitindo análises paramétricas e comparativas de cenários [16][22]. Tal integração é particularmente relevante no estágio ex-ante, quando decisões projetuais exercem maior impacto, embora ainda enfrente limitações relacionadas à interoperabilidade, à disponibilidade de dados e ao custo computacional [20].

Uma segunda linha de investigação, menos recorrente, busca articular o BIM a processos de certificação energética, ainda que de forma parcial. Nesses casos, o modelo digital é utilizado como fonte de dados para sistemas normativos, com avanços associados a esquemas interoperáveis como o gbXML. No entanto, persistem limitações na troca de informações e necessidade de intervenções manuais, comprometendo a confiabilidade e escalabilidade [11][12]. Mesmo nesses estudos, não se observa a consolidação de fluxos contínuos entre modelagem, simulação e certificação, evidenciando fragmentação sistêmica.

De forma complementar, a literatura aponta para uma linha emergente que articula BIM com parametrização, design generativo e inteligência computacional, ampliando o suporte à tomada de decisão. Essas abordagens integram simulação ambiental multiobjetivo e algoritmos de otimização para avaliação simultânea de variáveis como conforto térmico, iluminação natural e consumo energético [18][23][19], sendo aplicadas tanto em projetos quanto em estratégias de retrofit e modelagem em escala de estoque [14][21].

Os achados dos estudos que integraram a RSL, em relação à contribuição para integração entre eficiência energética, BIM e certificação de edificações, bem como no que diz respeito aos desafios e limitações identificadas, estão sistematizados no quadro 3.

Quadro 3: Achados relevantes dos estudos.

ID Referência	Contribuição para Integração (BIM/ Eficiência Energética/Certificação)	Desafios e Limitações
[10]	Estratégia de otimização da conversão BIM para BEM via IFC, com reparo automático de geometria e divisão de zonas térmicas.	Inconsistências de modelagem entre usuários; perda de dados térmicos no gbXML; dificuldade com formas complexas.
[11]	Metodologia de interação entre Archicad (BIM) e EcoDesigner STAR (BEM) via gbXML e IFC para transporte de dados térmicos.	Falta de interação bidirecional completa; perda de informações na conversão; limitações na personalização de radiadores.

[12]	Integração entre BIM e metamodelo para prever carga térmica via gbXML, visando a certificação de etiquetagem brasileira (PBE Edifica).	Interoperabilidade total não alcançada; inconsistências no gbXML exigem ajustes manuais nos modelos autorais.
[13]	Valida framework BIM (Revit + Cypetherm) para agilizar análise energética e certificação de sustentabilidade (SBToolPT-H).	Lacunas de interoperabilidade IFC/gbXML; sistemas renováveis exigem entrada manual ou ferramentas externas.
[14]	Subsídios metodológicos para processos integrados de retrofit energético e apoio à decisão, embora sem uso explícito de BIM.	Limitações do método *cost-optimal*, sobretudo na valoração insuficiente de benefícios ambientais e não energéticos.
[15]	Estrutura BIM e ML para prever Intensidade de Uso de Energia (EUI). Utiliza Revit, Insight e Weka para análise.	Escassez de conjuntos de dados BIM-energia validados; pré-processamento de ML ocorre fora do ambiente BIM nativo.
[16]	Investiga BIM (Revit + GBS) para avaliação energética e economia de energia comparando padrões ASHRAE e SNI.	Dificuldades na transferência de dados entre ferramentas; falta de detalhes gera incertezas na simulação inicial.
[17]	Gêmeos Digitais (DT) e Linked Data para integrar BIM, BEM, automação (BACS) e ciclo de vida (LCA).	Interoperabilidade fragmentada; alto esforço manual para geometrias de simulação; sobrecarga de dados IoT.
[18]	Abordagem de design generativo para melhorar o desempenho ambiental (conforto térmico, visual, EUI e emissões) usando Revit e Grasshopper.	Conflitos entre objetivos (luz natural vs. conforto térmico); planos típicos nacionais ignoram orientação específica.
[19]	Uso de algoritmos generativos e otimização (NSGA-2) em modelos paramétricos para IEQ (térmico, visual e CO_{2}) via EnergyPlus e Radiance.	Complexidade na otimização de múltiplos objetivos conflitantes; alto custo computacional do processo.
[20]	Avalia pré-certificação LEED integrando BIM e simulações no Green Building Studio para otimizar desempenho.	Alto custo inicial de tecnologias passivas e renováveis, apesar da redução no custo do ciclo de vida.
[21]	Framework semi-automatizado com ML (Random Forest) e algoritmos (NSGA-II) integrados ao BIM para prever consumo e CO_{2} .	Simulações BPS tradicionais são lentas; limitação no escopo de materiais e necessidade de bases de dados robustas.
[22]	Modelling Platform for Schools (MPS): framework para geração automatizada de modelos térmicos dinâmicos de estoques escolares.	Dependência de bases de dados (OS, DEC) que podem conter dados ausentes ou inconsistentes em geometrias complexas.
[23]	Combina BIM e Machine Learning para fornecer predições rápidas de EUI em estágios iniciais de design e análise de sensibilidade.	Incerteza no design inicial; alto tempo de simulações dinâmicas; ML não suporta pátios ou telhados inclinados.

[2]	Framework de otimização generativa para "Daylighting School" integrando iluminação natural e atividades externas via Redes Neurais (ANN).	Iluminação desigual em escolas densas; custos computacionais proibitivos para simulações de larga escala sem ANN.
[9]	Combina modelagem BIM e Machine Learning (ML) para avaliação paramétrica instantânea de desempenho energético e orientação.	Análises multifatoriais manuais consomem tempo; falta de sincronização resulta em erros de transcrição de dados.

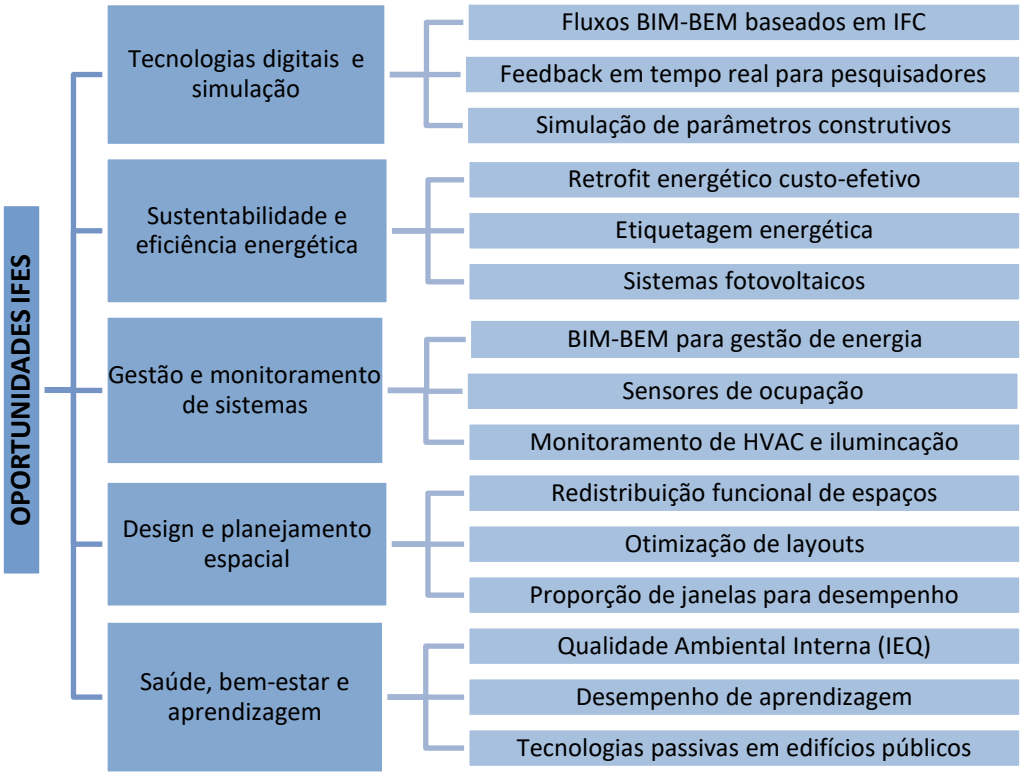
Fonte: as autoras.

Convém destacar a baixa incidência de estudos brasileiros sobre o tema. No contexto da RSL aqui apresentada, apenas um trabalho foi encontrado [3], demonstra a viabilidade de integrar modelos BIM a metamodelos de predição de carga térmica por meio do formato aberto gbXML, visando automatizar etapas do processo de classificação energética proposto na Instrução Normativa do Inmetro para edificações residenciais. Os resultados indicam que a utilização de metamodelos baseados em redes neurais artificiais permite realizar análises de desempenho com reduzido tempo computacional, favorecendo a incorporação da avaliação energética ainda nas fases iniciais de projeto. Contudo, os autores evidenciam importantes limitações relacionadas à interoperabilidade entre plataformas, especialmente devido às inconsistências na exportação de dados pelos diferentes softwares BIM, à necessidade de ajustes manuais nos modelos e à ausência de padronização na implementação dos formatos de intercâmbio abertos. Tais achados reforçam que, embora o BIM apresente potencial para subsidiar processos futuros de automatização da etiquetagem energética no âmbito do PBE Edifica, sua aplicação efetiva no contexto brasileiro ainda depende do avanço na padronização dos fluxos informacionais, do aprimoramento da interoperabilidade e da consolidação de requisitos normativos compatíveis com processos digitais integrados.

Apesar desses avanços, a integração entre BIM, modelagem paramétrica e certificação energética permanece limitada, ocorrendo, em geral, como etapa externa aos fluxos de projeto. Assim, observa-se que o campo ainda é marcado por fragmentação na articulação entre modelagem, avaliação de desempenho e instrumentos normativos, evidenciando a necessidade de abordagens integradas, especialmente no contexto das edificações públicas educacionais.

Com relação aos estudos no âmbito de edificações universitárias, percebe-se que ainda há muito a ser explorado, considerando-se que apenas 31,25% dos estudos trabalham diretamente com esta tipologia. Todavia, os achados das pesquisas recentes desdobram-se em subsídios para aplicação no contexto das instituições de ensino, que podem ser compreendidos a partir dos eixos temáticos ilustrados na figura 1.

Figura 1: Desdobramentos possíveis para as Ifes.



Fonte: as autoras.

Destaca-se, inicialmente, o potencial do BIM para apoiar processos de retrofit energético, por meio da integração entre modelagem e simulação energética (BIM–BEM), automatizando análises de desempenho, reduzindo retrabalho e subsidiando decisões ainda nas fases iniciais de projeto. Os estudos também apontam possibilidades de aplicação do BIM na gestão operacional da energia em campi universitários, mediante integração com sensores e sistemas de monitoramento, favorecendo o acompanhamento contínuo do consumo energético. Adicionalmente, observa-se potencial para utilização dessas tecnologias em processos de etiquetagem e certificação energética, reduzindo erros humanos e ampliando a eficiência das avaliações. Por fim, estratégias de otimização paramétrica e análise custo-benefício demonstram capacidade para orientar intervenções de retrofit e implantação de sistemas fotovoltaicos, contribuindo para a melhoria do desempenho energético e para a formulação de políticas institucionais de sustentabilidade nas Ifes.

LACUNAS DA LITERATURA

A análise da produção científica evidencia lacunas relevantes quando o foco é direcionado à arquitetura educacional pública de ensino superior. A primeira refere-se à ausência de integração direta entre BIM, avaliação de desempenho energético e instrumentos normativos de certificação. Embora haja avanços no uso do BIM para simulação energética e, em menor grau, para suporte à certificação, essas dimensões permanecem fragmentadas. Nos estudos analisados, a certificação raramente é incorporada de forma automatizada aos fluxos BIM, sendo conduzida como etapa

externa, o que limita sua influência nas decisões projetuais, especialmente nas fases iniciais.

Uma segunda lacuna diz respeito à baixa incidência de estudos aplicados ao setor público, em especial às Instituições Federais de Ensino Superior (Ifes). A literatura concentra-se em edificações genéricas, sem considerar condicionantes institucionais como o ciclo orçamentário, os processos licitatórios e a fragmentação entre projeto, obra e operação. No caso das Ifes, essa complexidade é ampliada pela diversidade tipológica e pela intensidade de uso, fatores que impactam diretamente o desempenho energético.

Observa-se, também, uma lacuna na articulação entre parametrização, padronização e desempenho energético. Embora estudos recentes explorem modelagem paramétrica e design generativo, essas abordagens permanecem centradas em edifícios individuais. Há escassez de investigações que utilizem a parametrização como base para modelos tipológicos replicáveis e adaptáveis a diferentes contextos climáticos, alinhados a critérios de eficiência energética e padronização institucional.

Por fim, destaca-se a baixa integração entre as fases de projeto, operação e manutenção, evidenciada pela dissociação entre as abordagens predominantes na literatura e os processos institucionais de avaliação. Enquanto os estudos analisados concentram-se majoritariamente em estratégias *ex-ante*, com ênfase na simulação de desempenho energético em fases iniciais de projeto, a aplicação prática dos instrumentos normativos ocorre, em geral, em caráter *ex-post*, assumindo função predominantemente verificadora. Essa assimetria revela a ausência de fluxos contínuos de retroalimentação entre desempenho projetado e desempenho em uso, bem como a limitada incorporação de dados operacionais nos processos de concepção, comprometendo a efetividade das estratégias de eficiência energética.

Em síntese, as lacunas identificadas apontam para a necessidade de abordagens integradas que articulem BIM, parametrização, avaliação de desempenho energético e instrumentos normativos, incorporando as especificidades das edificações educacionais públicas de ensino superior.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão sistemática da literatura demonstra que o BIM possui elevado potencial para apoiar a eficiência energética em edificações públicas, especialmente nas Ifes, ao integrar modelagem digital, avaliação de desempenho e suporte à tomada de decisão. Os estudos analisados evidenciam avanços na integração entre modelagem paramétrica, simulação energética e processos decisórios nas fases iniciais de projeto, bem como no desenvolvimento de soluções adaptativas aplicáveis à gestão do parque edificado. Entretanto, persistem limitações relacionadas à fragmentação entre modelagem, simulação e certificação normativa, além de entraves institucionais e técnicos, como interoperabilidade, padronização de dados e baixa maturidade dos fluxos informacionais. Conclui-se que a consolidação do BIM como infraestrutura

informacional para eficiência energética em edificações públicas depende não apenas de avanços tecnológicos, mas também de mudanças organizacionais e institucionais que favoreçam abordagens integradas e orientadas ao desempenho.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, os autores utilizaram o ChatGPT (OpenAI) para apoio à revisão gramatical, melhoria da clareza textual, síntese de informações e organização de trechos do manuscrito. Também foi utilizado o NotebookLM (Google) como ferramenta de apoio à extração de dados dos estudos selecionados para elaboração de tabela. Após a utilização dessas ferramentas, os autores revisaram, validaram e editaram todo o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] BRASIL. Instrução Normativa nº 02, de 04 de junho de 2014. **Dispõe sobre a obrigatoriedade da ENCE em edificações públicas federais.** Diário Oficial da União, Brasília, 05 jun. 2014.

[2] SONG, H.; LIU, Y.; DENG, Q. **A two-stage generative optimization framework for "daylighting schools": a case study in the Lingnan region of China**. *Buildings*, v. 15, n. 21, p. 3821, 2025. DOI: 10.3390/buildings15213821.

[3] PEREIRA, Bruna da Silva; CARDOSO, Grace Tiberio. **Critérios e desafios na etiquetagem de edifícios públicos: investigação no Instituto Federal Sul-Rio-Grandense – IFSul.** Revista Educação Gráfica, v. 25, n. 3, p. 274–286, 2021.

[4] DANTAS, G. F. B.; SOARES, I. C. de M.; ALMEIDA, R. M. **Análise preliminar da eficiência energética de edificações públicas com base em BIM.** Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 8, n. 1, p. 11–21, 2023.

[5] OPOKU, Alex; MILLS, Andrew. **Exploring the use of standardised design in addressing the shortage of primary school places in the UK.** Built Environment Project and Asset Management, v. 9, n. 2, p. 228–241, 2019.

[6] UNITED KINGDOM. **Department for Education. Baseline designs for schools guidance.** London, 2021.

[7] BUILDINGSMART FINLAND. **Common BIM Requirements (COBIM)**. Helsinki, 2012.

[8] TOMAZELLI, Saile; RUTSATZ, Hiago; JESUS, Luciana. **Análise de viabilidade econômica de medidas de eficiência energética segundo PBE Edifica, aplicado a uma instituição pública.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2020.

[9] TSIKAS, Panagiotis *et al*. **BIM-based machine learning application for parametric assessment of building energy performance**. Energies, v. 18, n. 1, 2025. DOI: 10.3390/en18010201.

[10] AN, Na *et al.* **From building information modeling to building energy modeling: optimization study for efficient transformation**. Buildings, v. 14, n. 8, 2024. DOI: 10.3390/buildings14082444.

[11] BONOMOLO, Marina; DI LISI, Simone; LEONE, Giuliana. **Building information modelling and energy simulation for architecture design**. Applied Sciences, v. 11, n. 5, p. 1–32, 2021. DOI: 10.3390/app11052252.

[12] BRACHT, M. K.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **A metamodel for building information modeling–building energy modeling integration in early design stage.** Automation in Construction, v. 121, 2021. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103422.

[13] CARVALHO, José Pedro et al. **BIM-based energy analysis and sustainability assessment: application to Portuguese buildings**. Buildings, v. 11, n. 6, 2021. DOI: 10.3390/buildings11060246.

[14] CIACCI, C.; BANTI, N.; DI NASO, V.; BAZZOCCHI, F. **Evaluation of the cost-optimal method applied to existing schools considering PV system optimization**. *Energies*, v. 15, n. 2, p. 611, 2022. DOI: 10.3390/en15020611.

[15] DE PAULA, Liliane Magnavaca; OLOUFA, Amr; TATARI, Omer. **BIM-based machine learning framework for early-stage building energy performance prediction.** Applied Sciences, v. 16, n. 1, 2026. DOI: 10.3390/app16010320.

[16] FITRIANI, Heni et al. **Investigation of energy saving using building information modeling for building energy performance in office building**. Civil Engineering and Architecture, v. 10, n. 4, p. 1280–1292, 2022. DOI: 10.13189/cea.2022.100404.

[17] HAMMES, Sascha *et al.* **Ten questions concerning building information modeling (BIM): energy-efficiency in design, construction, and operation.** Building and Environment, v. 296, 2026. DOI: 10.1016/j.buildenv.2026.114497.

[18] MADY, A.; ELSAGHEER, S.; ASAWA, T.; MAHMOUD, H. **A generative design approach to improving the environmental performance of educational buildings in hot arid climates (Assiut National University as a case study)**. Future Cities and Environment, v. 10, n. 1, p. 1–16, 2024. DOI: 10.5334/fce.236.

[19] MOHAMMADI, S.; MAHLABANI, Y. G.; KARIMI, F.; MOHAMMADHOSEINI, B. **Generative design and IEQ performance optimization of school buildings based on a parametric algorithm**. Arquitetura Revista, v. 18, n. 2, p. 199–221, 2022. DOI: 10.4013/arq.2022.182.05.

[20] RAHMAN, Mizanoor; MIM, Sohana Alam; OSHIN, Shamanta Azad. **Integration of Building Information Modeling (BIM) and LEED for a green building rating**. Journal of Engineering Science, v. 12(2), 2021. DOI: 10.3329/jes.v12i2.54630.

[21] RIZEHBANDI, Shirin; TAGHADDOS, Hosein; SADATNYA, Amir. **An integrated machine learning and optimization framework for enhancing sustainable building design**. Energy and Buildings, v. 353, 2026. DOI: 10.1016/j.enbuild.2025.116900.

[22] SCHWARTZ, Y.; KOROLIJA, I.; GODOY-SHIMIZU, D.; HONG, S. M.; DONG, J.; GRASSIE, D.; MAVROGIANNI, A.; MUMOVIC, D. **Modelling platform for schools (MPS): the development of an automated one-by-one framework for the generation of dynamic thermal simulation models of schools.** *Energy and Buildings*, v. 254, 111566, 2022. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.111566.

[23] SINGH, Manav Mahan; DEB, Chirag; GEYER, Philipp. **Early-stage design support combining machine learning and building information modelling.** Automation in Construction, v. 136, 2022. DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104147.