

Sustentabilidade em projetos arquitetônicos com a utilização da tecnologia BIM: uma revisão sistemática da literatura

Sustainability in architectural projects using BIM technology: a systematic literature review

Luciana Mendes Ribeiro(1); Josyanne Pinto Giesta(2); Alfredo Costa Neto(3)

1 Arquiteta e Urbanista pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Discente do Mestrado Profissional do Programa de Pós-graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). Natal/RN, Brasil.

E-mail: luciana.ribeiro@escolar.ifrn.edu.br | ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1892-7688>

2 Doutora em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). Natal/RN, Brasil.

E-mail: josyanne.giesta@ifrn.edu.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0596-3821>

3 Mestre em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). Natal/RN, Brasil.

E-mail: alfredo.neto@ifrn.edu.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3967-6855>

Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, vol. 14, n. 1, p. 113-144, janeiro-junho, 2025 - ISSN 2318-1109

DOI: <https://doi.org/10.18256/2318-1109.2025.v14i1.5059>

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Resumo

As questões ambientais vêm se tornando pauta essencial quando se trata de crescimento das cidades e urbanização. Os profissionais da área de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) vêm buscando soluções mais sustentáveis desde as práticas projetuais até a execução das obras, passando pela escolha dos materiais e pela definição dos processos construtivos. Nesse cenário, a tecnologia digital *Building Information Modeling* (BIM) surge como aliado, ao facilitar etapas como analisar os problemas e encontrar a melhor solução para os conflitos identificados ainda na fase projetual do empreendimento a ser construído. Nesse sentido, busca-se entender como o BIM pode contribuir para auxiliar esses profissionais nas análises de soluções projetuais, para encontrar respostas mais assertivas voltadas para a sustentabilidade. A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) será a estratégia utilizada para conhecer o cenário atual com relação ao uso do BIM voltado a projetos arquitetônicos mais sustentáveis, bem como para identificar as lacunas existentes. Para esse fim será consultado o portal da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), com o intuito de identificar as principais bases de dados digitais que publicam textos que guardem relação com a temática estudada, nas quais será realizada a busca por artigos científicos publicados no período de 2014 a 2023, escritos e publicados em inglês e em português, que serão selecionados para análise de qualidade e extração de dados. Espera-se, portanto, identificar estudos que enfatizem a utilização do BIM como uma tecnologia para tomada de decisões no processo projetual, com enfoque nas soluções que busquem a sustentabilidade das construções, alinhado com as metas do ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis, associado com as metas do ODS 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura, nos quais sejam apontados os principais softwares, metodologias e tecnologias utilizados em projetos arquitetônicos com o auxílio do BIM, para então perceber quais aspectos ainda não foram estudados acerca da aplicabilidade do BIM como ferramenta de análise para projetos arquitetônicos mais sustentáveis.

Palavras-chave: Arquitetura Sustentável; Análise de Projeto; Modelagem da Informação da Construção; RSL.

Abstract

Environmental issues have become an essential agenda when it comes to city growth and urbanization. Architecture, Engineering and Construction (AEC) professionals have been looking for more sustainable solutions from design practices to the execution of works, including the choice of materials and the definition of construction processes. In this scenario, digital Building Information Modeling (BIM) technology has emerged as an ally, facilitating steps such as analyzing problems and finding the best solution to conflicts identified while still in the design phase of the project to be built. In this sense, the aim is to understand how BIM can help these professionals analyze design solutions in order to find more assertive responses aimed at sustainability. The Systematic Literature Review (RSL) will be the strategy used to understand the current scenario regarding the use of BIM for more sustainable architectural projects, as well as to identify existing gaps. To this end, the portal of the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) will be consulted in order to identify the main digital databases that publish texts related to the subject studied, in which a search will be carried out for scientific articles published between 2014 and 2023, written and published in English and Portuguese, which will be selected for quality analysis and data extraction. It is therefore hoped to identify studies that emphasize the use of BIM as a decision-making technology in the design process, with a focus on solutions that seek the sustainability of buildings, in line with the goals of SDG 11 - Sustainable Cities and Communities, associated with the goals of SDG 9 - Industry, Innovation and Infrastructure, in which the main software, methodologies and technologies used in architectural projects with the aid of BIM are pointed out, in order to understand which aspects have not yet been studied regarding the applicability of BIM as an analysis tool for more sustainable architectural projects.

Keywords: Sustainable Architecture; Project Analysis; Building Information Modeling; RSL.

1 Introdução

O crescimento da população urbana tem ido de encontro com o uso racional dos recursos naturais disponíveis. A partir dos desequilíbrios do desenvolvimento e da globalização, os recursos naturais não são suficientes para atender as demandas de consumo da sociedade, e a arquitetura atual não responde corretamente às demandas do nosso tempo (Oliveira *et al.*, 2016).

Diante disso, torna-se indispensável e imperioso pensar em projetar espaços urbanos mais sustentáveis, fazendo-se necessário primeiro que seja incutida nas práticas projetuais dos profissionais de arquitetura e engenharia soluções que visem criar espaços construídos mais sustentáveis, pois somente partindo da aplicação dessas soluções de projetos individuais, seja de uma edificação unifamiliar ou mesmo uma edificação multifamiliar, até um conjunto habitacional, por exemplo, será possível expandir essa prática para projetos maiores que englobem o espaço urbano como um todo. Ferreira *et al.* (2022) abordam esse conceito de efeito em cascata, para construção do espaço urbano inteligente e sustentável.

Nesse contexto, o profissional responsável em implementar essa mudança no conceito de seus projetos, precisará contar com ferramentas que permitam analisar o problema e encontrar a melhor solução para os conflitos identificados, ainda em fase projetual. Uma tecnologia digital que pode ser utilizada para esse fim é a Modelagem da Informação da Construção (*Building Information Modeling* - BIM), tornando a resposta projetual mais eficiente e econômica, uma vez que essa tecnologia permite a criação, de forma digital, de modelos virtuais precisos de uma edificação, oferecendo suporte a todas as fases de projeto, proporcionando análise e controle melhores do que são possíveis com os processos manuais (Sacks *et al.*, 2021).

Essa tecnologia permite analisar os elementos utilizados no processo projetual, através das informações vinculadas a eles, identificando qual a escolha mais assertiva para se obter um resultado mais sustentável. Existem, atualmente, diversos softwares que trabalham com a tecnologia BIM, a escolha de um deles está atrelada a familiaridade que o profissional de arquitetura ou engenharia tem com ele, assim como, com a finalidade das atividades a serem desenvolvidas por esse profissional. A interoperabilidade, característica inerente ao BIM, reforça seu papel como uma aliada nesse processo, ao viabilizar o compartilhamento e a reutilização de dados entre diferentes softwares e disciplinas, sem perder informações.

Portanto, vislumbra-se que a modelagem da informação por meio da tecnologia BIM poderá auxiliar esses profissionais nas análises projetuais, pois isso favorecerá a escolha da solução mais assertiva durante o processo de desenvolvimento de um projeto arquitetônico, quando o propósito for buscar resultados com foco na sustentabilidade das construções, alinhados com as metas do ODS 11 - Cidades

e Comunidades Sustentáveis, que visam, dentre outras coisas, garantir moradia e transporte seguros e de qualidade, além de mitigar os impactos ambientais provocados pela ocupação humana atrelada à expansão urbana, associados com as metas do ODS 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura, que se propõem a desenvolver infraestrutura de qualidade, confiável, sustentável e resiliente, modernizando as indústrias, nelas inclui-se a indústria da construção civil, com a adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente corretos (UNDP, 2023).

Este estudo faz parte de uma pesquisa de mestrado, cuja operacionalização segue as etapas previstas no método *Design Science Research* (DSR), dentre as quais, tem-se a etapa de conscientização do problema que conta com o desenvolvimento de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), a fim de conhecer os elementos ou parâmetros de sustentabilidade aplicados pelos profissionais de arquitetura e engenharia em suas soluções projetuais, identificar quais softwares, metodologias e tecnologias são mais utilizados em projetos arquitetônicos com o auxílio do BIM que busquem por soluções sustentáveis, bem como caracterizar o cenário atual dos trabalhos já realizados, que guardem relação com esse tema, a fim de perceber também quais aspectos ainda não foram estudados acerca da aplicabilidade dessa tecnologia como ferramenta de simulação e análise no desenvolvimento de projetos arquitetônicos sustentáveis.

2 Metodologia

Segundo Gil (2002) a pesquisa é um procedimento racional e sistemático que visa proporcionar respostas ao problema proposto, isso acontece quando não se tem informações suficientes para responder esse problema ou mesmo as informações disponíveis apresentam-se de forma tão desordenada ao ponto de não se relacionar adequadamente ao problema. As estratégias e práticas de pesquisa propostas por ele tem como objetivos atender aos requisitos básicos para uma pesquisa acadêmica, bem como para a solução de problemas práticos.

A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) apresenta-se como uma estratégia para fundamentação teórica em um projeto de pesquisa para o qual se pretende obter respostas precisas, com relevância científica, através de um protocolo sistemático, com mais rigor e completude. A RSL é um método moderno e em crescimento que difere da metodologia da revisão tradicional ou narrativa, pois descreve um processo investigativo, transparente, com uma estrutura sistemática, uma resposta compacta. Para torná-la sólida é recomendado a elaboração de um protocolo e sua publicação, além disso, também é recomendado que o tema abordado na revisão seja de conhecimento do pesquisador (Donato; Donato, 2019).

Nesse sentido, o método utilizado para subsidiar o desenvolvimento deste artigo foi a RSL, uma vez que se tem como propósito entender como a tecnologia BIM vem

contribuindo, como ferramenta de simulação e análise, para auxiliar os profissionais de arquitetura e engenharia no desenvolvimento de projetos de arquitetura que buscam por soluções voltadas para a sustentabilidade. Por meio deste estudo, espera-se responder os seguintes questionamentos:

RQ1: Quais elementos ou parâmetros devem ser levados em consideração durante o desenvolvimento de projetos arquitetônicos para que o modelo seja produzido de modo a auxiliar na escolha de soluções sustentáveis para esses projetos, utilizando recursos BIM?

RQ2: Quais são os softwares, metodologias e tecnologias utilizados para auxiliar na escolha de soluções sustentáveis em projetos arquitetônicos com BIM?

RQ3: Quais são as vantagens de desenvolver projetos arquitetônicos com foco na sustentabilidade utilizando o BIM em comparação aos métodos tradicionais já utilizados?

RQ4: Quais são os aspectos ainda não estudados acerca do BIM como ferramenta que auxilie na análise da funcionalidade e do desempenho dos elementos utilizados no desenvolvimento de projetos arquitetônicos, voltados para a sustentabilidade?

Para dar início ao desenvolvimento desta RSL, uma busca exploratória foi realizada no portal da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por meio de login e senha institucionais junto à Comunidade Acadêmica Federada (CAFe), no qual procurou-se por artigos que tivessem em qualquer campo os termos BIM e *Sustainability*, quando foi possível identificar as bases de dados que trouxeram o número mais expressivo de resultados.

Dentre as bases encontradas, buscou-se ainda por aquelas que atendessem ao critério de facilidade de acesso e de aplicação das *strings*, associada à disponibilidade de estudos completos para download. A partir desses parâmetros, foram escolhidas as bases de dados Science Direct, Web of Science e Scopus para conduzir esta RSL.

Essa busca exploratória, também identificou os termos mais frequentes apresentados nos estudos já publicados, que foram relacionados e agrupados por semelhança no Quadro 1, sendo utilizados como palavras-chave nesta RSL.

Quadro 1. Palavras-chave

Grupo 01	Grupo 02	Grupo 03
<i>BIM</i>	<i>Sustainability</i>	<i>Assessment</i>
<i>Building Information Modeling</i>	<i>Sustainable Development</i>	<i>Efficiency</i>
	<i>Environmental Sustainability</i>	<i>Energetic Certification</i>
		<i>Simulation</i>

Fonte: os autores, 2024.

Essas palavras-chave, em especial aquelas relacionadas no Grupo 03, acabaram limitando os resultados desta pesquisa, uma vez que o propósito inicial de estudar

a sustentabilidade em projetos de arquitetura tem uma abordagem mais ampla, no entanto, a forma como o protocolo dessa RSL foi se desenhando levou a esse direcionamento mais específico.

A definição da *string* de busca se deu a partir da combinação das palavras-chave (Quadro 1), com o uso dos operadores booleanos (OR entre os termos do mesmo grupo e AND entre os grupos). Essa *string* foi utilizada para encontrar publicações nas quais fossem citadas pelo menos um dos termos de cada grupo, no resumo, no título ou nas palavras-chave. Para tanto, foram incluídos somente artigos escritos em português e inglês, que tivessem acesso aberto, publicados nos últimos dez anos, a fim de mostrar o interesse na temática ao longo do tempo.

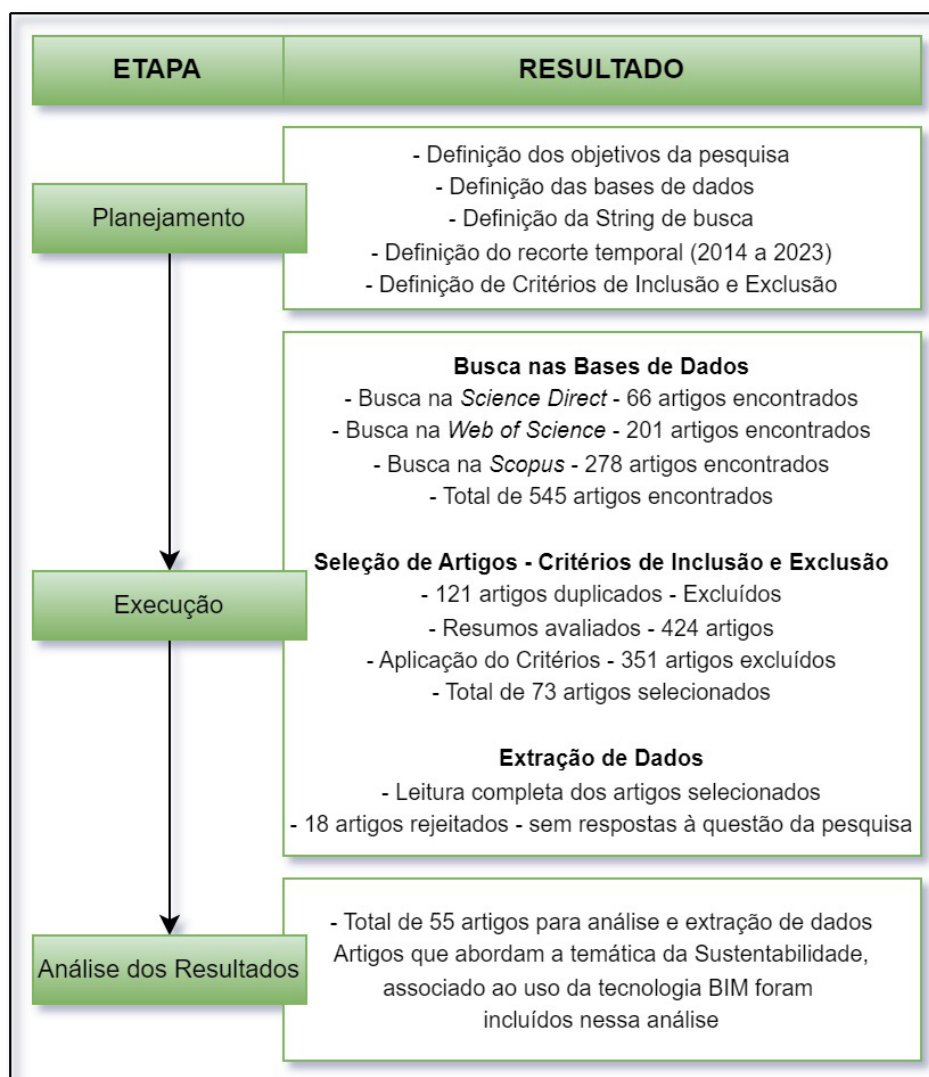
Como o número de resultados se mostrou muito elevado na Scopus, se fez necessário utilizar nessa base o filtro que permitiu excluir os artigos relacionados as áreas de conhecimento que não tem aderência ao tema aqui estudado, mantendo-se os estudos inerentes às áreas de Ciência Ambiental, Engenharia, Ciências da Terra, Energia, Ciências Sociais, Ciência dos Materiais, além dos multidisciplinares.

Nessa etapa, definiu-se ainda que a busca objeto deste estudo incluiria artigos que atendessem a pelo menos um dos seguintes critérios: a) contassem com pelo menos uma das palavras-chave selecionadas no título, resumo ou palavras-chave; b) fossem escritos em português ou inglês; c) estivessem incluídos no recorte temporal definido (2014-2023); d) disponibilizassem sua versão completa para download; e) mostrassem relevância em relação as questões de investigação ou f) apresentassem sugestões de pesquisas futuras. Seriam excluídos os artigos duplicados e estudo que não tivessem aderência com tema da pesquisa.

Uma vez definido o protocolo desta RSL, foram iniciadas as buscas nas bases de dados, quando foram encontrados 545 artigos, dos quais 121 foram excluídos por serem duplicados, restando 424 estudos que, após a avaliação de seus resumos e aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, proporcionou a seleção de 73 artigos. Da leitura completa dos estudos selecionados, ainda foram rejeitados 18 artigos que não puderam contribuir com esta pesquisa, fazendo com que 55 artigos se mostrassem elegíveis para análise de qualidade e extração de dados.

Esta RSL foi conduzida por meio da utilização da *State of the Art through Systematic Review* (StArt), ferramenta computacional desenvolvida pela Universidade Federal de São Carlos com o propósito de apoiar pesquisadores na aplicação de revisões sistemáticas (UFSCAR, 2024). Essa ferramenta possibilitou o armazenamento dos dados obtidos na busca realizada nas bases de dados, auxiliou na aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, facilitando o processo de identificação e seleção dos artigos, bem como da extração de dados para atender o propósito deste estudo. As etapas desta RSL foram desenvolvidas conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1. Etapas da Revisão Sistemática da Literatura - RSL

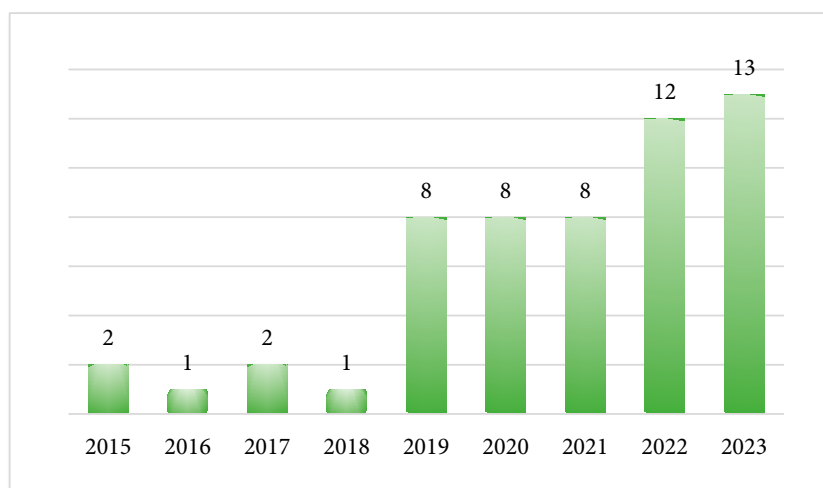


Fonte: os autores, 2024.

3 Resultados e Discussões

O resultado da execução desta RSL mostrou que, ao longo do recorte temporal definido nesta pesquisa (2014 - 2023), houve um crescimento do número de estudos cuja temática aborda a aplicabilidade da tecnologia BIM como ferramenta auxiliar na busca por soluções projetuais com foco na sustentabilidade, conforme observa-se na Figura 2, demonstrando que o assunto pesquisado é atual. É possível observar ainda que, mesmo com a delimitação temporal se iniciando em 2014, os artigos mais antigos encontrados nesta pesquisa, datam de 2015, ano em que as Nações Unidas passaram a adotar Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), na tentativa de equilibrar a sustentabilidade social, econômica e ambiental (UNDP, 2023).

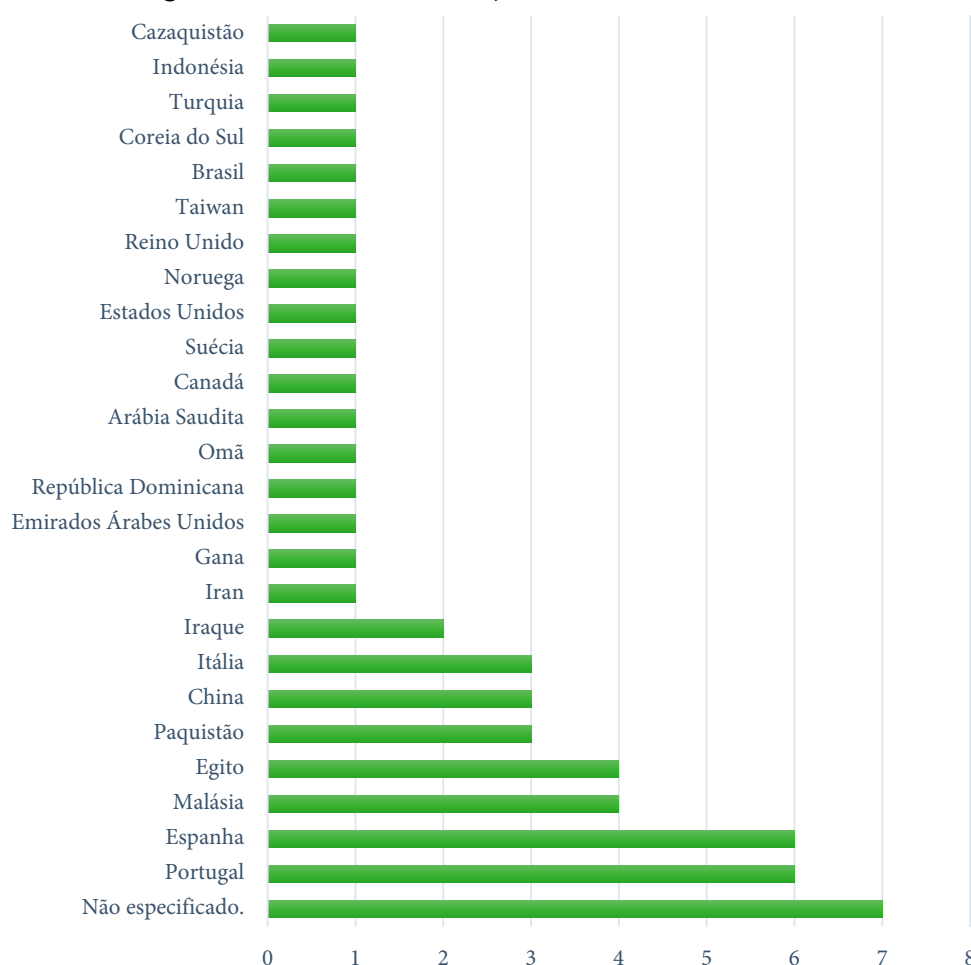
Figura 2. Estudos desenvolvidos ao longo do recorte temporal



Fonte: os autores, 2024.

Os estudos analisados de forma mais aprofundada, foram realizados em diversos locais, incluindo o Brasil (Figura 3), demonstrando a relevância global desse tema, ao se discutir sobre as possibilidades de minimizar os impactos ambientais provocados pelas ações humanas.

Figura 3. Local de realização dos estudos analisados

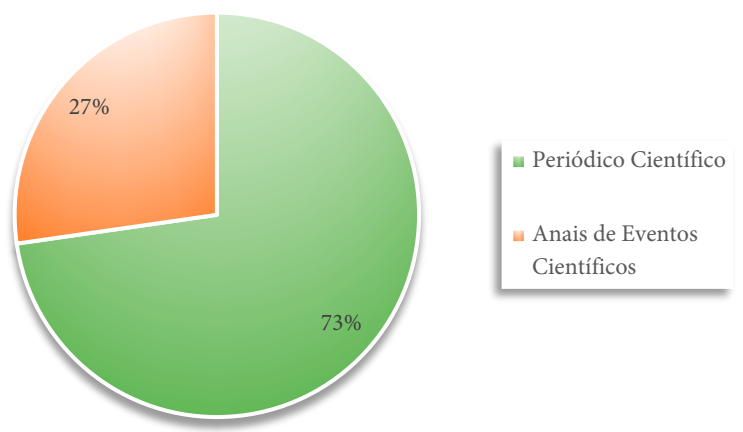


Fonte: os autores, 2024.

Contudo, muitos deles não especificou o local onde foram desenvolvidos, ainda assim é possível observar que Portugal e Espanha se destacam como aqueles locais onde foram realizados o maior número de estudos que tem aderência ao tema objeto desta pesquisa.

Outra informação obtida por meio da extração de dados dos artigos contemplados nesta RSL, diz respeito à forma de divulgação desses estudos. A maioria deles foi divulgada através de periódicos científicos, mas ainda existe uma parcela que foi divulgada em anais de eventos científicos, conforme demonstra a Figura 4.

Figura 4. Forma de divulgação dos estudos analisados



Fonte: os autores, 2024.

O Quadro 2 relaciona os periódicos, bem como eventos científicos responsáveis pela divulgação dos estudos analisados nesta RSL. O periódico que teve o maior número de publicações incluídas foi o *Sustainability*, seguido do *Buildings*, contudo ainda foi identificada uma diversidade de periódicos onde esses estudos foram publicados.

Dentre os anais de eventos nos quais foram divulgados parte desses estudos, destaca-se o número de estudos publicados por meio dos anais do *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Todos os periódicos e conferências identificados nesta pesquisa são internacionais, reiterando a abrangência da problemática voltada à busca pela sustentabilidade ambiental no ambiente construído.

Quadro 2. Periódico/ Conferência utilizadas para divulgação

Forma de Divulgação	Periódico/ Conferência	Quant.
Periódico Científico	Sustainability	10
	Buildings	7
	Journal of Building Engineering	2
	Energies	1
	Case Studies in Construction Materials	1
	Archives of Civil Engineering	1
	International Journal of Low-Carbon Technologies	1
	Energy, Sustainability and Society	1
	WSEAS Transactions on Power Systems	1
	Journal of Settlements and Spatial Planning	1
	Cleaner Environmental Systems	1
	Frontiers of Architectural Research	1
	Frontiers in Built Environment	1
	Solar Energy	1
	Architecture and Engineering	1
	Automation in Construction	1
	Smart Cities	1
	Journal of Information Technology in Construction	1
	SN Applied Sciences	1
	Ain Shams Engineering Journal	1
	International Journal of Sustainable Development and Planning	1
	Civil Engineering and Architecture	1
	Alexandria Engineering Journal	1
	Polish Journal of Environmental Studies	1
Anais de Eventos Científicos	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	8
	Procedia Engineering	3
	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	3
	E3S Web of Conferences	1

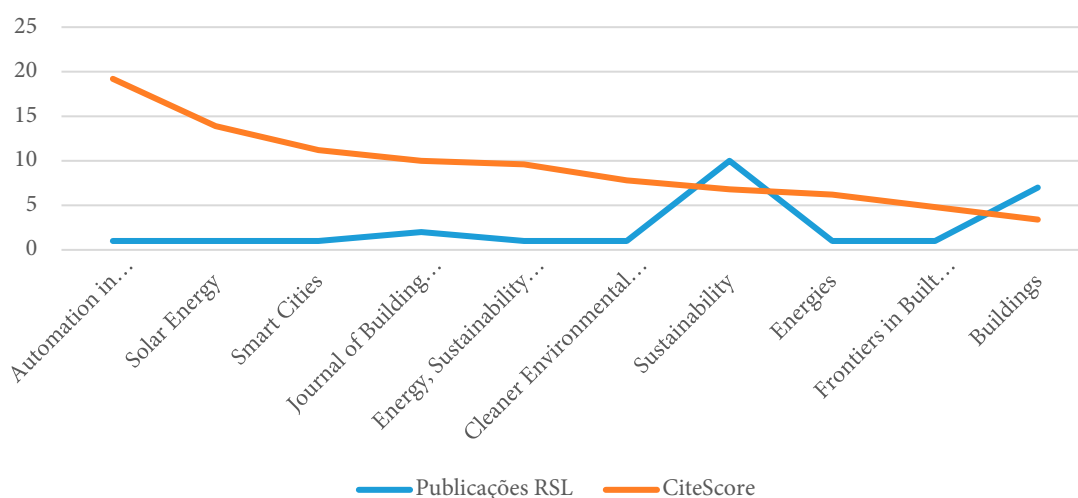
Fonte: os autores, 2024.

Importante destacar que tanto o *Sustainability* (MDPI, 2009), quanto o *Buildings* (MDPI, 2011), são periódicos internacionais, revisados por pares e de acesso aberto, remetendo à originalidade, relevância e qualidade dos trabalhos publicados nessas revistas. Outra constatação, observada por meio dos artigos encontrados nesta RSL, tem relação com o crescimento do número de publicações a partir de 2019, momento em que a combinação de fatores ambientais, sociais, políticos e econômicos

contribuíram para intensificar as discussões relativas à urgência na adoção de medidas para mitigar os efeitos da crise climática mundial.

Nesse contexto, o *CiteScore*, métrica disponibilizada pela base de dados Scopus, é utilizado para avaliar o impacto, a relevância e a influência de periódicos científicos, com base na proporção entre o número de citações recebidas e a quantidade de documentos publicados. Relacionando os resultados desta RSL com os valores de *CiteScore*, evidencia-se um paradoxo: os periódicos com maior número de publicações não correspondem, necessariamente, àqueles com os maiores índices de impacto, dentre os encontrados neste estudo (Figura 5).

Figura 5. Relação entre publicações da RSL e o *CiteScore* de seus periódicos



Fonte: os autores, 2024.

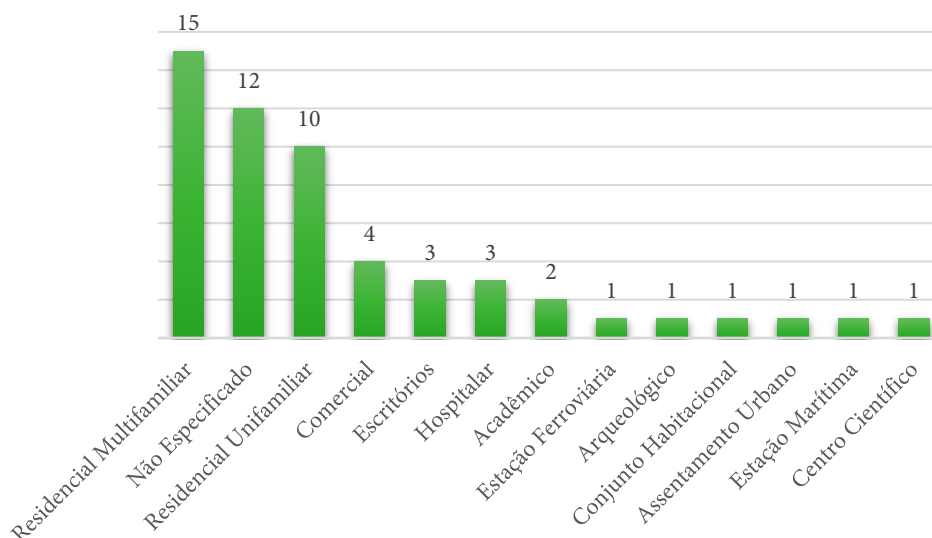
4 Análise do Conteúdo dos artigos

Seguindo a metodologia aqui descrita, foi possível identificar artigos publicados no período de 2015 a 2023, o mais antigo deles menciona o impacto ambiental provocado pelo setor de construção civil em função do consumo de energia e emissões de CO₂, que vem contribuindo para as mudanças climáticas e o esgotamento de recursos, buscando identificar soluções alternativas e sustentáveis para reduzir o consumo de energia das edificações por meio da utilização associada dos softwares BIM Revit e Ecotect Analysis (Shoubi *et al.*, 2015).

Os estudos encontrados nesta pesquisa foram desenvolvidos para diversos tipos de edificações, a maioria foi conduzida a fim de avaliar edificações cujo uso era residencial multifamiliar (ver Figura 6), a exemplo das pesquisas de Montiel-Santiago, Hermoso-Orzáez e Terrados-Cepeda (2020), de Carvalho, Villaschi e Bragança (2021) e de Hasanain e Nawari (2022), dentre outros. Isso demonstra que a temática relacionada à utilização de recursos BIM como ferramenta auxiliar na escolha de soluções sustentáveis para projetos arquitetônicos está presente tanto em estudos que tratam

de projetos individuais, para edificações com usos diversos, quanto em estudos a respeito de projetos que se estendem a um espaço urbano maior, a exemplo do conjunto habitacional contemplado no estudo de Silva *et al.* (2022) e do assentamento urbano objeto do estudo de Aydin e Oral (2021).

Figura 6. Tipo/ Uso das edificações apresentadas



Fonte: os autores, 2024.

A leitura desses artigos revelou quatro abordagens principais quanto ao uso da tecnologia BIM relacionado à sustentabilidade para a indústria da arquitetura, engenharia e construção: a primeira voltada para análise de desempenho energético; a segunda atrelada à análise dos critérios de certificação de sustentabilidade; a terceira dedicada à avaliação do ciclo de vida; e a quarta que trata do desenvolvimento de sistemas/ plugins com foco em soluções sustentáveis. Ainda restou um grupo de estudos cujo enfoque foi tão diversificado que inviabilizou enquadrá-los nas categorias mencionados. Apesar disso, eles foram mantidos entre os elegíveis para análise pois trouxeram contribuições relevantes para esta pesquisa.

4.1 Análise de Desempenho Energético

A adoção da tecnologia BIM para análise de desempenho energético se mostrou presente na maioria dos estudos analisados. A pesquisa desenvolvida por Khahro *et al.* (2021), por exemplo, promoveu a análise da eficiência energética em edifícios hospitalares. Para tanto, inseriu no modelo produzido informações relativas às características dos elementos construtivos (piso, parede, cobertura), além da localização do edifício, assim como os dados climáticos da região estudada. O modelo foi desenvolvido e analisado por meio da utilização do Revit em conjunto com o Green Building Studio, ambos softwares BIM.

Esse estudo fez a relação entre os ODS 7, ODS 9 e ODS 11 e a necessidade de utilização responsável de energia na indústria da construção, uma vez que esse setor provoca impactos ambientais significativos, contribuindo com as mudanças climáticas devido à emissão de gases de efeito estufa. No Quadro 3 estão relacionados os estudos que abordam a análise de desempenho energético.

Quadro 3. Utilização da tecnologia BIM para análise de desempenho energético

Autor	Elementos/ Parâmetros	Software/ Tecnologia
Kim <i>et al.</i> (2016)	Tamanho da janela, propriedades do envidraçamento e proporção janela-parede	Revit + Green Building Studio
Lim <i>et al.</i> (2018)	Características da envoltória de fachada, o Valor Global de Transferência Térmica	Revit + Green Building Studio
Tallberg e Bohne (2019)	Características construtivas e termofísicas da envoltória e critérios das normas de desempenho norueguesa	Revit + IDA-ICE 4.8
Andreani <i>et al.</i> (2019)	A forma da edificação, orientação e clima local	Revit + IES VE
Nemati, Aminnejad e Lork (2020)	Condições climáticas e localização geográfica, materiais utilizados no revestimento exterior e nas paredes	Revit + Insight 360 + DesignBuilder
Carvalho, Bragança e Mateus (2020)	Orientação e a localização do edifício e atribuição de dados paramétricos associados a geometria dos elementos construtivos	Revit + DesignBuilder + Green Building Studio + Insight 360
Montiel-Santiago <i>et al.</i> (2020)	Geometria, espaços, envoltória térmica, clima, localização geográfica, características operacionais e ocupacionais dos espaços	Revit + Insight 360
Aydin e Oral (2021)	Localização geográfica, a forma, a orientação e as propriedades ópticas e termo físicas da envoltória do edifício	Revit + Insight 360 + Green Building Studio
Carvalho <i>et al.</i> (2021)	Características físicas e parâmetro associado a cada elemento construtivo, orientação e características térmicas do edifício	Revit + Cypetherm REH
Durdyev <i>et al.</i> (2021)	Abordagem teórica, não especificou elementos/ parâmetros	Revit + Green Building Studio
Khahro <i>et al.</i> (2021)	Características dos elementos construtivos, localização do edifício e dados climáticos	Revit + Green Building Studio
Hasan <i>et al.</i> (2022)	Orientação do edifício, características geométricas e construtivas, proporção janela-parede e eficiência de iluminação	Revit + Insight 360
Liu e Wang (2022)	Desempenho da envoltória, clima, relevo e localização, função, forma e estrutura do edifício, características do sistema de energia	Revit + Phoenics + Ecotect
Zhan <i>et al.</i> (2022)	Dados de iluminação natural, de meteorologia urbana, velocidade e direção do vento	Revit + Ecotect

Autor	Elementos/ Parâmetros	Software/ Tecnologia
Bakir, El-Dek e Khedr (2022)	Orientação e localização do edifício, geometria da edificação, tipo de envoltória e dimensões das janelas	Cove Tool
Fitriani <i>et al.</i> (2022)	Localização geográfica e geometria do edifício, clima, tipo de edifício, dados meteorológicos locais	Revit + Insight 360 + Green Building Studio
Battaglia <i>et al.</i> (2022)	Características geométricas dos elementos externos, transmitância térmica, capacidade térmica, fatores de absorção solar	Revit + DesignBuilder + Green Building Studio
Sabah Haseeb <i>et al.</i> (2023)	Geometria e orientação da edificação, o tamanho das janelas, localização geográfica	Revit + Green Building Studio
Maglad <i>et al.</i> (2023)	Propriedades térmicas do edifício, relação parede e janela, dados de iluminação natural	Revit + Insight 360 + Green Building Studio
Tirella <i>et al.</i> (2023)	Tipo e tempo de uso, tamanho da edificação e condições climáticas do local	Revit + Dynamo + EnergyPlus + DesignBuilder
Di Santo <i>et al.</i> (2023)	Localização da edificação, características de transmitância e humidade da envoltória	Revit + TRNSYS
Abdullah e Hatem (2023)	Localização e características geométricas da edificação	Revit + Insight 360 + Green Building Studio

Fonte: os autores, 2024.

As vantagens evidenciadas nos estudos agrupados no Quadro 3 versam sobre a possibilidade de escolhas mais assertivas ao comparar a utilização do BIM e com os métodos tradicionais, em especial quando essa tecnologia é adotada desde os estágios iniciais do projeto. A confiabilidade e a economia de tempo também são citadas nessa comparação. Maglad *et al.* (2023) afirmam que o uso dessa tecnologia melhora a qualidade do desempenho geral de um projeto em termos de tempo, custo, qualidade, produtividade e segurança.

Contudo, esses autores mencionam algumas limitações relativas ao uso do BIM no processo de avaliação de eficiência energética, dentre as quais se tem as restrições de interoperabilidade e a necessidade de alimentação de informações, de forma manual, que levam a falhas, exigindo tempo para verificação dupla e correção geométrica.

Alguns aspectos não abordados nesses estudos e que se mostram como lacunas são:

- ♦ Estudos que avaliem os critérios de conforto visual;
- ♦ O aprimoramento dos formatos de arquivos para lidar com erros de geometria e transferência de identidade durante o processo de análise BEM, para simulações e comparações mais confiáveis a fim de avaliar o desempenho energético de edifícios;
- ♦ Experimentos com a instalação de equipamentos de medição, a fim de aferir o consumo real de energia, inserir os dados obtidos no software de

simulação e comparar o consumo calculado na simulação com o consumo real do edifício;

- ♦ Pesquisas que considerem outros parâmetros, além da resistência térmica dos componentes da envoltória, para quantificar as emissões de dióxido de carbono;
- ♦ Análises relacionadas ao aspecto econômico, podendo haver a integração com análises de Economia Circular, para promover a automação da comunicação BIM-LCA;
- ♦ Modelo de energia preditiva baseado em BIM com o desempenho energético real para vários tipos de projetos;
- ♦ Investigação a respeito do efeito do uso do BIM na eficiência energética e seu impacto no conceito da Indústria 4.0;
- ♦ Análise de rede para mapeamento bibliométrico da utilização do BIM na avaliação energética.

4.2 Análise dos Critérios de Certificação de Sustentabilidade

A análise dos critérios de certificação de sustentabilidade estão presentes em artigos que mencionaram alguns dos Sistema de Classificação de Construção Verde, utilizados para avaliação do desempenho ambiental das edificações, a exemplo daquele desenvolvido na Arábia Saudita, denominado Mostadam, bem como os sistemas de classificação LEED (Oliveira, Ruppenthal e Vergara, 2020), BREEAM (Silva, Silva e Agopyan, 2003) e CESBA (Maltese *et al.*, 2017), além dos critérios estabelecidos no SBTool PT-H (Carvalho, Bragança e Mateus, 2017). O Quadro 4 apresenta os estudos que tiveram essa abordagem.

Quadro 4. Utilização da tecnologia BIM para análise dos critérios de certificação

Autor	Elementos/ Parâmetros	Software/ Tecnologia
Maltese <i>et al.</i> (2017)	Iluminância média, geometria, área, volume e posição dos espaços e dos seus delimitadores	Revit + Solibri
Carvalho <i>et al.</i> (2019)	Características construtivas da envoltória, localização e orientação, parâmetros de eficiência energética de Portugal	Revit + Green Building Studio
Carvalho, Bragança e Mateus (2019)	Critérios de sustentabilidade de Portugal - SBTool PT -H	Revit + Cypetherm REH + Green Building Studio + DesignBuilder
Habib e Kadhim R. (2020)	Elementos/ parâmetros não especificados	Revit + Microsoft Project + Naviswork + SimaPro
Hasanain e Nawari (2022)	Tipos e especificações de acessórios instalados no edifício e a taxa de ocupação	Revit + Dynamo

Autor	Elementos/ Parâmetros	Software/ Tecnologia
Silva <i>et al.</i> (2022)	Localização do empreendimento, dados climáticos locais, requisitos construtivos definidos na NBR 15.220 e na NBR 15.575	Revit + Insight 360
Rodríguez (2023)	Indicadores de sustentabilidade relativos ao BREEAM, características geométricas e espaciais da edificação	Allplan 2020 + Dialux evo + Solibri + CERMA

Fonte: os autores, 2024.

Dentre esses estudos, encontra-se aquele desenvolvido no Brasil por Silva *et al.* (2022) com o propósito de modelar três novos layouts e assim propor melhorias na ventilação, a fim de contribuir com a eficiência energética e o conforto térmico da edificação, alinhado com as recomendações da NBR 15.220 e do CAIXA Selo Azul (Reis *et al.*, 2023). Para promover essas simulações, os autores levaram em consideração a localização do empreendimento, os dados climáticos locais, os requisitos construtivos definidos na NBR 15.220 e na NBR 15.575, bem como as características construtivas das unidades residenciais integrantes do conjunto habitacional estudado, além do perfil de consumo energético e demandas dos moradores.

Dentro desse grupo de estudos foi enfatizada a celeridade e a eficiência promovidas pela tecnologia BIM, se comparada com a forma tradicional de avaliar e otimizar a eficiência energética de um edifício, para alcançar o nível de sustentabilidade desejado no desenvolvimento de um projeto. Rodríguez (2023) afirma que trabalhar com modelos BIM nas fases iniciais de projeto reduz os tempos de trabalho em 30% em comparação com as ferramentas tradicionais. Contudo, essa tecnologia não consegue dar suporte a todos os critérios de sustentabilidade, a exemplo daqueles estabelecidos pelo SBTool PT-H, fazendo-se necessárias melhorias para se adequar aos critérios de sustentabilidade.

Identificou-se, por meio desses estudos, as seguintes lacunas a serem trabalhadas futuramente:

- ◆ Pesquisas que envolvam menos softwares BIM para avaliar um método BSA, além da busca por maneiras mais fáceis de avaliar mais de um critério de sustentabilidade ao mesmo tempo, para melhorar a eficiência do processo;
- ◆ Melhorias nos bancos de dados utilizados para avaliar os indicadores de certificação de sustentabilidade;
- ◆ Sistemas de classificação de sustentabilidade que considerem diferenças regionais e os microclimas para construções verdes;
- ◆ Estudos que busquem simplificar e automatizar o processo de troca de dados entre o BIM e outros softwares de avaliação ambiental e energética.

4.3 Avaliação do Ciclo de Vida

Outra abordagem encontrada durante a condução dessa RSL trata da utilização do BIM na avaliação do ciclo de vida das edificações e pode ser identificada nos artigos apresentados no Quadro 5, onde também estão relacionados os softwares utilizados para a realização dessas avaliações. O cálculo da Avaliação de Sustentabilidade do Ciclo de Vida - LCSA (Soust-Verdaguer *et al.*, 2022), a análise do Custo do Ciclo de Vida - LCC (Sandberg *et al.*, 2019), bem como a análise da emissão de carbono incorporado, ainda na fase de projeto estão dentro do escopo desses estudos.

Quadro 5. Utilização da tecnologia BIM para avaliação do ciclo de vida

Autor	Elementos/ Parâmetros	Software/ Tecnologia
Sandberg <i>et al.</i> (2019)	Quantificação da energia primária operacional para aquecimento, resfriamento e demanda de água quente	Revit + ArchiCAD + Grasshopper + Rhino 3D
Asare <i>et al.</i> (2020)	Estrutura do edifício, localização, clima locais, geometria de paredes, telhados, pisos, portas e janelas.	Revit + Green Building Studio + LCA Tally
Carvalho <i>et al.</i> (2020)	Características construtivas da edificação e as normas portuguesas de desempenho	Revit + Cypetherm REH + LCA Tally
Akhanova <i>et al.</i> (2021)	Informações sobre o local, elementos arquitetônicos, mecânicos e de encanamento	Revit + Green Building Studio + SoundPLAN + DAYSIM
Carvalho, Villaschi e Bragança (2021)	Localização e orientação do edifício, eficiência dos sistemas de construção, taxas de ventilação, características da envoltória	Revit + Cypetherm REH + Cype Cost Generator + Dynamo
Ahmad e Thaheem (2022)	Elementos/ parâmetros não especificados	Software/ Tecnologia não especificados
Soust-Verdaguer <i>et al.</i> (2022)	Quantidade de materiais e as informações atreladas a eles em cada fase projetual	Software/ Tecnologia não especificados
Soust-Verdaguer, Llatas e Carmona (2022)	Dados referentes aos materiais de construção e ao perfil de uso do edifício	Revit + Dynamo + Cypetherm HE Plus
Alzara <i>et al.</i> (2023)	Características construtivas do prédio e tipo de uso	Revit + Dynamo + BIM360

Fonte: os autores, 2024.

O estudo desenvolvido por Carvalho *et al.* (2020) analisa a relação entre avaliação do ciclo de vida (LCA) e a avaliação da sustentabilidade da construção (BSA) utilizando a tecnologia BIM. A fim de produzir o modelo digital a ser analisado, os autores observaram os critérios de sustentabilidade do método SBTool, bem como

as características construtivas da edificação estudada e as normas portuguesas de desempenho, além disso, utilizaram o Revit associado ao Cypetherm REH e LCA Tally para conduzir o referido estudo.

A automatização do processo projetual, proporcionada pelo uso do BIM, é uma vantagem identificada nos documentos listado no Quadro 5, pois proporcionará o gerenciamento adequado, com celeridade, dos dados de entrada e saída, em função da interoperabilidade e do armazenamento de informações multidisciplinares inerentes a essa tecnologia, bem como da agilidade e da confiabilidade na escolha de diferentes elementos de envoltória ao longo desse processo. Contudo, constatou-se que algumas análises realizadas com o BIM somente podem acontecer individualmente para cada cenário, sendo necessário agrupar os resultados manualmente para comparar as diferentes soluções. As principais lacunas de conhecimento encontradas nesses estudos são:

- ♦ Estudos envolvam mais disciplinas na avaliação de energia do ciclo de vida;
- ♦ Testes de campo para criação de bancos de dados que agreguem informações sobre materiais locais, suas propriedades e seu impacto subsequente no meio ambiente;
- ♦ A utilização de diferentes softwares BIM para conduzir análises de sustentabilidade;
- ♦ A vinculação de modelos digitais ao GIS para incluir informações relativas à localização do empreendimento e assim determinar fatores específicos de cada local, além de incluir cálculos de carbono incorporado em outras fases do ciclo de vida do edifício.

4.4 Desenvolvimento de Sistemas/ Plugins

O desenvolvimento de sistemas ou plugins, por meio da tecnologia BIM, é objeto dos artigos relacionados no Quadro 6. Esses estudos discutem a possibilidade de automatizar os processos de simulação, para apoiar o projetista nas fases iniciais de projeto, especialmente na escolha de materiais e soluções com foco na sustentabilidade. Soust-Verdaguer, Moreno e Llatas (2023) e Marzouk e Thabet (2023) apresentaram os plugins que desenvolveram, os demais estudos utilizaram softwares BIM para sistematizar o processo projetual.

Quadro 6. Utilização da tecnologia BIM para desenvolvimento de Sistemas/ Plugins

Autor	Elementos/ Parâmetros	Software/ Tecnologia
Gao et al. (2019)	Geometria e orientação do edifício, dados climáticos, tamanho das janelas	Revit + Dynamo + IES VE + EnergyPlus
Khoshdelnezamiha et al. (2020)	Características da envoltória, orientação da edificação, coeficientes de transferência de calor e coeficientes de sombreamento	Revit + Dynamo
El Sayary e Omar (2021)	Elementos/ parâmetros não especificados	Software/ Tecnologia não especificados
Soust-Verdaguer, Gutiérrez e Llatas (2023)	Características da envoltória e do clima local, informações geométricas e alfanuméricas dos objetos que compõem a edificação	Software/ Tecnologia não especificados
Soust-Verdaguer, Moreno e Llatas (2023)	Caracterização da viga, coluna, fundação, laje e parede	Revit + Plug-in BIM3LCA
Marzouk e Thabet (2023)	Critérios de sustentabilidade, parâmetros compartilhados, localização e orientação da edificação, relação janela-parede	Revit + Dynamo + Insight 360 + Plug-in

Fonte: os autores, 2024.

O estudo de El Sayary e Omar (2021) enfatiza a necessidade de tornar os edifícios mais eficientes em termos energéticos e sustentáveis para reduzir a demanda global por consumo de energia e poluição, além disso, busca criar e incorporar parâmetros de eficiência energética em arquivos de modelos arquitetônicos usando a tecnologia BIM, por meio da criação de um plug-in, no entanto não menciona os softwares utilizados para esse fim.

A principal vantagem associada ao uso do BIM, identificada nos estudos agrupados no Quadro 6, se remete à automatização do processo de avaliação e certificação para edifícios verdes, que agiliza o processo manual, até então utilizado. Esses autores propuseram que trabalhos futuros explorassem o desenvolvimento de Sistemas/ Plugins para:

- ♦ A realização de simulações mais detalhadas com foco na verificação da transmissão de calor, transferência de ventilação, ganho de calor interno e ganho de calor solar;
- ♦ Explorar, testar e desenvolver as ferramentas existentes para obter estatísticas de taxas de consumo de energia para conjuntos de usuários específicos;
- ♦ Atualizar o banco de dados de materiais existentes, considerando os aspectos econômicos e sociais, para utilizá-lo em avaliações estruturais destinadas a diferentes tipos de projetos, como residenciais, comerciais e educacionais;

- ♦ Realizar novos estudos de caso com o propósito de aumentar o nível de maturidade das ferramentas desenvolvidas.

4.5 Abordagens Diversas

Os artigos relacionados no Quadro 7 são aqueles cujas abordagens não se enquadravam nos grupos anteriores, no entanto eles contribuíram com essa pesquisa quando apresentaram informações que respondem aos questionamentos aqui propostos. Lin *et al.* (2019), por exemplo, desenvolveu estudo para avaliar a relação entre o consumo de energia e o conforto ambiental (luz solar do edifício, radiação solar, iluminação natural, condições de fluxo de ar interno e externo, dentre outros) de edifícios existentes e mais antigos, com a adoção do BIM.

Quadro 7. Utilização da tecnologia BIM em abordagens diversas

Autor	Abordagem	Elementos/ Parâmetros	Software/ Tecnologia
Wang e Cho (2015)	Modelagem por meio de nuvens de pontos	Geometria do edifício e os dados de temperatura de seus envolventes	Software/ Tecnologia não especificados
Shoubi <i>et al.</i> (2015)	Análise do consumo de energia	Localização e tipo de edifício, características construtivas e clima local	Revit + Ecotect Analysis + 3D Max
Samuel, Joseph-Akwara e Richard (2017)	Análise do consumo de energia	Elementos/ parâmetros não especificados	Software/ Tecnologia não especificados
Amoruso, Dietrich e Schuetze (2019)	Análise do conforto ambiental	Dados climáticos, características geométricas e construtivas do edifício	Revit + Rhinoceros + Energyplus.
Lin <i>et al.</i> (2019)	Análise do conforto ambiental	Geometria da construção, volumes de construção adjacentes e clima	Revit + IES VE
Gao, Wu e Li (2020)	Análise do consumo de energia	Informações de geometria, de função espacial e de materiais do edifício	Revit + Green Building Studio
Watfa, Hawash e Jaafar (2021)	Análise do consumo de energia	Características geométricas e construtivas, propriedades mecânicas e térmicas dos materiais	Revit + AECOsim Energy Simulator
Ohueri <i>et al.</i> (2022)	Desenvolvimento de projetos de edifícios ecoeficientes	Elementos/ parâmetros não especificados	Software/ Tecnologia não especificados

Autor	Abordagem	Elementos/ Parâmetros	Software/ Tecnologia
Waqar <i>et al.</i> (2023)	Otimização do projeto, eficiência energética, análise de desempenho, seleção de materiais e avaliação do ciclo de vida, redução de resíduos	Elementos/ parâmetros não especificados	Software/ Tecnologia não especificados
Barrile, Genovese e Favasuli (2023)	Modelagem por meio de nuvens de pontos	Coordenadas GIS da localização do edifício	Revit + ArcGIS + InfraWorks + Autodesk Recap
Wu e Maalek (2023)	Modelagem por meio de nuvens de pontos	Coleção de nuvens de pontos e características construtivas da estrutura da edificação	Revit + Autodesk Recap Pro + CADMapper + Dynamo

Fonte: os autores, 2024.

Esse grupo de artigos não aponta vantagens ou desvantagens no uso da tecnologia BIM, contudo sugere como lacuna para estudos futuros:

- ♦ A adoção do BIM por *stakeholders* ligados à indústria análise de desempenho energético de edifícios;
- ♦ O desenvolvimento de níveis detalhados de projeto conceitual de edifícios verdes, usando o BIM para a avaliação da estratégia para construção desses edifícios;
- ♦ A exploração de dimensões adicionais de sustentabilidade, dos benefícios ambientais e econômicos de longo prazo com a adoção do BIM no setor de construção residencial;
- ♦ A utilização do método LEED ou EEWB como forma de avaliar indicadores relativos à redução de resíduos e ao uso de recursos hídricos.

Diante dessas análises, se faz importante ressaltar que as abordagens apresentadas nesta pesquisa não refletem necessariamente uma tendência específica relacionado ao tema estudado, isso estaria mais atrelado aos termos utilizados nas *strings* de busca que conduziu a resultados mais restritivos. Além disso, foi possível constatar que mesmo não estando no escopo inicial deste estudo, o ODS 7 aparece nos resultados e guarda relação com o tema pesquisado, possivelmente em decorrência dessa restrição.

Além disso, constatou-se a tecnologia BIM pode auxiliar os projetistas ao longo do processo projetual, de forma ágil e confiável, desde que observados os parâmetros necessários para se modelar uma edificação sustentável. Para que sejam exploradas as potencialidades proporcionadas por essa tecnologia, é preciso atrelar informações paramétricas aos elementos construtivos e assim garantir a confiabilidade das simulações a serem realizadas pelo projetista, fato que muitas vezes desestimula a adoção do BIM.

Uma limitação identificada nesta pesquisa tem relação com inviabilidade de usar o BIM para avaliar alguns parâmetros de sustentabilidade, seja pelo fato de existirem critérios que não são mensuráveis, por sua subjetividade em especial quanto a percepção individual do usuário, por exemplo, ou mesmo pela diversidade de softwares existentes que requer do usuário o domínio no uso da ferramenta específica para cada parâmetro.

5 Considerações Finais

Através da realização da Revisão Sistemática da Literatura (RSL), foi possível conhecer o tratamento que está sendo dado ao tema da utilização do BIM voltado à sustentabilidade, para caracterizar o cenário atual dos trabalhos realizados, bem como relacionar elementos ou parâmetros a serem levados em consideração durante o desenvolvimento de projetos arquitetônicos e os softwares BIM utilizados na indústria da arquitetura e engenharia que auxiliam na busca por soluções de sustentabilidade nas construções.

A execução desta RSL permitiu identificar que os principais elementos projetuais utilizados nos estudos analisados envolvem informações relativas às características geométricas, construtivas, de orientação e de localização do edifício. Essas informações são inseridas nos modelos digitais para dar respaldo às simulações realizadas. Os critérios de certificação de sustentabilidade também são observados, contudo constatou-se que esses critérios variam conforme a localidade do estudo: enquanto na Europa predominam os parâmetros dos selos LEED, BREEAM e SBTool PT-H, o estudo desenvolvido no Brasil observou os critérios da NBR 15.220 e do CAIXA Selo Azul.

Quanto aos softwares, metodologias e tecnologias utilizados nos estudos analisados, observou-se que o Revit se mostrou presente na maioria dos casos, contudo ele é operado, em geral, em conjunto com outro software de análise ou simulação, a fim de produzir um modelo adequado que possa auxiliar na escolha de soluções sustentáveis durante o desenvolvimento de projetos arquitetônicos, ressaltando a interoperabilidade inerente à tecnologia BIM.

Constatou-se ainda que muitos autores enfatizam a agilidade e a confiabilidade obtidos por meio da tecnologia BIM, uma vez que é possível comparar cenários diferentes, ainda em fase projetual, melhorando a qualidade dos resultados em termos de tempo, custo, qualidade, produtividade e segurança, contudo as restrições de interoperabilidade e a necessidade de alimentação de informações, de forma manual, em alguns estudos foram apontados como limitações no uso dessa tecnologia.

Outra constatação a ser ressaltada tem relação com a problemática abordada nos estudos encontrados nesta RSL. Poucos autores mencionaram os ODS da Agenda 2030 em suas pesquisas, ainda assim a maioria mencionou os impactos ambientais provocados pelas ações antrópicas, em especial aqueles decorrentes das atividades

de construção, remetendo à importância de se pensar em sustentabilidade logo nas primeiras etapas de um processo projetual, evitando o retrabalho e minimizando custos, em busca do equilíbrio entre o ambiente construído e meio ambiente.

A leitura desses artigos permitiu identificar também que o idioma predominante utilizado nos estudos encontrados foi o inglês em relação ao português, todos esses estudos foram publicados em periódicos ou conferências internacionais e em sua maioria tratavam de pesquisas internacionais, por isso revisões sistemáticas futuras podem buscar por mais estudos desenvolvidos no Brasil, com o propósito de ampliar a investigação aqui desenvolvida, por meio da análise de estudos que retratem o panorama nacional quanto a temática pesquisada.

Referências Bibliográficas

ABDULLAH, O. H.; HATEM, W. A. The use of BIM to propose alternative construction methods to reduce the cost of energy for the historic archeological building in Iraq. *Archives of Civil Engineering*, [s. l.], v. 69, n. 2, p. 535–549, 2023. ISSN 12302945 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.24425/ace.2023.145283>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85166411120&doi=10.24425%2face.2023.145283&partnerID=40&md5=3a3fbb9ee43c9d007aa65a5d6b3c6e00>. Acesso em: 19 jun. 2024.

AHMAD, Tayyab; THAHEEM, Muhammad Jamaluddin. LCIA Parameters and the Role of BIM towards Sustainability: Regional and Temporal Trends. *Buildings*, [s. l.], v. 12, n. 5, p. 700, 2022. ISSN 2075-5309. DOI <https://doi.org/10.3390/buildings12050700>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/5/700>. Acesso em: 10 jun. 2024.

AKHANOVA, G.; NADEEM, A.; KIM, JR; AZHAR, S.; KHALFAN, M. Building Information Modeling Based Building Sustainability Assessment Framework for Kazakhstan. *BUILDINGS*, [s. l.], v. 11, n. 9, set. 2021. ISSN 2075-5309. DOI <https://doi.org/10.3390/buildings11090384>.

ALZARA, M.; YOSRI, A. M.; ALRUWAILI, A.; CUCE, E.; ELDIN, S. M.; EHAB, A. Dynamo script and a BIM-based process for measuring embodied carbon in buildings during the design phase. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, [s. l.], v. 18, p. 943–955, 2023. ISSN 17481317 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctad053>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85183137717&doi=10.1093%2fijlct%2fctad053&partnerID=40&md5=dac1b052ef5f53d633dafa0900eddcbb>. Acesso em: 14 jun. 2024.

AMORUSO, F. M.; DIETRICH, U.; SCHUETZE, T. Indoor thermal comfort improvement through the integrated BIM-parametricworkflow-based sustainable renovation of an exemplary apartment in Seoul, Korea. *Sustainability (Switzerland)*, [s. l.], v. 11, n. 14, 2019. ISSN 20711050 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.3390/su11143950>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85073910560&doi=10.3390%2fsu11143950&partnerID=40&md5=f075b0088ef5c5e80900a8b845561e74>. Acesso em: 17 jun. 2024.

ANDREANI, M.; BERTAGNI, S.; BIAGINI, C.; MALLO, F. 7D BIM for sustainability

assessment in design processes: A case study of design of alternatives in severe climate and heavy use conditions. *Architecture and Engineering*, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 3–12, 2019. ISSN 25000055 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.23968/2500-0055-2019-4-2-3-12>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85082016040&doi=10.23968%2f2500-0055-2019-4-2-3-12&partnerID=40&md5=80eebed1ce5eeb631995a333cc900121>. Acesso em: 10 jun. 2024.

ASARE, KAB; RUIKAR, KD; ZANNI, M.; SOETANTO, R. BIM-based LCA and energy analysis for optimised sustainable building design in Ghana. *SN APPLIED SCIENCES*, [s. l.], v. 2, n. 11, 21 out. 2020. ISSN 2523-3963. DOI <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03682-2>. Acesso em: 22 jun. 2024.

AYDIN, M. A.; ORAL, G. K. Energy Efficiency in the Settlement Texture through the Use of BIM. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* [S. l.]: IOP Publishing Ltd, 2021. journalAbbreviation: IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. v. 642, n. 1. ISBN 17551307 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.1088/1755-1315/642/1/012002>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85101698273&doi=10.1088%2f1755-1315%2f642%2f1%2f012002&partnerID=40&md5=b3531e493e1c5231b9a2a692bd888e59>. Acesso em: 14 jun. 2024.

BAKIR, K.; EL-DEK, M.; KHEDR, A. Green Building Information Modelling to Raise the Efficiency of a Residential Building in the New Administrative Capital. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* [S. l.]: Institute of Physics, 2022. journalAbbreviation: IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. v. 1113, n. 1. ISBN 17551307 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1113/1/012002>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85146536077&doi=10.1088%2f1755-1315%2f1113%2f1%2f012002&partnerID=40&md5=d8cd7308c43504f28532526b8d4926a2>. Acesso em: 14 jun. 2024.

BARRILE, V.; GENOVESE, E.; FAVASULI, F. Development and Application of an Integrated BIM-GIS System for the Energy Management of Buildings. *WSEAS Transactions on Power Systems*, [s. l.], v. 18, p. 232–240, 2023. ISSN 17905060 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.37394/232016.2023.18.24>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85177873516&doi=10.37394%2f232016.2023.18.24&partnerID=40&md5=21ee9622d45cbf3e6f038cc5617337a1>. Acesso em: 14 jun. 2024.

BATTAGLIA, V.; CAROTENUTO, A.; MAURO, A.; NORMINO, G. On the interoperability of Building Information Modeling for Energy Analysis: The case study of the Maritime Station of Napoli (Italy). In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* [S. l.]: Institute of Physics, 2022. journalAbbreviation: IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. v. 1106, n. 1. ISBN 17551307 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1106/1/012001>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85142661126&doi=10.1088%2f1755-1315%2f1106%2f1%2f012001&partnerID=40&md5=55e751c170e8571ad14472c5b0e14516>. Acesso em: 17 jun. 2024.

CARVALHO, J. P.; RIDDER, K.; BRAGANÇA, L.; MATEUS, R. Using BIM to optimise and

assess the energy efficiency category of SBToolPT-H. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* [S. l.]: Institute of Physics Publishing, 2019. journalAbbreviation: IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. v. 225, n. 1. ISBN 17551307 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012072>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85063383028&doi=10.1088%2f1755-1315%2f225%2f1%2f012072&partnerID=40&md5=778d644e4d91d44709a76ceab7b056e5>. Acesso em: 19 jun. 2024.

CARVALHO, J. P.; ALECRIM, I.; BRAGANÇA, L.; MATEUS, R. Integrating BIM-based LCA and building sustainability assessment. *Sustainability (Switzerland)*, [s. l.], v. 12, n. 18, 2020. ISSN 20711050 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.3390/SU12187468>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85091698645&doi=10.3390%2fSU12187468&partnerID=40&md5=681b740b10c5555b1bc7d05b9639e779>. Acesso em: 17 jun. 2024.

CARVALHO, J. P.; ALMEIDA, M.; BRAGANÇA, L.; MATEUS, R. Bim-based energy analysis and sustainability assessment—application to portuguese buildings. *Buildings*, [s. l.], v. 11, n. 6, 2021. ISSN 20755309 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.3390/buildings11060246>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85108403590&doi=10.3390%2fbuildings11060246&partnerID=40&md5=f475fcbde8dbc591b393869a07e66930>. Acesso em: 12 jun. 2024.

CARVALHO, J. P.; BRAGANÇA, L.; MATEUS, R. Potencial de integração do BIM na simplificação da avaliação de sustentabilidade através do SBToolPT-H. In: II Encontro Nacional Sobre Reabilitação Urbana e Construção Sustentável, 2017, Lisboa, Portugal. *II Encontro Nacional Sobre Reabilitação Urbana e Construção Sustentável*. Lisboa, Portugal: [s. n.], 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/321368837_Potencial_de_integracao_do_BIM_na_simplificacao_da_avaliacao_de_sustentabilidade_atraves_do_SBTool_PT-H. Acesso em: 28 abr. 2025.

CARVALHO, J. P.; BRAGANÇA, L.; MATEUS, R. Optimising building sustainability assessment using BIM. *Automation in Construction*, [s. l.], v. 102, p. 170–182, 2019. ISSN 09265805 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.021>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85062175904&doi=10.1016%2fj.autcon.2019.02.021&partnerID=40&md5=c745214cf1af81bdf4cef28d59471a14>. Acesso em: 17 jun. 2024.

CARVALHO, J. P.; BRAGANÇA, L.; MATEUS, R. Guidelines for analysing the building energy efficiency using BIM. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* [S. l.]: IOP Publishing Ltd, 2020. journalAbbreviation: IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. v. 588, n. 2. ISBN 17551307 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.1088/1755-1315/588/2/022058>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85097183754&doi=10.1088%2f1755-1315%2f588%2f2%2f022058&partnerID=40&md5=071e5d65741b13ab20984bc56a360b51>. Acesso em: 14 jun. 2024.

CARVALHO, J. P.; VILLASCHI, F. S.; BRAGANÇA, L. Assessing life cycle environmental and economic impacts of building construction solutions with BIM. *Sustainability (Switzerland)*,

[s. l.], v. 13, n. 16, 2021. ISSN 20711050 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.3390/su13168914>.

Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85112375980&doi=10.3390%2fsu13168914&partnerID=40&md5=1edb6a30745fb6f3c4669513e325be5b>. Acesso em: 10 jun. 2024.

DI SANTO, N.; GUANTE HENRIQUEZ, L.; DOTELLI, G.; IMPERADORI, M. Holistic Approach for Assessing Buildings' Environmental Impact and User Comfort from Early Design: A Method Combining Life Cycle Assessment, BIM, and Active House Protocol. *Buildings*, [s. l.], v. 13, n. 5, 2023. ISSN 20755309 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.3390/buildings13051315>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85160621313&doi=10.3390%2fbuildings13051315&partnerID=40&md5=9161e0b0715e01e24f0f9bd12d0c5772>. Acesso em: 14 jun. 2024.

DONATO, Helena; DONATO, Mariana. Etapas na Condução de uma Revisão Sistemática. *Acta Médica Portuguesa*, [s. l.], v. 32, n. 3, p. 227–235, 29 mar. 2019. ISSN 1646-0758. DOI <https://doi.org/10.20344/amp.11923>. Disponível em: <https://www.actamedicaportuguesa.com/revista/index.php/amp/article/view/11923>. Acesso em: 10 jun. 2024.

DURDYEV, S.; DEHDASHT, G.; MOHANDÉS, SR; EDWARDS, DJ. Review of the Building Information Modelling (BIM) Implementation in the Context of Building Energy Assessment. *ENERGIES*, [s. l.], v. 14, n. 24, dez. 2021. ISSN 1996-1073. DOI <https://doi.org/10.3390/en14248487>. Acesso em: 22 jun. 2024.

EL SAYARY, Samer; OMAR, Osama. Designing a BIM energy-consumption template to calculate and achieve a net-zero-energy house. *Solar Energy*, [s. l.], v. 216, p. 315–320, 1 mar. 2021. ISSN 0038-092X. DOI <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.01.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X21000062>. Acesso em: 19 jun. 2024.

FERREIRA, Rodrigo; CARRANZA, Edite; JUNIOR, Pedro; PANICO, Cleber. DOMÓTICA, INMÓTICA E URBÓTICA. *Revista Projetar*, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 45–54, 2022. DOI <https://doi.org/10.21680/2448-296X.2022v7n2ID27719>.

FITRIANI, H.; RIFKI, M.; FORALISA, M.; MUHTAROM, A. Investigation of Energy Saving Using Building Information Modeling for Building Energy Performance in Office Building. *Civil Engineering and Architecture*, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 1280–1292, 2022. ISSN 23321091 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.13189/cea.2022.100404>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85134407604&doi=10.13189%2fcea.2022.100404&partnerID=40&md5=64fb3d1857cf043f829b4da77a938435>. Acesso em: 17 jun. 2024.

GAO, H.; ZHANG, L.; KOCH, C.; WU, Y. BIM-based real time building energy simulation and optimization in early design stage. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* [S. l.]: Institute of Physics Publishing, 2019. journalAbbreviation: IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. v. 556, n. 1. ISBN 17578981 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.1088/1757-899X/556/1/012064>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85072098189&doi=10.1088%2f1757-899X%2f556%2f1%2f012064&partnerID=40&md5=bafa65edd69144148c3df06182cd99c7>. Acesso em: 12 jun. 2024.

GAO, X.; WU, Y.; LI, Y. Research on Building Energy Consumption Based on BIM. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* [S. l.]: Institute of Physics Publishing, 2020. journalAbbreviation: IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. v. 474, n. 7. ISBN 17551307 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.1088/1755-1315/474/7/072022>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85085469895&doi=10.1088%2f1755-1315%2f474%2f7%2f072022&partnerID=40&md5=c28ad2b0709427812d23b80f4cf1b35d>. Acesso em: 19 jun. 2024.

GIL, Antônio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 176 p.

HABIB, H. M.; KADHIM R., E. Employ 6D-BIM Model Features for Buildings Sustainability Assessment. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* [S. l.]: IOP Publishing Ltd, 2020. journalAbbreviation: IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. v. 901, n. 1. ISBN 17578981 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.1088/1757-899X/901/1/012021>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85092054952&doi=10.1088%2f1757-899X%2f901%2f1%2f012021&partnerID=40&md5=7e7567ab47570bf661b21c47518b15e4>. Acesso em: 14 jun. 2024.

HASAN, I.; GARDEZI, S. S. S.; MANZOOR, B.; ARSHID, M. U. Sustainable Consumption Patterns Adopting BIM-Enabled Energy Optimization-A Case Study of Developing Urban Centre. *Polish Journal of Environmental Studies*, [s. l.], v. 31, n. 4, p. 3095–3103, 2022. ISSN 12301485 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.15244/pjoes/145489>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85132372008&doi=10.15244%2fpjoes%2f145489&partnerID=40&md5=6957e08f6a973f75d0acb8174b6ebfa8>. Acesso em: 19 jun. 2024.

HASANAIN, F. A.; NAWARI, N. O. BIM-based model for sustainable built environment in Saudi Arabia. *Frontiers in Built Environment*, [s. l.], v. 8, 2022. ISSN 22973362 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.950484>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85143756106&doi=10.3389%2ffbuil.2022.950484&partnerID=40&md5=ddcbbfea20db4e68eab7f7f1c2d073b5>. Acesso em: 12 jun. 2024.

KHAHRO, S. H.; KUMAR, D.; SIDDIQUI, F. H.; ALI, T. H.; RAZA, M. S.; KHOSO, A. R. Optimizing energy use, cost and carbon emission through building information modelling and a sustainability approach: A case-study of a hospital building. *Sustainability (Switzerland)*, [s. l.], v. 13, n. 7, 2021. ISSN 20711050 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.3390/su13073675>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85103838393&doi=10.3390%2fsu13073675&partnerID=40&md5=e7395f3d0a1a2915a1ebcf57eefb606b>. Acesso em: 17 jun. 2024.

KHOSHDELNEZAMIHA, G.; LIEW, S. C.; BONG, V. N. S.; ONG, D. E. L.; ROY S. e SAN Y.K. (ed.). A BIM-Based Automated Assessment Tool for Green Building Index. In: ROY S.; SAN Y.K. (ed.). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* [S. l.]: IOP Publishing Ltd, 2020. journalAbbreviation: IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. v. 943, n. 1. ISBN 17578981 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.1088/1757-899X/943/1/012059>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85096431674&doi=10.1088%2f1757-899X%2f943%2f1%2f012059&partnerID=40&md5=e409f9941556cd6e10e1b15e5de7101b>. Acesso em: 10 jun. 2024.

KIM, S.; ZADEH, P. A.; STAUB-FRENCH, S.; FROESE, T.; CAVKA, B. T. Assessment of the Impact of Window Size, Position and Orientation on Building Energy Load Using BIM. *In: Procedia Engineering*, 2016. *Procedia Eng.* [S. l.]: Elsevier Ltd, 2016. journalAbbreviation: Procedia Eng. v. 145, p. 1424–1431. ISBN 18777058 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.179>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84999791714&doi=10.1016%2fj.proeng.2016.04.179&partnerID=40&md5=a28151ccbda4817c3accafc6c2da0d30>. Acesso em: 10 jun. 2024.

LIM, Y. W. *et al.* Bim and genetic algorithm optimisation for sustainable building envelope design. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 151–159, 2018. ISSN 17437601 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.2495/SDP-V13-N1-151-159>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85047239699&doi=10.2495%2fSDP-V13-N1-151-159&partnerID=40&md5=4273109f513876223d76eabd54ae5c25>. Acesso em: 12 jun. 2024.

LIN, Pao-Hung; CHANG, Chin-Chuan; LIN, Yu-Hui; LIN, Wei-Liang. Green BIM Assessment Applying for Energy Consumption and Comfort in the Traditional Public Market: A Case Study. *Sustainability*, [s. l.], v. 11, n. 17, p. 4636, 2019. ISSN 2071-1050. DOI <https://doi.org/10.3390/su11174636>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/17/4636>. Acesso em: 10 jun. 2024.

LIU, Q.; WANG, Z. Green BIM-based study on the green performance of university buildings in northern China. *Energy, Sustainability and Society*, [s. l.], v. 12, n. 1, 2022. ISSN 21920567 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.1186/s13705-022-00341-9>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85125384713&doi=10.1186%2fs13705-022-00341-9&partnerID=40&md5=0b1b561cab715d46aef6030c6a1a2563>. Acesso em: 14 jun. 2024.

MAGLAD, A. M. *et al.* Bim-based energy analysis and optimization using insight 360 (case study). *Case Studies in Construction Materials*, [s. l.], v. 18, 2023. ISSN 22145095 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01755>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85144346285&doi=10.1016%2fj.cscm.2022.e01755&partnerID=40&md5=d253c855f49806183cea73b1efb611d6>. Acesso em: 12 jun. 2024.

MALTESE, S.; TAGLIABUE, L. C.; CECCONI, F. R.; PASINI, D.; MANFREN, M.; CIRIBINI, A. L. C. Sustainability Assessment through Green BIM for Environmental, Social and Economic Efficiency. *In: Procedia Engineering*, 2017. *Procedia Eng.* [S. l.]: Elsevier Ltd, 2017. journalAbbreviation: Procedia Eng. v. 180, p. 520–530. ISBN 18777058 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.211>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85020816995&doi=10.1016%2fj.proeng.2017.04.211&partnerID=40&md5=7ed4699b3302628e474ecd280d70ed61>. Acesso em: 19 jun. 2024.

MARZOUK, M.; THABET, R. A BIM-Based Tool for Assessing Sustainability in Buildings Using the Green Pyramid Rating System. *BUILDINGS*, [s. l.], v. 13, n. 5, 13 maio 2023. ISSN 2075-5309. DOI <https://doi.org/10.3390/buildings13051274>.

MDPI. *Sustainability*. [S. l.: s. n.], 2009. Disponível em: <https://www.mdpi.com/journal/sustainability>. Acesso em: 15 jun. 2024.

MDPI. *Buildings*. [S. l.: s. n.], 2011. Disponível em: <https://www.mdpi.com/journal/buildings>. Acesso em: 15 jun. 2024.

MONTIEL-SANTIAGO, FJ; HERMOSO-ORZÁEZ, MJ; TERRADOS-CEPEDA, J. Sustainability and Energy Efficiency: BIM 6D. Study of the BIM Methodology Applied to Hospital Buildings. Value of Interior Lighting and Daylight in Energy Simulation. *SUSTAINABILITY*, [s. l.], v. 12, n. 14, jul. 2020. ISSN 2071-1050. DOI <https://doi.org/10.3390/su12145731>. Acesso em: 22 jun. 2024.

NEMATİ, B.; AMINNEJAD, B.; LORK, A. Applicability of building information modelling (Bim) in the sustainable design of commercial and office buildings. a case study from tehran, iran. *Journal of Settlements and Spatial Planning*, [s. l.], v. 2020, n. Special issue 6, p. 41–49, 2020. ISSN 20693419 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.24193/JSSPSI.2020.6.05>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85092898897&doi=10.24193%2fJSSPSI.2020.6.05&partnerID=40&md5=dc7fbf8ceae7de16541e0b1d2d021b7f>. Acesso em: 10 jun. 2024.

OHUERI, C. C.; LIEW, S. C.; BAMGBADE, J. A.; ENGBUMA, W. I. The Development of BIM-MyCREST Process Model for Concept Design of Green Buildings. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* [S. l.]: Institute of Physics, 2022. journalAbbreviation: IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. v. 1101, n. 3. ISBN 17551307 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1101/3/032005>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85144076562&doi=10.1088%2f1755-1315%2f1101%2f3%2f032005&partnerID=40&md5=792e626e02d982d9ee8be921ad39b8c8>. Acesso em: 19 jun. 2024.

OLIVEIRA, Lacyane Krysna dos Santos; RÊGO, Rejane de Moraes; FRUTUOSO, Maria Núbia Medeiros de Araújo; RODRIGUES, Sofia Suely Ferreira Brandão. Simulação Computacional da Eficiência Energética para uma Arquitetura Sustentável. *HOLOS*, [s. l.], v. 4, p. 217–230, 2016. ISSN 1807-1600. DOI <https://doi.org/10.15628/holos.2016.3981>. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/3981>. Acesso em: 10 maio 2024.

OLIVEIRA, Marcos Lucas de; RUPPENTHAL, Janis Elisa; VERGARA, Lizandra Garcia Lupi. Indústria da construção sustentável: uma análise da certificação leed no mercado brasileiro. *Brazilian Journal of Development*, [s. l.], v. 6, n. 5, p. 24942–24950, 2020. ISSN 2525-8761. DOI <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-083>. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/9615>. Acesso em: 28 abr. 2025.

REIS, Mari Aurora Favero; MINUSCULLI, Patrick; JUNIOR, Paulo Reis; FAVRETTO, Jacir. Sustentabilidade em cinco edificações residenciais utilizando o Selo Casa Azul. *Interações (Campo Grande)*, [s. l.], p. 703–715, 2023. ISSN 1984-042X. Disponível em: <https://interacoes.ucdb.br/interacoes/article/view/3560>. Acesso em: 28 abr. 2025.

RODRÍGUEZ, JFF. Sustainable Design Protocol in BIM Environments: Case Study of 3D Virtual Models of a Building in Seville (Spain) Based on BREEAM Method. *SUSTAINABILITY*, [s. l.], v. 15, n. 7, abr. 2023. ISSN 2071-1050. DOI <https://doi.org/10.3390/su15075787>. Acesso em: 22 jun. 2024.

SABAH HASEEB, Q.; MUHAMMED YUNUS, S.; ATTELLAH ALI SHOSHAN, A.; IBRAHIM AZIZ, A. A study of the optimal form and orientation for more energy efficiency to mass model multi-storey buildings of Kirkuk city, Iraq. *Alexandria Engineering Journal*, [s. l.], v. 71, p. 731–741, 2023. ISSN 11100168 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.03.020>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85151805486&doi=10.1016%2faej.2023.03.020&partnerID=40&md5=09b00d99b547c2a80d8def1ee2aa9c0>. Acesso em: 10 jun. 2024.

SACKS, Rafael; EASTMAN, Charles; LEE, Ghang; TEICHOLZ, Paul. *Manual de BIM: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2021. Disponível em: <https://ler.amazon.com.br/kp/embed?preview=newtab&linkCode=kpd&reshareChannel=system&reshareId=FC9MD4MCPGV1ZV1RSHX2&asin=B08XQVNX7&from=Bookcard&tag=ler-livros-+0&amazonDeviceType=A2CLFWBIMVSE9N>. Acesso em: 10 maio 2024.

SAMUEL, E. I.; JOSEPH-AKWARA, E.; RICHARD, A. Assessment of energy utilization and leakages in buildings with building information model energy. *Frontiers of Architectural Research*, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 29–41, 2017. ISSN 20952635 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.01.002>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85013641825&doi=10.1016%2fj.foar.2017.01.002&partnerID=40&md5=b5b86b98aed442b0873c91d39544570b>. Acesso em: 10 jun. 2024.

SANDBERG, M.; MUKKAVAARA, J.; SHADRAM, F.; OLOFSSON, T. Multidisciplinary Optimization of Life-Cycle Energy and Cost Using a BIM-Based Master Model. *SUSTAINABILITY*, [s. l.], v. 11, n. 1, 1 jan. 2019. ISSN 2071-1050. DOI <https://doi.org/10.3390/su11010286>.

SHOUBI, M. V.; SHOUBI, M. V.; BAGCHI, A.; BAROUGH, A. S. Reducing the operational energy demand in buildings using building information modeling tools and sustainability approaches. *Ain Shams Engineering Journal*, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 41–55, 2015. ISSN 20904479 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.1016/j.asej.2014.09.006>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85027940819&doi=10.1016%2fj.asej.2014.09.006&partnerID=40&md5=ca0c23ff7c16e0caa7283b6dba5ce216>. Acesso em: 10 jun. 2024.

SILVA, MCD *et al.* Guidelines for the Implementation of BIM for Post-Occupancy Management of Social Housing in Brazil. *ENERGIES*, [s. l.], v. 15, n. 18, set. 2022. ISSN 1996-1073. DOI <https://doi.org/10.3390/en15186802>. Acesso em: 22 jun. 2024.

SILVA, Vanessa Gomes da; SILVA, Maristela Gomes da; AGOPYAN, Vahan. Avaliação de edifícios no Brasil: da avaliação ambiental para avaliação de sustentabilidade. *Ambiente Construído*, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 7–18, 2003. ISSN 1678-8621. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/3491>. Acesso em: 28 abr. 2025.

SOUST-VERDAGUER, B.; BERNARDINO GALEANA, I.; LLATAS, C.; MONTES, M. V.; HOXHA, E.; PASSER, A. How to conduct consistent environmental, economic, and social

assessment during the building design process. A BIM-based Life Cycle Sustainability Assessment method. *Journal of Building Engineering*, [s. l.], v. 45, p. 103516, 2022. ISSN 2352-7102. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103516>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710221013747>. Acesso em: 10 jun. 2024.

SOUST-VERDAGUER, Bernardette; GUTIÉRREZ, José Antonio; LLATAS, Carmen. Development of a Plug-In to Support Sustainability Assessment in the Decision-Making of a Building Envelope Refurbishment. *Buildings*, [s. l.], v. 13, n. 6, p. 1472, jun. 2023. ISSN 2075-5309. DOI <https://doi.org/10.3390/buildings13061472>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/6/1472>. Acesso em: 2 maio 2025.

SOUST-VERDAGUER, B.; LLATAS, C.; CARMONA, A. A.; ALBRECHT S.; FISCHER M.; SCAGNETTI C.; BARKMEYER M.; BRAUNE A. (ed.). A workflow to integrate operational and embodied aspects when implementing Life Cycle Sustainability Assessment in Building Information Modelling. In: ALBRECHT S.; FISCHER M.; SCAGNETTI C.; BARKMEYER M.; BRAUNE A. (ed.). E3S Web of Conferences, 2022. *E3S Web Conf.* [S. l.]: EDP Sciences, 2022. journalAbbreviation: E3S Web Conf. v. 349. ISBN 25550403 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202234910001>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85146911028&doi=10.1051%2fe3sconf%2f202234910001&partnerID=40&md5=4a654c6c945efa16ec24d8cd0850680b>. Acesso em: 10 jun. 2024.

SOUST-VERDAGUER, B.; MORENO, JAG; LLATAS, C. Utilization of an Automatic Tool for Building Material Selection by Integrating Life Cycle Sustainability Assessment in the Early Design Stages in BIM. *SUSTAINABILITY*, [s. l.], v. 15, n. 3, fev. 2023. ISSN 2071-1050. DOI <https://doi.org/10.3390/su15032274>.

TALLBERG, M.; BOHNE, R. BIM based iterative simulation - Efficient building design: A case study. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* [S. l.]: Institute of Physics Publishing, 2019. journalAbbreviation: IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. v. 323, n. 1. ISBN 17551307 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012043>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85073035848&doi=10.1088%2f1755-1315%2f323%2f1%2f012043&partnerID=40&md5=122c32c7662ef025e5a23d959cceb6c1>. Acesso em: 12 jun. 2024.

TIRELLA, V.; FABBRICATORE, C.; CARPINO, C.; ARCURI, N.; BARRECA, F. Configuration Optimization for Sustainable Temporary Houses Employing BIM Procedure. *Buildings*, [s. l.], v. 13, n. 11, 2023. ISSN 20755309 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.3390/buildings13112728>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85178344499&doi=10.3390%2fbuildings13112728&partnerID=40&md5=39cab15057821dcc9c6cc49e3efc2d3f>. Acesso em: 12 jun. 2024.

UFSCAR. State of the Art through Systematic Review - StArt. *Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software - LAPES - UFSCAR*. [S. l.: s. n.], 2024. Disponível em: <https://www.lapes.ufscar.br/resources/tools-1/start-1>. Acesso em: 15 jun. 2024.

UNDP. Sustainable Development Goals. *United Nations Development Programme - UNDP*. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>. Acesso em: 9 jun. 2023.

WANG, Chao; CHO, Yong K. Performance Evaluation of Automatically Generated BIM from Laser Scanner Data for Sustainability Analyses. *Procedia Engineering*, [s. l.], v. 118, p. 918–925, 2015. ISSN 1877-7058. DOI <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.531>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815021864>. Acesso em: 10 jun. 2024.

WAQAR, Ahsan; OTHMAN, Idris; SAAD, Noha; AZAB, Marc; KHAN, Abdul Mateen. BIM in green building: Enhancing sustainability in the small construction project. *Cleaner Environmental Systems*, [s. l.], v. 11, p. 100149, 2023. ISSN 2666-7894. DOI <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2023.100149>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666789423000430>. Acesso em: 10 jun. 2024.

WATFA, Mohamed K.; HAWASH, Amal E.; JAAFAR, Kamal. Using Building Information & Energy Modelling for Energy Efficient Designs. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, [s. l.], v. 26, n. 23, p. 427–440, 2021. DOI <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.023>. Disponível em: <http://www.itcon.org/paper/2021/23>. Acesso em: 10 jun. 2024.

WU, B.; MAALEK, R. Renovation or Redevelopment: The Case of Smart Decision-Support in Aging Buildings. *SMART CITIES*, [s. l.], v. 6, n. 4, p. 1922–1936, ago. 2023. ISSN 2624-6511. DOI <https://doi.org/10.3390/smartcities6040089>. Acesso em: 22 jun. 2024.

ZHAN, Z. *et al.* BIM-Based Green Hospital Building Performance Pre-Evaluation: A Case Study. *Sustainability (Switzerland)*, [s. l.], v. 14, n. 4, 2022. ISSN 20711050 (ISSN). DOI <https://doi.org/10.3390/su14042066>. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85124628488&doi=10.3390%2fsu14042066&partnerID=40&md5=cfed6ffac6d4bf03ba45c0c1267ae7d7>.