



Eficiência energética em patrimônio histórico – Uma análise das possibilidades com a utilização do BIM

Energy efficiency in historical heritage - An analysis of the possibilities with the use of BIM

Eficiencia energética en el patrimonio histórico - Un análisis de las posibilidades con el uso de BIM

Paula Rodrigues Barroso

Mestranda PROAC – Programa de Pós-graduação do Ambiente Construído, UFJF, Brasil.
paularbarroso@gmail.com

Luiza Gonçalves Britto

Mestranda PROAC – Programa de Pós-graduação do Ambiente Construído, UFJF, Brasil.
luizabrittog@gmail.com

Marcos Martins Borges

Professor Doutor, UFJF, Brasil.
marcos.borges@engenharia.ufjf.br

Lucas de Souza Lima

lucaslima.arqt@gmail.com



RESUMO

A demanda mundial pela redução de emissão de CO₂ coloca em evidência a participação das edificações como um dos setores de maior consumo energético na atualidade. Nesse contexto, a utilização de processos e tecnologias relacionados ao BIM torna-se fundamental para assegurar a agilidade e eficácia, tanto na elaboração do projeto quanto ao longo de todo o ciclo de vida da edificação. Entretanto, a redução na emissão de CO₂ apenas atingirá níveis significativos caso as edificações históricas sejam incluídas no processo. Este estudo tem como objetivo analisar os processos BIM quanto à sua viabilidade de oferecer otimizações em relação à eficiência energética em edificações históricas. Com isso, procura-se identificar potencialidades e limitações relatadas por outros autores. A pesquisa é considerada de natureza exploratória, com abordagem qualitativa. A metodologia utilizada foi a revisão narrativa, buscando esclarecer conceitos e relatar experiências anteriores de aplicação da tecnologia BIM em edificações históricas com vistas a se alcançar a eficiência energética, respeitando todos os aspectos relacionados às demandas de um bem histórico. A pesquisa aponta que o BIM se mostra promissor para o desenvolvimento de projetos de retrofit energético de edificações históricas, porém muito há que se evoluir quanto a tecnologias e processos, sobretudo em reação à interoperabilidade entre softwares distintos. Os resultados permitiram entender a produção científica sobre o tema, com destaque à ordenação do processo BIM, às possibilidades e barreiras encontradas. Ademais, percebeu-se a pouca produção científica acerca das edificações históricas, sendo a maioria dos estudos, referentes a fase de projeto de novas edificações.

PALAVRAS-CHAVE: Patrimônio histórico. Eficiência energética. BIM.

ABSTRACT

The global demand for reducing CO₂ emissions highlights the role of buildings as one of the sectors with the highest energy consumption today. In this context, using processes and technologies related to BIM becomes essential to ensure agility and efficiency, both in the elaboration of the project and throughout the entire life cycle of the building. However, the reduction in CO₂ emissions will only reach significant levels if historic buildings are included in the process. This study aims to analyze BIM processes regarding their feasibility of offering optimizations concerning energy efficiency in historic buildings. In doing so, it seeks to identify potentialities and limitations reported by other authors. The research is considered exploratory, with a qualitative approach. The methodology used was a narrative review, seeking to clarify concepts and report previous experiences of applying BIM technology in historic buildings to achieve energy efficiency, respecting all aspects related to the demands of a historic property. The research indicates that BIM is promising for developing energy retrofit projects for historic buildings. However, there is still much to be done in terms of technologies and processes, especially in terms of interoperability between different software programs. The results allowed us to understand the scientific production on the subject, with emphasis on the organization of the BIM process, the possibilities and barriers encountered. Furthermore, it was noted that there is little scientific production on historic buildings, with most studies referring to the design phase of new buildings.

KEYWORDS: Historic heritage. Energy efficiency. BIM.

RESUMEN

La demanda global de reducción de emisiones de CO₂ pone de relieve el papel de la edificación como uno de los sectores con mayor consumo energético en la actualidad. En este contexto, el uso de procesos y tecnologías relacionadas con BIM se vuelve imprescindible para asegurar agilidad y eficacia, tanto en la preparación del proyecto como a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio. Sin embargo, la reducción de las emisiones de CO₂ sólo alcanzará niveles significativos si se incluyen los edificios históricos en el proceso. Este estudio tiene como objetivo analizar los procesos BIM en cuanto a su viabilidad para ofrecer optimizaciones en relación a la eficiencia energética en edificios históricos. Con esto buscamos identificar potencialidades y limitaciones reportadas por otros autores. La investigación se considera de carácter exploratorio, con enfoque cualitativo. La metodología utilizada fue una revisión narrativa, buscando aclarar conceptos y reportar experiencias previas de aplicación de la tecnología BIM en edificios históricos con miras a lograr la eficiencia energética, respetando todos los aspectos relacionados con las exigencias de un bien histórico. La investigación señala que BIM es prometedor para el desarrollo de proyectos de modernización energética de edificios históricos, pero queda mucho por hacer en términos de tecnologías y procesos, especialmente en reacción a la interoperabilidad entre diferentes softwares. Los resultados permitieron comprender la producción científica sobre el tema, con énfasis en la ordenación del proceso BIM, las posibilidades y barreras encontradas. Además, hubo poca producción científica sobre edificios históricos, refiriéndose la mayoría de los estudios a la fase de diseño de nuevos edificios.

PALABRAS CLAVE: Patrimonio histórico. Eficiencia energética. BIM.



1 INTRODUÇÃO

A diminuição no consumo de energia e nas emissões de CO₂ na atmosfera é uma demanda global. De acordo com a última publicação do Relatório de Status Global para Edifícios e Construção (UN - GSR, 2022) o consumo total de energia e as emissões de CO₂ do setor de edificações aumentaram em 2021 acima dos níveis pré-pandêmicos. A demanda de energia dos edifícios aumentou cerca de 4% de 2020 até hoje – o maior aumento nos últimos 10 anos e as emissões de CO₂ das operações de edifícios atingiram um recorde histórico. O setor de edificações e construção não está alinhado com a trajetória necessária para atingir a descarbonização até 2050, conforme estabelecido pela meta do Acordo de Paris.

Na União Europeia, cerca de 75% do parque imobiliário é considerado energeticamente ineficiente (European Commission, 2018). Cerca de um terço dos edifícios na Europa têm mais de 50 anos (Eurostat, 2020). Esses dados demonstram que os edifícios históricos são, em sua maioria, ineficientes em termos energéticos, tendo altos custos com o consumo de energia e, consequentemente, emitindo grande quantidade de CO₂. Além disso, muitas vezes essas edificações são subutilizadas devido às condições de conforto interno serem insatisfatórias (Gremmelspacher, *et al.*, 2021).

O retrofit energético dessas edificações é uma possibilidade para aumentar o seu ciclo de vida e diminuir a necessidade de novas construções, consequentemente, poupando a emissão de CO₂ incorporado ao processo de obra. Diante da necessidade de adequação às demandas contemporâneas, que buscam integrar conforto ambiental e eficiência energética, surgem desafios de propor estratégias de intervenção que respeitem os valores de preservação patrimonial e a integridade histórica do bem (Japiassú, 2019; Gremmelspacher, *et al.*, 2021).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021), o retrofit significa melhorar a eficiência energética e operacional da edificação existente, através da incorporação de novas tecnologias para a sua atualização. Entretanto, desenvolver um projeto de retrofit em edificação existente protegida pelos órgãos de salvaguarda patrimonial pode ser complexo, pois as legislações de proteção do patrimônio histórico restringem as possibilidades de modificações na envoltória conforme o nível de tombamento. Como destacado por Japiassú (2019), as intervenções no patrimônio histórico precisam seguir princípios, tais como, distinguibilidade; mínima intervenção; reversibilidade; e compatibilidade de técnicas e materiais, restringindo diversas possibilidades de intervenções para melhorias energéticas.

Milone *et al.* (2015) constata em sua pesquisa que as tecnologias acessíveis para edificações reconhecidas pelo elevado desempenho térmico frequentemente revelam uma incompatibilidade com a integridade arquitetônica da construção. Caso não seja possível a utilização da tecnologia mais eficaz para a economia de energia, deve-se considerar a economia de energia possível com o uso de tecnologias compatíveis com o patrimônio histórico que, embora não ofereçam os melhores desempenhos energéticos, são consistentes com a conservação histórica e arquitetônica do edifício (Milone *et al.*, 2015). A avaliação da compatibilidade de um elemento novo com um edifício histórico é um tópico amplamente discutido no âmbito da preservação arquitetônica.



Nesse contexto, é evidente que a busca pela eficiência energética em edificações históricas representa um desafio relevante para a comunidade científica e profissional envolvida na área de conservação patrimonial. No entanto, para enfrentar de maneira abrangente e precisa as complexidades inerentes a esse objetivo, torna-se imperativo adotar abordagens inovadoras que aproveitem os avanços tecnológicos disponíveis. É nesse contexto que se faz necessária a associação entre o *Heritage Building Information Modeling* (HBIM) e o modelo de performance energética, constituindo uma abordagem completa que não apenas viabiliza a representação digital precisa de estruturas históricas, mas também potencializa a avaliação e o aprimoramento da eficiência energética dessas edificações

A interseção desses conceitos promete abrir novos horizontes de pesquisa e prática, oferecendo soluções integradas e sustentáveis para o desafio de conciliar a preservação do passado com as demandas urgentes do presente. Portanto, este estudo busca contribuir para essa trajetória de inovação, explorando as potencialidades e as dificuldades relatadas por outros autores em literatura disponível em periódicos científicos.

2 MÉTODO

De acordo com Gil (2022), no que se refere aos objetivos do trabalho, a pesquisa é considerada de natureza exploratória, com abordagem qualitativa.

O método utilizado para esta pesquisa foi a revisão narrativa de literatura. Utilizou-se a combinação dos seguintes termos de busca com os seguintes operadores booleanos: “Eficiência energética” OR “Retrofit energético” AND “Edificações históricas” OR “Edificações Tombadas” OR “Patrimônio histórico” AND “BIM” OR “BEM” OR “HBIM”. A busca foi feita com os termos em português e em inglês. Não houve rigidez na análise combinatória dos termos. Buscou-se artigos científicos no Portal de Periódicos Capes, sem restringir a data de publicação dos estudos. Buscou-se também, através do Google Acadêmico, monografias, teses, dissertações, publicações oficiais de governo e livros que abordassem a temática a ser explorada.

Através da revisão dos materiais encontrados objetivou-se analisar os processos e ferramentas BIM quanto à sua viabilidade de oferecer otimizações em relação à eficiência energética em edificações históricas.

Este artigo foi estruturado em 5 partes, a saber: (1) A pertinência do tema foi introduzida ao leitor. Em seguida, (2) foram apresentados os métodos e objetivo do trabalho. Na terceira parte (3) foi apresentada a revisão da literatura, contendo os conceitos-chave deste estudo, (3.1) Retrofit energético de edificações históricas; (3.2) Eficiência energética; (3.3) BIM, HBIM e performance energética, (3.4) Interoperabilidade e (3.5) Revisão reflexiva das contribuições. Em seguida, (4) foram dadas as considerações finais e, por fim, (5) foram listadas as referências consultadas.

3 REVISÃO DE LITERATURA



Esta seção apresenta o referencial teórico, trazendo explicações dos principais conceitos abordados na elaboração e entendimento deste estudo, finalizando com uma reflexão das contribuições. Apresenta-se, pois, uma contextualização, alguns conceitos e experiências de outros autores acerca das três grandes áreas a serem exploradas neste estudo: Retrofit energético de edificações históricas, eficiência energética, *Building Information Modelling* (BIM) e sua atuação quanto a edificações históricas e performance energética.

3.1 Retrofit energético de edificações históricas

Representando um consumo considerável da energia produzida no planeta, as edificações tornaram-se temática de várias políticas globais desenvolvidas e implantadas no âmbito de eficiência energética (Buildings - GSR, 2022). Dentro desse enquadramento, as construções de valor histórico revelam uma capacidade intrínseca para a implementação de táticas voltadas à diminuição do gasto energético e ao aprimoramento das condições ambientais, demandando, conseqüentemente, uma avaliação precisa do edifício, especialmente quando os princípios de conservação patrimonial são aplicáveis (Japiassú, 2019).

Definem-se como edificações históricas aquelas que possuem valores próprios e de significância cultural, podendo ser "valores arquitetônicos, estéticos, históricos, documentais, arqueológicos, econômicos, sociais, políticos e espirituais ou simbólicos" (Feilden, 2003, p.1).

Segundo Vinagre *et al.* (2016) a concepção de manter os edifícios históricos intocados é uma perspectiva de natureza romântica, assim como ignorar a importância de preservá-los constitui um raciocínio inadequado. A dinâmica de mudança da sociedade modifica também o uso dos espaços, sobretudo no que diz respeito às novas tecnologias, e, conseqüentemente, ao uso de energia pelas edificações. Com isso, surge a necessidade de retrofits.

Retrofit é a renovação e adaptação de um edifício existente às novas demandas de seus usuários (Japiassú, 2019). De acordo com a NBR15575-1 retrofit é a "remodelação ou atualização do edifício ou de sistemas, através da incorporação de novas tecnologias e conceitos, normalmente visando valorização do imóvel, mudança de uso, aumento da vida útil, eficiência operacional e energética" (ABNT, 2021, p.16). Por ser uma ação de adequação da edificação, em contraposição à demolição e à construção de uma nova edificação, o retrofit contribui para a sustentabilidade evitando o consumo de novos recursos naturais (Japiassú, 2019). Kass *et al.* (2017) ressaltam que uma das vantagens do retrofit é reviver o valor arquitetônico do edifício histórico e Martinez-Molina *et al.* (2016) reiteram a possibilidade de prolongar a vida útil dessa construção.

Quando se fala de retrofit energético, as edificações históricas apresentam restrições complexas não existentes nas edificações contemporâneas. Segundo Milone *et al.* (2015), muitas das tecnologias disponíveis e utilizadas em prédios novos, são invasivas para prédios de valor histórico e que, devido a isso, muitas vezes, opta-se por elementos técnicos "não invasivos", mas com desempenho inferior. Webb (2017) reitera que é necessário se atentar para que o retrofit não provoque perda material no bem tombado, descaracterizando elementos de relevância histórica.



Para a formulação de abordagens de intervenção voltadas para o aprimoramento da eficiência térmica e energética, bem como para a salvaguarda dos atributos do patrimônio cultural em edifícios históricos, é essencial uma perspectiva abrangente, abarcando a compreensão dos princípios de conservação, elementos históricos, construtivos, condição de preservação e desempenho da edificação em análise.

Além dos edifícios históricos que são utilizados como museus, esta questão energética é particularmente significativa para edifícios históricos utilizados para fins residenciais, pois esses edifícios continuamente ocupados são mais consumidores de energia (Milone *et al.*, 2015).

Apesar do crescente interesse pela investigação da eficiência energética em construções históricas, muitos regulamentos de eficiência energética ainda isentam tais edifícios de sua aplicação. Entretanto, é possível identificar iniciativas de caráter internacional que evidenciam uma crescente atenção voltada para aprimorar o rendimento energético dessas edificações, tais como, a instalação do Comitê Científico Internacional sobre Energia e Sustentabilidade no Conselho Internacional de Monumentos e Sítios (*International Council of Monuments and Sites – ICOMOS*¹); e a publicação da CSN EN 16883 (2017), que trata sobre “Diretrizes para melhorar o desempenho energético de edificações históricas”. Outro exemplo é o desenvolvimento da “Task SHC 59 – *Renovating historic buildings towards zero energy*”, tarefa colaborativa com o Anexo 76 do “IEA-EBC Programme”². Nessa tarefa são estudadas formas de renovar às edificações históricas para se tornarem edificações com necessidades quase nulas de energia (*Nearly Zero Energy Buildings – NZEB*) (Japiassú, 2019).

Soares (2023) afirma que conhecer o comportamento energético dos edifícios históricos é o primeiro passo para a identificação do potencial de economia de energia existente nos mesmos e o consequente desenvolvimento de diretrizes voltadas para a sua eficiência energética. Ademais, a impossibilidade de modificar sistemas construtivos, elementos e componentes das envoltórias, entre outras modificações físicas nas edificações históricas podem dificultar o alcance da eficiência energética, uma vez que a edificação não foi concebida pensando-se nesse conceito (Soares, 2023).

O processo de retrofit energético em edificações históricas é complexo e desafiador. Faz-se necessário a compreensão dos conceitos que envolvem a eficiência energética e é fundamental explorar abordagens inovadoras que possam aprimorar ainda mais a eficácia do processo, como por exemplo, o BIM.

3.2 Eficiência energética

De acordo com o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE, 2017) eficiência energética é o sistema eficiente que reduz perdas e otimiza o uso da energia. A eficácia energética está ligada a alguns aspectos fundamentais: a diminuição do consumo energético, a preservação do ecossistema (mediante a mitigação da emissão de gases de efeito estufa e de

¹ O ICOMOS é uma associação civil não governamental ligada à Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (*United Nations Educational, Scientific and Cultural*) – Unesco.

² *International Energy Agency's Energy in Buildings and Communities Programme*. O Programa Energia em Edifícios e Sistemas Comunitários é um dos programas de colaboração tecnológica da Agência Internacional de Energia.



agentes poluentes diversos), a garantia da estabilidade energética (através da diminuição da dependência de recursos energéticos externos), a redução de encargos financeiros (tanto para os proponentes quanto para os consumidores finais), a promoção da atividade econômica expansiva e o fomento da geração de oportunidades de trabalho.

O termo “eficiência energética” está muito voltado para ações de mitigação do consumo de energia, entretanto, o potencial de conservação da energia elétrica também deve ser levado em conta (CGEE, 2017). Essa conservação gera vários benefícios à sociedade, a partir da redução dos impactos ao meio ambiente e estímulo à inovação tecnológica e social (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2020).

Em relação às construções, a diferenciação de eficiência entre edifícios emerge quando um deles consome menos energia, preservando, contudo, as mesmas condições ambientais propícias para o desempenho das atividades humanas. É relevante salientar que a eficiência energética denota sua capacidade essencial de proporcionar conforto térmico, visual e acústico aos ocupantes, associada ao consumo energético reduzido (Lamberts, Dutra e Pereira, 2014).

Antes de qualquer projeto de retrofit energético e melhoria de conforto ambiental de uma edificação, é necessário que se faça uma auditoria energética e a verificação do desempenho térmico pois essas são importantes ações para avaliar o estado real da edificação (Japiassú, 2019). No cenário atual, dispõe-se de múltiplas abordagens para a análise do consumo energético e do rendimento térmico de edificações existentes, sendo o emprego de tecnologias para simulação virtual uma das formas mais avançadas e promissoras no âmbito do mercado de Arquitetura e Construção Civil.

A simulação energética aplicada a edificações preexistentes oferece uma vantagem fundamental: a obtenção antecipada de informações concernentes ao comportamento térmico efetivo da estrutura, bem como do padrão de consumo dos ocupantes. Com base nesses dados empíricos, a margem de incerteza nas análises é reduzida, particularmente quando os usuários do edifício, anteriores ao processo de requalificação energética, permanecem os mesmos. Todavia, é pertinente destacar que tal abordagem é viável somente na medida em que o avaliador tem acesso às faturas, documentando o consumo de eletricidade, gás e água do ano precedente. Por meio da compreensão dessas informações, é possível ao avaliador realizar a calibração do modelo computacional utilizando os registros efetivos de consumo dos ocupantes.

Para além da calibração das simulações computacionais por meio dos registros efetivos de consumo do ano precedente, é recomendado por Waltz (2000) que, ao efetuar intervenções de reabilitação, o profissional deve recorrer não somente a documentos oficiais de projeto, mas também valer-se de levantamentos e representações *as built* e, especialmente, realizar entrevistas com os usuários da edificação, inclusive membros das equipes de operação, que podem possuir conhecimento acerca de questões pertinentes ao edifício e estar a par de intervenções realizadas após a construção original.

No que concerne às simulações computacionais aplicadas a edificações, englobando não apenas a avaliação da eficiência energética, observa-se a crescente adoção das tecnologias BIM. Esse tema será tratado em maior profundidade na próxima seção.

3.3 BIM, HBIM e performance energética



No prosseguimento desta investigação voltada para a otimização da eficiência energética em patrimônios históricos, emerge a necessidade de um aprofundamento na compreensão dos conceitos intrínsecos ao BIM e HBIM.

Este capítulo se destina a explorar o papel do BIM no cenário de reabilitação energética de edificações históricas, lançando luz sobre as potenciais sinergias e vantagens que podem ser obtidas por meio desses processos. Enquanto as sessões antecedentes delinearão o panorama do retrofit energético e a importância da eficiência energética no contexto patrimonial, o foco agora se direciona para a análise das possibilidades proporcionadas pela utilização do BIM.

Por meio de uma revisão das abordagens propostas por diversos pesquisadores, busca-se estabelecer um arcabouço sólido de conhecimento que sirva como base para as reflexões a serem apresentadas ao término deste estudo. A presente sessão não apenas delineará os conceitos centrais dessas metodologias, mas também contextualizará suas aplicações em projetos de reabilitação energética de patrimônios históricos, proporcionando melhor compreensão das potencialidades e desafios inerentes a essa abordagem integrativa.

3.3.1 BIM

Segundo Sacks *et al.*, 2021, a definição de BIM consiste numa tecnologia de modelação associada a processos com o objetivo de produzir, comunicar e analisar modelos de edifícios.

Diferentemente do procedimento de *Computer-aided design* (CAD), o BIM opera mediante a conjugação de informações geométricas e semânticas, estabelecendo conexões entre os modelos de edificação e proporcionando um suporte abrangente ao compartilhamento de dados ao longo do ciclo de vida da construção (Sacks *et al.*, 2021).

O BIM viabiliza a formulação de uma representação digital do empreendimento e o modelo não apenas reflete com precisão a geometria da edificação, mas também incorpora informações pertinentes que poderão ser utilizadas na documentação, planejamento, pré-fabricação e realização do projeto. Após a finalização da construção, esse modelo permite gerenciar a operação, manutenção da edificação e até a sua demolição (Sacks *et al.*, 2021). O BIM vai além de uma ferramenta de modelagem tridimensional de edifícios, pois também é capaz de monitorar, gerir e manipular informações diversas, com vistas a ter impacto no conforto do utilizador final, na gestão após a ocupação, no desempenho energético e até mesmo no desenvolvimento urbano (Isayeva, 2018).

Na abordagem metodológica do BIM, tem-se o conceito de "relações paramétricas". A modelagem paramétrica engloba a geração de um modelo digital mediante uma série de preceitos ou algoritmos pré-definidos, designados como "parâmetros". Em outras palavras, o modelo ou seus componentes são automaticamente construídos com base em critérios lógicos internos, ao invés de dependerem de manipulação manual (Isayeva, 2018).

Em síntese, o BIM emerge como uma metodologia robusta e inovadora que transcende a simples modelagem tridimensional de edifícios. Alinhando tecnologia e processos, o BIM propicia a criação de representações digitais precisas e ricas em informações, não apenas na



geometria das edificações, mas também de dados relevantes que permeiam todo o ciclo de vida de um empreendimento. Essa breve incursão pelo universo do BIM estabelece o alicerce necessário para a próxima sessão, onde será explorado os conceitos que permeiam o HBIM.

3.3.2 HBIM

O termo HBIM foi introduzido em 2007 para modelar edificações históricas, combinando tecnologias como *laser scanner* e câmeras digitais. Com a evolução tecnológica, utilizam-se nuvens de pontos, fotogrametria e drones para criar representações precisas de geometrias complexas (Moura e Costa, 2020).

Desde a sua origem, o BIM tem sido empregado com o propósito de otimizar as etapas de concepção e gestão de novas edificações. Os ganhos proporcionados por essa tecnologia no âmbito de novos projetos são amplamente reconhecidos entre os profissionais das áreas de Arquitetura e Engenharias. No entanto, até então, subsistia uma significativa demanda por uma abordagem análoga que direcionasse sua aplicação para a gestão e o desenvolvimento de projetos de retrofit e requalificação voltados às edificações históricas. Essas edificações tombadas pelo patrimônio histórico e cultural possuem peculiares condições de manutenção e eventualmente precisam de intervenções para melhorias de infraestrutura, funcionalidade, acessibilidade e sustentabilidade (Carvalho, 2014).

Para sanar essa demanda, surgiu o HBIM para suprir o aspecto histórico que faltava e atender à necessidade de conservação de estruturas patrimoniais. Segundo Tolentino (2018) HBIM, nada mais é, que a extensão do conceito BIM para as edificações históricas e objetiva a documentação, a análise e a conservação dessas edificações.

Volk, Stengel e Schultman (2014) revisaram mais de 180 publicações sobre o tema e como conclusão apontaram a consistência e visualização do projeto, estimativa de custos, detecção de interferências e colaboração entre as partes interessadas como as principais vantagens do BIM e, como benefícios potenciais a documentação do patrimônio, a manutenção e consistência da informação, o controle de qualidade, o monitoramento, a gestão da energia e do espaço e a sua utilização nos projetos de reabilitação.

Segundo Dore e Murphy (2012) o HBIM compreende um procedimento que inclui uma abordagem de engenharia reversa, onde, inicialmente, os elementos arquitetônicos são identificados por meio de técnicas como varredura a laser ou fotogrametria. Posteriormente, os dados obtidos são integrados a elementos paramétricos, resultando na criação do modelo integral. O resultado do HBIM consiste em um modelo geométrico abrangente, que incorpora informações detalhadas sobre o objeto, como materiais e métodos construtivos. A partir desse ponto, é possível gerar cortes, detalhes, vistas ortográficas e perspectivas, fornecendo uma base para a análise e preservação de elementos históricos, estruturas e ambientes.

Quando se trata de edificações históricas, o levantamento arquitetônico preciso e a criação de modelos 3D são tarefas complexas, devido às formas rebuscadas encontradas nesse tipo de edificação. Alguns recursos tecnológicos estão diretamente ligados ao HBIM e são essenciais ao processo de documentação, principalmente no que se refere ao registro das



formas complexas e das patologias existentes. A varredura a laser (para gerar nuvens de pontos) e a fotogrametria são tecnologias que facilitam nesse processo (Tolentino, 2018).

A criação de modelos geométricos apresenta uma complexidade única quando se trata de conservar edifícios históricos. Isso envolve considerar diversos elementos, como a evolução ao longo do tempo, os métodos e sistemas construtivos utilizados, a composição dos materiais empregados, as técnicas artesanais utilizadas e a vasta gama de particularidades ligadas a aspectos sociais, culturais e regionais (Moura e Costa, 2020).

A documentação dos impactos do tempo em edificações históricas é complexa, levando a uma ênfase na análise geométrica nos estudos sobre HBIM (Chiabrande, Turco e Rinaudo, 2017). No entanto, essa abordagem é considerada limitada, já que, no contexto do BIM, a abrangência das informações e a interconexão de dados são essenciais. Por isso, há iniciativas para complementar os modelos geométricos com dados não geométricos (Moura e Costa, 2020).

As tecnologias atuais simplificam o levantamento e documentação de edificações históricas com o uso do HBIM. No entanto, Japiassú (2019) destaca que, na busca por eficiência energética, muitos dados utilizados são aproximados devido à complexidade de capturar todos os detalhes geométricos e à falta de informações sobre os materiais e componentes construtivos. Além disso, é difícil considerar a heterogeneidade dos materiais e possíveis alterações ao longo do tempo. Essas limitações devem ser consideradas ao usar o HBIM para análise energética.

3.3.3 BIM para performance energética

O desenvolvimento de edifícios energeticamente eficientes requer a colaboração de diversos especialistas. Principalmente durante a fase inicial do projeto, são estabelecidos uma série de parâmetros construtivos que frequentemente abarcam objetivos multidisciplinares que podem ser divergentes e essas decisões tomadas nesse estágio possuem uma influência preponderante no desempenho subsequente do edifício. Fatores como o clima do local onde o edifício está situado até as propriedades térmicas dos materiais de construção adotados, influenciam diretamente o comportamento térmico da construção.

Ferramentas computacionais são usadas para avaliar o desempenho de energia térmica de edifícios, porém, o processo de modelagem de energia não é totalmente incorporado ao processo de projeto digital. O processo de transcrição de informações é manual, o que aumenta o tempo gasto na criação de modelos de análise de energia e aumenta também a chance de erros nos resultados das simulações. Dada a complexidade desse desafio, é reconhecida a importância do desenvolvimento de ferramentas computacionais para auxiliar de forma imprescindível o processo de projeto, originando assim a abordagem do *Building Energy Modelling* (BEM) (Bracht, Melo e Lamberts, 2021).

O BEM permite simular e comparar o desempenho energético de diferentes propostas de projeto, identificando modificações para reduzir o consumo (Gerrish *et al.*, 2017 e Betim, 2022). Segundo Ramaji, Messner e Leicht (2016) existem três fluxos de trabalho para o BEM: importação de modelos BIM para ferramentas de análise de energia, uso de aplicativos de



terceiros para converter arquivos BIM e exportação direta de modelos de análise de energia a partir do BIM. Contudo, a simulação de energia é complexa e demorada, exigindo dados como clima, comportamento dos ocupantes, orientação do edifício, materiais da construção e sistema dos serviços prediais (Maglad *et al.*, 2023 e Chau, Leung e Ng, 2015).

Como apontado por Azevedo e Tavares (2020), é mais efetivo empreender a análise energética desde a etapa inicial do planejamento de um projeto, uma vez que essa fase apresenta maior flexibilidade, possibilitando a realização de múltiplas alterações e a obtenção de economias energéticas substanciais. Contudo, busca-se nessa pesquisa, entender as possibilidades da aplicação do BEM em edificações já consolidadas e com peculiaridades inerentes ao valor histórico.

Aprimorar a eficiência energética de edifícios já construídos é um processo desafiador, devido às propriedades físicas praticamente imutáveis. O uso crescente de ferramentas BIM para avaliar o desempenho energético desses edifícios traz vantagens notáveis, permitindo, por meio de simulações, contrastar o desempenho atual com o projetado após uma renovação e identificar as opções de renovação mais eficazes (Pereira *et al.*, 2021).

Para Kamel e Memari (2019) o BIM desempenha um papel significativo na modelagem, simulação e gestão de dados energéticos, principalmente por sua habilidade em simplificar a manipulação de informações. Isso pode resultar na automatização da modelagem energética, na melhoria da visualização dos resultados, na capacidade de armazenar e estruturar novos dados de construção e, de maneira especial, na incorporação de informações em tempo real para manter um modelo de energia atualizado. Além disso, contribui para o aprimoramento das bibliotecas existentes ao adicionar novos atributos ao processo convencional de simulação energética.

Um dos principais ganhos ao empregar o BIM na simulação energética de construções é a automação do processo de modelagem. Isso pode resultar em economia de tempo, redução de despesas e minimização de erros humanos em relação à abordagem convencional de modelagem energética. Outra grande contribuição é a facilidade na apresentação de resultados em sistemas de gerenciamento de energia. Além disso, o BIM tem a capacidade de estruturar e guardar os dados relativos à energia da edificação. Por exemplo, sistemas de monitoramento energético em tempo real fornecem dados sobre o consumo de energia da edificação, temperatura e ocupação (Kamel e Memari, 2019).

O BIM engloba várias etapas do ciclo de vida da edificação, o que chamamos de dimensões do BIM. A análise energética faz parte do BIM 6D que se refere à sustentabilidade da edificação (Sacks *et al.*, 2021) porém, alguns autores introduziram o termo BEM como se o modelo energético fosse um modelo a parte, o que, teoricamente, não é recomendado na cadeia de produção BIM.

Na prática, o modelo energético geralmente é desenvolvido de forma separada do modelo central, contendo apenas os dados essenciais para a simulação energética. Contudo, a transferência de informações entre diferentes *softwares* pode causar perda de dados. Para aprofundar essa questão, a próxima seção abordará a interoperabilidade, um conceito fundamental para compreender a integração entre BIM, HBIM e BEM.



3.4 Interoperabilidade

Sacks *et al.* (2021) definem interoperabilidade como a capacidade de diferentes aplicações trocarem dados sem perdas, permitindo que várias ferramentas contribuam para o desenvolvimento de um projeto. Nenhum *software* pode cobrir todas as tarefas de um projeto de construção, o que torna a interoperabilidade essencial.

Moura e Costa (2020) identificaram problemas na troca de informações em uma metodologia HBIM aplicada a edifícios históricos, classificando-os em três dimensões: semântica (compreensão consistente dos dados), tecnológica (ferramentas e métodos de captura e compartilhamento) e processual (etapas harmoniosas para uso dos modelos).

No contexto de BIM e BEM, a interoperabilidade depende de formatos abertos como *Industry Foundation Classes* (IFC) e *Green Building XML* (gbXML). O IFC facilita a troca de informações entre *softwares* BIM e permite criar "vistas de conhecimento" para estruturar a informação relevante (*Model View Definition* – MVD). Já o gbXML simplifica a criação de modelos energéticos, mas problemas como perda de dados e inconsistências geométricas ainda são frequentes, como apontam Kamel e Memari (2019). Gerrish *et al.* (2017) reforçam que o BIM não integra facilmente dados de desempenho, resultando em perda de informações e dificuldades técnicas.

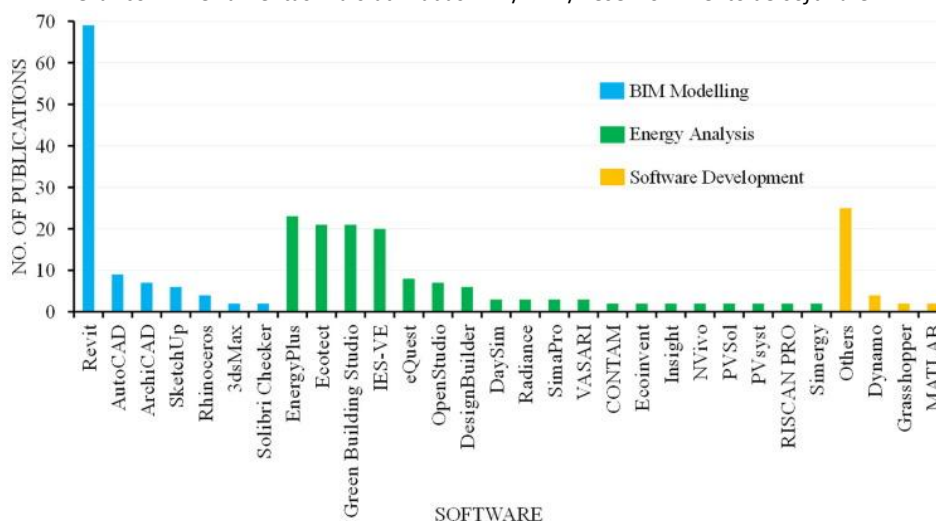
3.5 Revisão reflexiva das contribuições

Além da interoperabilidade, outros desafios no uso do BIM para análise de desempenho energético incluem a falta de clareza sobre quem é responsável pelos dados monitorados, conforme Gerrish *et al.* (2017). Barreiras comportamentais e técnicas dificultam a adoção do BIM, com a sobrecarga de informações e a acessibilidade sendo problemas recorrentes. A extração e interpretação não padronizadas de dados também são obstáculos, destacando a necessidade de estratégias que otimizem o uso de informações pelos profissionais.

Che, Chen e Nguyen (2010) apontam que a falta de interoperabilidade entre BIM e BEM resulta em perda de dados durante a troca de informações, exigindo a adição manual ou automática de dados ausentes nas ferramentas de simulação energética.

Pereira *et al.* (2021) identificaram 94 *softwares* voltados à modelagem BIM, análise de energia e desenvolvimento de *software*, facilitando a interoperabilidade e automação de processos. Os *softwares* mais utilizados pelos profissionais são mostrados no gráfico 1:

Gráfico 1 – Ferramentas mais utilizadas BIM/BEM/Desenvolvimento de *software*



Fonte: Pereira *et al.*, p.6, 2021.

O Autodesk Revit é o *software* de modelagem BIM mais utilizado, enquanto o EnergyPlus lidera na análise energética, seguido pelo EcoTect, Green Building Studio e IES-VE. A maioria dessas ferramentas é aplicada na avaliação energética de edifícios, com outras voltadas para simulação de iluminação, análise de ciclo de vida, fluxo de fluido e qualidade do ar. Para o desenvolvimento de *software*, novas ferramentas foram identificadas, referentes a várias linguagens de programação, apresentadas principalmente no Dynamo, Grasshopper e MATLAB. As duas primeiras são linguagens visuais que geralmente são incorporadas às ferramentas de modelagem BIM (Pereira *et al.*, 2021).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão de literatura deste estudo revela a necessidade de um método de integração e gestão de informações focado na plataforma BIM, capaz de apoiar diversas tarefas de planejamento e projeto.

O uso do BIM para simulação e otimização do desempenho energético tem crescido significativamente, visando reduzir a discrepância entre o desempenho projetado e o real após a construção. Contudo, há desafios de interoperabilidade entre *softwares* BIM e BEM, especialmente em edificações históricas, sendo a interoperabilidade semântica do HBIM um ponto crítico pouco explorado.

A integração de dados é essencial para a documentação e gestão das edificações, com o BIM se destacando como uma plataforma para compartilhamento de informações, embora edifícios mais antigos, como os históricos, ainda enfrentem desafios nesse sentido. O sucesso do BIM depende de sua capacidade de organizar e armazenar dados de forma eficaz, um aspecto em que a indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) está atrasada em comparação com o setor de Tecnologia da Informação (TI).

Embora haja vasta pesquisa sobre HBIM e BEM individualmente, a integração dos dois permanece inexplorada, representando uma lacuna significativa na literatura.

Para trabalhos futuros, sugere-se investigar a integração entre HBIM, BEM e Sistemas de Informação Geográfica (GIS). Considerando que a eficiência energética de uma edificação é



influenciada por seus arredores, uma visão holística das interações entre edifícios e seus arredores pode conduzir a uma abordagem mais eficaz para otimizar o desempenho energético.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - Desempenho. Parte 1-6. Rio de Janeiro. 2021. Disponível em: <https://www.abnt.org.br/>. Acesso em 21 de agosto de 2023.

AZEVEDO, N.; TAVARES, S. Interoperabilidade entre as ferramentas Revit e OpenStudio para simulação termoenergética. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 11, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/parc.v11i0.8653783>. Acesso em 16 de agosto de 2023.

BETIM, R. **Bim na reabilitação energética de edifícios comerciais**. Aplicação a sistemas de climatização. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Reabilitação de Edifícios da Universidade Novas de Lisboa), Lisboa, 2022. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/148844/1/Betim_2022.pdf. Acesso em 21 de agosto de 2023.

BRACHT, M.; MELO, A.; LAMBERTS, R. A metamodel for building information modeling-building energy modeling integration in early design stage, **Automation in Construction**, v. 121, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103422>. Acesso em 14 de agosto de 2023.

BUILDING SMART. **Industry Foundation Classes (IFC)** - An Introduction. Disponível em: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/mvd/>. Acesso em 21 de agosto de 2023.

CARVALHO, C. Conservação preventiva de edifícios e sítios históricos: pesquisa e prática. **Revista CPC**, Rio de Janeiro, n. 18, p. 141-153, 2014. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/cpc/article/view/88655>. Acesso em 21 de agosto de 2023.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. **Prospecção tecnológica no setor de energia elétrica**: evolução tecnológica nacional no segmento de eficiência energética. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2017. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10195/11009696/aneel_2017_6-8.pdf/8ffe175b-f2ac-4aab-bad6-37b7fd597aec?version=1.0. Acesso em 21 de agosto de 2023.

CHAU, C.; LEUNG, T.; NG, W. A review on Life Cycle Assessment, Life Cycle Energy Assessment and Life Cycle Carbon Emissions Assessment on buildings. **Applied Energy**, v. 143, p. 395-413, abr. 2015. Disponível em: DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.023>. Acesso em 22 de janeiro de 2024.

CHE, L.; CHEN, D.; NGUYEN, T. Using building information modeling for measuring the efficiency of building energy performance. In: **Proceedings of the International Conference on Computing in Civil Building Engineering**. 2010. Disponível em: <http://www.engineering.nottingham.ac.uk/icccbe/proceedings/pdf/pf83.pdf>. Acesso em 16 de agosto de 2023.

CHIABRANDO F.; TURCO, M.; RINAUDO, F. Modeling the decay in an HBIM starting from 3D point clouds. A followed approach for cultural heritage knowledge, **The International Archives of the Photogrammetry**, v. XLII-2/W5, p. 605-612, 2017. Disponível em: DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-605-2017. Acesso em 22 de janeiro de 2024.

CSN **EN 16883**: Conservation of Cultural Heritage-Guidelines For Improving the Energy Performance of Historic Buildings, 2017. 36p.

DORE, C.; MURPHY, M. Integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and 3D GIS for recording and managing cultural heritage sites, 2012, **18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia**, Milan, Italy, 2012, p. 369-376. Disponível em: DOI: 10.1109/VSM.2012.6365947. Acesso em 22 de janeiro de 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Ações para promoção da eficiência energética nas edificações brasileiras**: no caminho da transição energética. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/NT%20DEA-SEE-007-2020.pdf>. Acesso em 17 de setembro de 2024.



EUROPEAN COMMISSION, Directorate-General for Energy, Heald, S., Debrosses, N., Rademaekers, K. et al., **Study on energy prices, costs and subsidies and their impact on industry and households** – Final report, Publications Office, 2018. Disponível em: <https://data.europa.eu/doi/10.2833/825966>. Acesso em 21 de janeiro de 2024.

EUROSTAT, 2020. **EU Building Stock Observatory** – Energy. Disponível em: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/eu-building-stock-observatory_en. Acesso em 17 de setembro de 2024.

FEILDEN, B. **Conservation of Historic Buildings**. 3.ed. Oxford: Architectural Press (Elsevier), 2003. Disponível em: https://www.academia.edu/82194001/Feilden_M_B_Conservation_of_Historic_Buildings_Architectural_Press_2003_. Acesso em 17 de setembro de 2024.

GERRISH, T.; RUIKAR, K.; COOK, M.; JOHNSON, M.; PHILLIP, M.; LOWRY, C. BIM application to building energy performance visualisation and management: Challenges and potential, **Energy and Buildings**, v. 144, p. 218-228, 2017a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.032>. Acesso em 14 de agosto de 2023.

GERRISH, T.; RUIKAR, K.; COOK, M.; JOHNSON, M., PHILLIP, M. Using BIM capabilities to improve existing building energy modelling practices, **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 24, n. 2, p. 190-208, 2017b. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2015-0181>. Acesso em 22 de janeiro de 2024.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7 ed. Barueri [SP]: Atlas, 2022.

GREMMELESPACHER, J.; PIZARRO, R.; JAARVELD, M.; DAVIDSSON, H.; JOHANSSON, D. Historical building renovation and PV optimisation towards NetZEB in Sweden, **Solar Energy**, v. 223, p. 248-260, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.02.067>. Acesso em 13 de agosto de 2023.

ISAYEVA, A. **Aplicação do BIM à avaliação e gestão da eficiência energética de edifícios públicos**. 2018. 187 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Aveiro, Aveiro, 2018. Disponível em: <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/25381/1/Documento.pdf>. Acesso em 18 de agosto de 2023.

JAPIASSÚ, P. **Método para avaliação de retrofit energético em edificações históricas brasileiras**. 2019. 321f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/38668>. Acesso em 14 de agosto de 2023.

KAMEL, E.; MEMARI, A. Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions, **Automation in Construction**, v. 97, p.164-180, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.008>. Acesso em 14 de agosto de 2023.

KASS, K.; BLUMBERGA, A.; ZOGLA, G.; KAMENDERS, A.; KAMENDERS, E. Pre-assessment Method for Historic Building Stock Renovation Evaluation, **Energy Procedia**, v. 113, p. 346-353, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.04.004>. Acesso em 17 de agosto de 2023.

LAMBERTS, R; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência energética na arquitetura**. 3 ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf. Acesso em 22 de janeiro de 2024.

MAGLAD, A.; HOUDA, M.; ALROWAIS, R.; KHAN, A.; JAMEEL, M.; REHMAN, S.; KHAN, H.; JAVED, M.; REHMAN, M. Bim-based energy analysis and optimization using insight 360 (case study), **Case Studies in Construction Materials**, v. 18, 2023. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01755>. Acesso em 22 de janeiro de 2024.

MARTÍNEZ-MOLINA, A.; TORT-AUSINA, I.; CHO, S.; VIVANCOS, J. L. Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 61, p. 70–85, 2016. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.018>. Acesso em 17 de setembro de 2024.



MILONE, D.; PERI, G.; PITRUZZELLA, S.; RIZZO, G. Are the Best Available Technologies the only viable for energy interventions in historical buildings?, **Energy and Buildings**, v. 95, p. 39-46, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.004>. Acesso em 13 de agosto de 2023.

MOURA, N.; COSTA, A. HBIM e Interoperabilidade: Uma abordagem sistemática baseada em aplicações práticas. In.: **ptBIM 2020 – 3º Congresso Português de Building Information Modelling**, 2020, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Disponível em: https://books.fe.up.pt/index.php/feup/catalog/download/978-972-752-272-9/978-972-752-272-9_0621-0632/188?inline=1. Acesso em 16 de agosto de 2023.

PEREIRA, V.; SANTOS, J.; LEITE, F.; ESCÓRCIO, P. Using BIM to improve building energy efficiency – A scientometric and systematic review, **Energy and Buildings**, v. 250, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111292>. Acesso em 16 de agosto de 2023.

RAMAJI, I.; MESSNER, J.; LEICHT, R. Leveraging Building Information Models in IFC to perform energy analysis in OpenStudio. In: **SimBuild 2016: Building Performance Modeling Conference**, p. 251-258, 2016. Disponível em: https://publications.ibpsa.org/conference/paper/?id=simbuild2016_C033. Acesso em 18 de agosto de 2023.

SACKS, R.; EASTMAN, C.; LEE, G.; TEICHOLZ, P. **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Porto Alegre: Bookman, 2021. 3ª edição.

SOARES, M. **A utilização de sistema solar fotovoltaico em edificações históricas: a antiga Secretaria de estado da Fazenda de Minas Gerais, em Belo Horizonte/MG**. 2023. 81 f. Monografia (Especialização em sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/51209>. Acesso em 11 de agosto de 2023.

TOLENTINO, M. **A utilização do HBIM na documentação, na gestão e na preservação do Patrimônio Arquitetônico**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia. Salvador, p. 330. 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/27947>. Acesso em 16 de agosto de 2023.

UN - Environment Programme. **Global status report for buildings and construction 2022**. UN Environment programme, 2022. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>. Acesso em 17 de agosto de 2023.

VINAGRE, M.; LONGO, F.; NASCIMENTO, A.; BLASQUES, L.; FRANÇA, F. Energia solar fotovoltaica em edifícios históricos em Belém do Pará. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, v.23, n. 33, p.58-75. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5752/P.2316-1752.2016v23n33p58>. Acesso em 11 de agosto de 2023.

VOLK, R.; STENGEL, J.; SCHULTMANN, F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings: Literature review and future needs. **Automation in Construction**, v. 38, p. 109–127, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>. Acesso em 22 de janeiro de 2024.

WALTZ, P. **Computerized Building Energy Simulation Handbook**. The Fairmont Press, Liburn, 2000.

WEBB, A. Energy retrofits in historic and traditional buildings: a review of problems and methods. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 77, p. 748-759, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117301569>. Acesso em 11 de agosto de 2023.