BIM APLICADO AO SISTEMA FOTOVOLTAICO INTEGRADO À CONSTRUÇÃO (BIPV) COMO ALTERNATIVA À EDIFICAÇÃO ZERO ENERGIA - UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

BIM APPLIED TO BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAICS AS AN ALTERNATIVE FOR ZERO ENERGY BUILDINGS- A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Thomas Farias Viana [1]; Giuseppe Miceli Junior [2]; Paulo César Pellanda [3].

[1]Engenheiro Eletricista | farias.thomas@ime.eb.br | IME | Rio de Janeiro, Brasil; [2] Doutor | giuseppe.pged@ime.eb.br | IME | Rio de Janeiro, Brasil; [3]Doutor | pcpellanda@ieee.org | IME | Rio de Janeiro, Brasil.

Resumo:
O artigo apresenta uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre a aplicação do *Building Information Modeling* (BIM) em projetos de *Building-Integrated Photovoltaics* (BIPV) como alternativa para edificações de zero energia (ZEB). Apesar do potencial dessa integração, a sua implementação efetiva é dificultada por barreiras como interoperabilidade, falta de padronização e ausência de fluxos de trabalho consolidados, o que constitui o problema de pesquisa. A RSL tem como objetivo identificar contribuições, desafios, requisitos de informação e fluxos de trabalho relacionados à integração do BIM com sistemas fotovoltaicos em edificações. Após a seleção e aplicação de filtros, 21 artigos foram analisados. Os resultados indicam que o BIM aprimora a modelagem e a simulação de desempenho energético, facilitando a colaboração entre profissionais. Os requisitos de informação incluem dados meteorológicos, geográficos e características do sistema fotovoltaico. Diversas ferramentas foram analisadas, com destaque para o Revit e softwares como *PVSyst, SolariusPV, PVSITES* e Insight 360 na simulação energética. A revisão indica que, embora o BIM ofereça benefícios para projetos BIPV/ZEB, há lacunas a serem preenchidas, como a criação de processos integrados e eficientes para interoperabilidade e troca de informações, bem como aproveitamento das vantagens da adoção de normas como a ABNT NBR ISO 19650.

Palavras-chave:
BIM; BIPV; Fluxo de trabalho; Requisitos; ZEB.

Abstract:
This article presents a Systematic Literature Review (SLR) on the application of Building Information Modeling (BIM) in Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) projects as an alternative for Zero Energy Buildings (ZEB). Despite the potential of this integration, its effective implementation is hindered by barriers such as interoperability, lack of standardization, and the absence of consolidated workflows, which constitutes the research problem addressed. The SLR aims to identify contributions, challenges, information requirements, and workflows related to the integration of BIM with photovoltaic systems in buildings. After applying selection criteria and filters, 21 articles were analyzed. The results indicate that BIM enhances modeling and energy performance simulation, facilitating collaboration among professionals. Information requirements include geographical, meteorological data, and photovoltaic system characteristics. Various tools were analyzed, with Revit and software such as PVSyst, SolariusPV, PVSITES, and Insight 360 for energy simulation. The review indicates that, although BIM offers benefits for BIPV/ZEB projects, there are gaps to be addressed, such as the creation of integrated and efficient processes for interoperability and information exchange, as well as leveraging the advantages of adopting standards like ABNT NBR ISO 19650.

Keywords:
BIM; BIPV; Requirement;Workflow; ZEB.

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Agência Internacional de Energia, *International Energy Agency* (IEA), a operação dos edifícios no mundo representa 30% do consumo final de energia e 26% das emissões dos gases do efeito estufa, com 8% em emissões diretas e 18% em emissões indiretas referentes à produção de eletricidade e calor (IEA, 2023). Diante disso, diversos países adotaram providências no sentido de diminuir o consumo de energia das edificações, com incentivo a edificações eficientes e produtoras de energia renovável, visando tornar próximo a zero o seu balanço energético, os *Zero Energy Building* (ZEB) (Ohene, Chan, Darko, 2022; Lund, Marszal, Heiselberg, 2011).

Embora estudos descrevam projetos ZEB nos quais biomassa e energia eólica são vistas como fontes de energia renovável potenciais neste contexto, essas fontes não são tão comuns quanto a energia solar (Jaysawal *et al.*, 2022). A facilidade de instalação em construções e a adaptabilidade a diversos tipos de edificações e por não requererem grandes espaços, fez com que os sistemas fotovoltaicos integrados às edificações, ou *Building-integrated Photovoltaics* (BIPV) em inglês, se tornassem uma das estratégias essenciais para alcançar o ZEB (Jakica, 2018).

Neste conceito de projeto, é possível analisar pontos importantes relacionados à geração de energia, que devem ser levados em consideração nas tomadas de decisão. Entre eles, destacam-se a elaboração do estudo de viabilidade com a utilização de simulação e mapeamento de irradiância, a consideração do entorno e sombreamento e o potencial de geração. Esta dinâmica vai ao encontro da metodologia *Building Information Modeling* (BIM) ou Modelagem da Informação da Construção, em português (Lyra, 2020). As soluções que integram BIM e BIPV permitem simular a previsão do impacto no desempenho de energia do edifício ao longo do ciclo de vida. Um fluxo de trabalho baseado em BIM auxilia no intercâmbio de informações desde a fase de concepção até a fabricação e operação, vindo a reduzir o retrabalho do preenchimento manual das informações já constantes no modelo de arquitetura e inseridas novamente nas ferramentas de simulação energética (Alamy *et al.*, 2019). Apesar desses benefícios, a integração efetiva entre BIM e as ferramentas de simulação para projetos BIPV apresenta desafios significativos. A ausência de um entendimento consolidado sobre os problemas de interoperabilidade, a falta de padronização de informações e a carência de fluxos de trabalho bem definidos constituem o problema de pesquisa que justifica a necessidade de uma investigação aprofundada por meio de uma revisão sistemática da literatura.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Nova Estratégia de Disseminação do BIM (NOVA BIM BR) define o BIM como um conjunto integrado de processos e tecnologias que permite criar, utilizar, atualizar e compartilhar, colaborativamente, modelos digitais de uma construção, de forma a servir potencialmente a todos os participantes do empreendimento durante o ciclo de vida da construção (Brasil, 2024). Com este potencial, o BIM se tornou uma alternativa que permite associar atributos geométricos com informações de desempenho e planejamento de dados, por meio do desenvolvimento de modelos que representam a construção (Silva, Salgado, 2017). Com o intuito de fornecer orientações e difundir as melhores práticas, a série ISO 19650, com a primeira parte publicada em 2018, fornece diretrizes e requisitos para organização e gestão da informação no contexto BIM, de modo a garantir a consistência, segurança e interoperabilidade nos processos de projeto (Ribeiro *et al*., 2021).

A principal vantagem da integração fotovoltaica às edificações é a redução de material e de mão de obra, pois o material desempenha função arquitetônica e de geração de energia, apesar da variedade limitada de materiais fotovoltaicos para estes sistemas (Zhang, Wang, Yang ,2018; Ploszai, Scheer, 2020). De acordo com Nguyen e Machado (2018) projetos que utilizam BIPV com objetivo de alcançar níveis de zero energia devem possuir colaboração de todos os envolvidos desde o início da etapa conceitual até a validação final, com sucessivas análises e verificações intermediárias. Com isso, o BIM se mostra como metodologia apropriada para condução destes projetos, em virtude da integração entre pessoas, processos e tecnologias, que favorece a troca entre os projetistas (Nguyen, Machado, 2018).

Os ZEB são edifícios caracterizados pelo balanço de energia igual a zero e pelas emissões de carbono equivalentes a zero, e normalmente são independentes da rede elétrica. Quando conectados à rede elétrica, são definidos como *Net-Zero Energy Building* (NZEB) e buscam um balanço energético zero para um determinado período, geralmente adota-se o intervalo anual (Sartori, Napolitano, Voss, 2012). No mesmo contexto, ainda é utilizada a sigla *nearly-Zero Energy Building* (nZEB) para edifícios que são altamente eficientes, mas não produzem integralmente a energia necessária para seu funcionamento (Marszal *et al.*, 2011).

3. MÉTODO DE PESQUISA

O procedimento metodológico deste artigo foi a Revisão Sistemática da Literatura, conduzida conforme as etapas propostas por Okoli (2015).

3.1 PLANEJAMENTO

O objetivo desta RSL é identificar como o BIM pode contribuir em projetos BIPV no contexto dos edifícios zero energia. Para atingir essa finalidade, foram formuladas as questões de pesquisas (QP), apresentadas na seção de resultados deste trabalho.

3.2 SELEÇÃO

Para seleção dos trabalhos, foram definidos termos de pesquisa, relacionados ao tema de interesse: BIM, BIPV, ZEB, *workflow*, *framework* e *information requirements*. Esses termos e suas variantes formam a chamada *string* de busca utilizada nos repositórios de trabalhos acadêmicos: "(((zeb OR zero AND energy OR net AND zero OR Nzeb OR nzeb OR nearly AND zero) OR (bipv OR building AND integrated AND photovoltaic)) AND (bim OR building AND information AND model*) AND (Workflow OR information AND requirements))".

A busca foi limitada a trabalhos publicados nos últimos dez anos (2015 a 2025) e foram utilizadas as seguintes bases: SCOPUS, *Web of Science* (WoS), *Directory of Open Access Journals* (DOAJ) e *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE). Além desses repositórios, foi realizada busca manual em periódicos e anais de congressos nacionais aderentes ao tema, adicionalmente foram incluídos manualmente trabalhos relevantes da área não captados pela *string* de busca, com destaque para Gupta *et al.* (2014), que foi incluído mesmo com mais de 10 anos, devido ao seu elevado número de citações, recorrentes nos trabalhos selecionados. O retorno das buscas realizadas e inserções manuais são apresentados na Tabela 1, com a quantidade de artigos selecionados.

Base de Dados	Quantidade de Artigos
DOAJ	23 (13,7%)
IEEE	47 (28%)
WOS	68 (40,5%)
SCOPUS	15 (8,9%)
Manual	15 (8,9%)
Total	**168**

Tabela 1: trabalhos selecionados.
Fonte: os autores (2025).

3.3 EXTRAÇÃO

Após análise, foram identificados 18 trabalhos duplicados que foram excluídos, em seguida aplicaram-se os critérios de inclusão e exclusão, a fim de atender satisfatoriamente às questões de

pesquisa propostas, na leitura dos títulos, palavras-chaves e resumos. Dessa forma, pretendeu-se selecionar apenas os trabalhos que atendem os critérios de inclusão e de exclusão, resultando em 37 (trinta e sete) trabalhos pertinentes à revisão.

Após a aplicação dos critérios, foi realizada a avaliação da qualidade dos trabalhos, estabelecendo perguntas que investiguem a presença de contribuições relevantes para a pesquisa. Foram elaborados seis questionamentos, e cada resposta foi classificada como “atende plenamente”, “atende parcialmente” ou “não atende”, com pesos 2 (dois), 1 (um) e 0 (zero), respectivamente, o que garantiu uma análise mais estruturada e objetiva dos trabalhos.

a) O artigo cita a série ISO 19650 - gestão da informação usando BIM?
b) O artigo apresenta definição para o termo ZEB ou suas variáveis?
c) O artigo apresenta fluxo de trabalho para projetos BIPV?
d) O artigo apresenta os requisitos de informação necessários para projetos BIPV?
e) O artigo apresenta ferramentas de simulação energética?
f) O artigo apresenta ferramentas de modelagem de arquitetura?

Dentre os 37 (trinta e sete) artigos, a maior avaliação ficou em 8,0 (oito) e nenhum dos artigos citou a série ISO 19650. Com isso, foram selecionados 21 (vinte e um) artigos que tiveram nota igual ou acima de 5,0 (cinco).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a leitura integral dos artigos selecionados, foi realizada a extração dos dados necessários para responder às questões de pesquisa.

QP1: Quais as contribuições do uso do BIM nos projetos BIPV ou ZEB?

Gosh (2020) destaca que a modelagem da informação da construção oferece ferramentas de arquitetura e engenharia para que os envolvidos nos projetos BIPV possam vir a resolver problemas complexos deste sistema de construção multifásico. O BIM pode auxiliar numa modelagem mais precisa e vir a facilitar a simulação do desempenho energético, melhoria da coordenação entre os diferentes projetistas, redução de custos e tempo de projeto, além de possibilitar a automatização do processo de modelagem, com aumento da precisão dos documentos (Giovanni *et al*., 2024; Yang *et al.*, 2023; Yao *et al.*, 2022; Gosh, 2020). Ademais, Nguyen e Machado (2018) acrescentam que o BIM também é utilizado na operação e gestão dos ativos, possibilitando a antecipação do planejamento dessas atividades, com trocas de informações dos diferentes sistemas da edificação.

Complementando essa perspectiva, Tiagarajan e Go (2024) apontam que o BIM é essencial para condução de análises detalhadas dos desempenhos dos sistemas BIPV, de modo a combinar diferentes parâmetros e possibilidades de projeto para dar suporte ao usuário na tomada de decisão em relação à construção. Na mesma ótica, Giovanni *et al*. (2024) afirmam que o BIM se tornou essencial no processo de design nos últimos anos, pois permite a integração da geração de energia solar já nas primeiras etapas do projeto do edifício.

Por fim, Alamy *et al.* (2019) e Lau *et al.* (2019) sugerem que famílias de objetos BIPV/BIM, que podem ser utilizadas por arquitetos, contratantes e demais envolvidos, são o ponto chave no projeto BIPV e que todas as partes interessadas devem participar do processo desde as etapas iniciais. Gupta *et al.* (2014) introduzem que certos dados de entrada, necessários para a modelagem fotovoltaica solar, podem ser extraídos do modelo BIM, o que reduz a necessidade de o modelador de energia repetir o processo de reentrada de dados, muitas vezes errôneo, especialmente envolvendo a geometria do edifício.

QP2: Quais os desafios da aplicação do BIM nos projetos BIPV?

Segundo Yang *et al.* (2023), o processo de projeto BIPV é mais complexo que os tradicionais, pois envolve múltiplos softwares, o que dificulta a obtenção de um fluxo de projeto contínuo. Este tipo de projeto requer diferentes simulações e diferentes leiautes antes de chegar na versão final. Yao

et al. (2022) alertam que a integração aprimorada das ferramentas BIM nem sempre garante um alto nível de colaboração, devido à falta de processos definidos e de proficiência operacional, o que provoca uma gama de mal-entendidos, interpretações errôneas de dados, aumento de retrabalho e colaboração insuficiente.

Em seu levantamento sobre softwares BIPV, Jakica (2018) constatou a necessidade de um maior desenvolvimento de ferramentas de design para arquitetura solar, destacando ferramentas fáceis de usar, preferencialmente integradas ao ambiente BIM, que apresentem resultados diretos e significativos, compatíveis com o fluxo de trabalho dos arquitetos. Os problemas de interoperabilidade entre BIM e as ferramentas de simulação energética tornam o processo de design ineficiente e menos automático, além disso, a insuficiência de informações semânticas pode levar a resultados imprecisos (Yang *et al.*, 2023).

Além disso, a inexistência de uma biblioteca de objetos, que possibilite a digitalização de produtos BIPV, como janelas, brises e telhas metálicas, bem como a falta de pesquisas sobre modelos de dados de produtos para integração com as ferramentas de modelagem, com a criação de modelos 3D, dificultam as análises de irradiação solar e sombreamento do edifício (Zhang, Yang, Boukamp, 2022; Plozai, Scheer, 2020; Yang *et al.*, 2023; Hamzah, Go, 2023). No mesmo sentido, Alamy *et al.* (2019) afirmam que o principal desafio para desenvolver um objeto BIM, no caso de um componente BIPV personalizável, é que todas as principais características do objeto não são fixas ou pré definidas, mas podem ser estabelecidas caso a caso durante a fase de projeto, além de ser necessário harmonizar as condições operacionais ideais para o sistema fotovoltaico, o contexto arquitetônico, as considerações econômicas e os requisitos de regulamentação da construção (Plozai, Scheer, 2020).

A ampla gama de parâmetros de projetos, como informações sobre produtos, códigos e normas de construção e dados climáticos locais, precisam ser considerados para um fluxo de trabalho de um sistema BIPV (Yang *et al.*, 2023). No entanto, devido aos altos custos computacionais e à disponibilidade limitada desses conjuntos de dados, as simulações de potencial solar dependem de modelos simplificados para permitir uma estimativa aproximada, mais imediata (Giovanni *et al*., 2024).

QP3: Quais os requisitos de informação para construção integrada à geração fotovoltaica?

Dos trabalhos selecionados, somente os artigos de Liang e Tang (2024) e Zhang, Yang e Boukamp (2022) mencionam de forma explícita a expressão requisitos de informação. Ambos tratam dos requisitos de troca de informações baseado no caso de uso de construção integrada à geração fotovoltaica.

Liang e Tang (2024) definem os requisitos de informação para um projeto de sistema fotovoltaico com base nas normas IEC (*International Electrotechnical Commission*). Além disso, apresentam um exemplo de regras para que as informações de um módulo fotovoltaico constem no esquema de dados IFC (Industry Foundation Class), as quais podem ser mandatória (M), em que obrigatoriamente o atributo, especificado na norma, deve constar no IFC; opcional (O), para informações não detalhadas na norma; e não recomendadas (N), para atributos considerados não necessários. Nos resultados, os autores identificaram 75 unidades de informação, porém alguns identificadores de atributos fotovoltaicos não podem ser representados nos campos de propriedade existentes no IFC, portanto esses atributos foram incluídos em campos criados pelos autores (Liang e Tang, 2024).

Zhang, Yang e Boukamp (2022) identificaram os requisitos de troca de informação com base em uma revisão da literatura e entrevistas com profissionais da área, em que os arquitetos determinam as áreas de aplicação, os projetistas selecionam os produtos BIPV aplicáveis, determinando um requisito de troca de informações entre esses profissionais. Ao desenhar o mapa de processo com os atores envolvidos, identificam requisitos de troca de informações relacionados à construção (tipo de construção, seleção de elementos, tipo de integração e área de incidência solar), produto (tipo de módulo, material do módulo, eficiência, voltagem, cor do módulo, entre outras) e ao proprietário (elementos aplicáveis e produtos BIPV).

Outros autores, embora não abordem de forma explícita os requisitos de informação, identificam informações que são necessárias ao modelo de um projeto BIPV, tais como modelagem 3D, coordenadas geográficas, características do terreno, seleção dos elementos fotovoltaicos, tipo de inversor, área e eficiência dos módulos, dados de janelas, telhados, paredes e portas, dados meteorológicos, incidência solar e sombreamento do entorno (Giovanni et al.; Tiagarajan, Go, 2024; Plozai, Scheer; Ghosh, 2020; Gupta et al., 2014).

QP4: Qual a participação de cada profissional no processo de construção integrada à geração fotovoltaica?

É consenso entre os autores que os projetos BIPV são multidisciplinares e complexos, com inclusão de profissionais de arquitetura, engenharia civil, elétrica, ambiental, gestores e proprietários (Yao *et al.*, 2022; Ning *et al*., 2018; Alamy *et al.*, 2019; Gupta *et al.*, 2014; Lucchi, Agliata, 2023; Lyra, Rola, 2020). Na fase de pré-projeto, o arquiteto desenvolve o projeto conceitual como leiaute da edificação, para que os demais especialistas possam entrar na fase de desenvolvimento com informações específicas (Lau *et al*., 2019). O projetista do sistema de geração fotovoltaica, dentro do ambiente colaborativo, realiza considerações para atingir níveis de eficiência desejados para os módulos (Lyra, Rola, 2020). Lucchi e Agliata (2023), adicionalmente, destacam a importância do processo decisório, em virtude das diferentes partes envolvidas no processo, bem como o fluxo colaborativo para facilitar a cooperação entre os projetistas.

QP5: Como é o fluxo de trabalho adotado na modelagem e simulação?

Yang *et al.* (2023) propõem um fluxo de trabalho em notação BPMN (*Business Process Model and Notation*), em que após a modelagem de arquitetura, é realizado o estudo de irradiação solar com simulação na ferramenta desenvolvida no trabalho. Em seguida, é realizada a escolha dos produtos BIPV e posteriormente a otimização para ajustes de ângulo de inclinação, no final o arquivo IFC é exportado para um ambiente de visualização 3D. Este processo é semelhante ao apresentado por Tiagarajan e Go (2024). O fluxo de trabalho proposto por Zhang, Yang e Boukamp (2022), também em notação BPMN, serviu para identificação dos requisitos de informação de cada envolvido no processo, já apresentado na QP3 deste trabalho.

Gupta *et al.* (2014), utilizando ferramenta desenvolvida no próprio trabalho, propõem que, após extração dos dados necessários do modelo de arquitetura, por meio do arquivo IFC, sejam realizadas as simulações de irradiação solar, análise de superfícies e análise de eficiência dos módulos fotovoltaicos, para que seja possível determinar orientação e melhores superfícies para instalação dos módulos.

Lau *et al*. (2019) propõem a utilização de módulos pré-fabricados para integração da geração fotovoltaica à edificação, com isso, o fluxo de trabalho é dividido em seis etapas: reunião de apresentação do projeto, em que é definido o escopo e realizada análise do potencial de geração de energia solar; projeto conceito, que possibilita a análise do envelope da edificação; detalhamento de projeto, com a customização dos produtos BIPV, estimativa de custos e análises de taxa de retorno de investimento; pós projeto, quando os produtos BIPV especificados vão para análise das empresas de pré-fabricação; e construção e operação.

QP6: Qual ferramenta é utilizada/abordada para modelagem de arquitetura?

A maioria dos trabalhos selecionados utilizaram ou citaram o *Revit* (16 trabalhos) em suas pesquisas. Os softwares *Sketchup* (2)*, ArchiCAD* (2), *Rhino* (1), *Edificius by Acca* (1) *e Grasshopper* (1)*,* também foram abordados ou citados nos trabalhos analisados.

QP7: Qual ferramenta é utilizada/ abordada para simulação energética?

Jakica (2018) realizou uma revisão sobre o estado da arte das ferramentas de simulação energética voltadas para projetos BIPV, o estudo analisou quase 200 ferramentas entre softwares, aplicativos e sites, em que cerca de 50 possuíam algum tipo de integração com ferramentas 3D/CAD/BIM. Dentre as ferramentas com integração BIM, abordadas por Jakica (2018) e citadas nos demais

trabalhos selecionados tem-se: *PVSyst, PVSol* e *Solarius-PV*. A Tabela 2 apresenta as ferramentas utilizadas ou citadas nos trabalhos selecionados.

Autores	Ferramenta
Shuja, Gardezi e Idrees (2021), Giovanni *et al*. (2024), Razzaq *et al*. (2023), Hamzah e Go (2023), Tiagarajan e Go (2024)	*Insight 360*
Yang *et al*. (2023),Saurav *et al*. (2023)	*Energy Plus , Dynamo*
Lau *et al*. (2019)	*Construct PV*
Lyra e Rola (2020), Alamy *et al*. (2019), Nguyen e Machado (2018)	*PVSITES*
Lyra e Rola (2020), Alamy *et al*. (2019)	*PVBOOST*
Lyra e Rola (2020)	*SolConPro*
Giovanni *et al*. (2024)	*Solarius-PV*
Gosh (2020), Gupta *et al*. (2014), Tiagarajan e Go (2024), Yang *et al*. (2023)	*PVSyst*
Gupta *et al*. (2014), Tiagarajan e Go (2024)	*PVSol*
Liang e Tang (2024), Gupta *et al*. (2014), Ning *et al*. (2018), Yang *et al*. (2023)	Própria

Tabela 2: ferramenta de simulação energética utilizada/ abordada.
Fonte: os autores (2025).

QP8: Como é realizado o intercâmbio de informação entre as ferramentas de modelagem e de simulação?

Embora a maioria dos trabalhos selecionados abordem interoperabilidade e intercâmbio de informações, muitos não descrevem a forma que é realizado. Nguyen e Machado (2018) utilizam formato nativo para realizar a interoperabilidade entre o *Autodesk Revit* e o *PVSITES*. Alamy *et al*. (2019), que também utiliza o *PVSITES*, destacam a facilidade na utilização de padrões nativos na interoperabilidade, o que resulta em um processo colaborativo mais simples para arquitetos, engenheiros e fabricantes de produtos BIPV.

Liang e Tang (2024) e Zhang, Yang e Boukamp (2022) utilizam o arquivo IFC, exportado com utilização do MVD (*Model View Definition*), para deixar o arquivo com apenas os dados necessários para o caso de uso, de modo a otimizar o processo de interoperabilidade. Yang *et al.* (2023) e Gupta *et al*. (2014) também utilizam o arquivo IFC e fazem uma comparação com padrão gbXML, com destaque para as vantagens de se utilizar padrões abertos e neutros. Giovanni *et al*. (2024) utilizam o IFC do *Revit* para importar no *Solarius*-PV, que possibilita realizar a simulação e projeto do sistema fotovoltaico, além de também exportar um arquivo IFC de volta para o Revit, de modo a facilitar a compatibilidade entre as demais disciplinas.

Yao *et al.* (2022) alertam sobre a dificuldade de colaboração nos projetos BIPV devido à complexidade dos padrões abertos, a ineficiência da transmissão de dados e a falta de pesquisas quantitativas para ilustrar as diferenças entre as colaborações baseadas em BIM e o processo tradicional de projeto.

5. CONCLUSÃO

Esta RSL revelou os benefícios da utilização do BIM no contexto de projetos BIPV voltados a edificações de zero energia, como integração de diferentes disciplinas e realização de simulações energéticas ainda nas primeiras etapas de projeto. As respostas obtidas ao longo das oito questões de pesquisa permitiram identificar lacunas e desafios a serem solucionados, principalmente sobre a interoperabilidade entre as ferramentas de modelagem de arquitetura e de simulação energética, de modo a mitigar a perda de informações e diminuir o retrabalho de preenchimento manual de

informações já existentes no modelo. Com isso, para que seja atingida a eficiência desejada na geração de energia dos sistemas fotovoltaicos integrados à edificação, é necessário que os profissionais responsáveis trabalhem colaborativamente num fluxo adequado de projeto.

Informações como localização geográfica, caminho solar, sombreamento, tipo e inclinação de cobertura e fachadas precisam ser compartilhadas entre os projetistas para que a geração de energia fotovoltaica da edificação seja otimizada, e assim possa ser atingido o nível de zero energia. Apesar de terem sido identificadas uma gama de ferramentas que se propõem a fazer a integração dos processos de simulação energética com a modelagem de arquitetura, nenhum estudo evidencia ferramentas que sejam de fácil uso e apresentem resultados claros e significativos com o fluxo de trabalho dos arquitetos.

Com isso, os benefícios da utilização da metodologia BIM neste tipo de projeto serão potencializados com a resolução dos desafios apontados pelos autores, como a criação de um processo de projeto em que seja possível identificar a participação de cada profissional, os requisitos de troca de informação e os níveis de informação necessária para que os dados sejam corretamente estruturados no modelo, de modo a permitir interoperabilidade entre as ferramentas e minimizar a perda de informações.

Por fim, destaca-se que, embora todos os trabalhos selecionados abordem a metodologia BIM, nenhum fez menção à série ISO 19650, que trata da gestão da informação no contexto BIM. Como sugestão de pesquisas futuras, tem-se a adequação dos fluxos de trabalhos dos projetos BIPV às premissas da ISO 19650 e a verificação de qualidade dos modelos para checagem de atendimento das informações necessárias à construção BIPV.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAMY, P., NGUYEN, V.K., SARETTA, E., BONOMO, P., ROMÁN MEDINA, E., VEGA DE SEOANE, J.M., ALONSO, P. BIM – A Booster for Energy Transition and BIPV Adoption. **36th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition**; p. 1754-1758, 2019. DOI: https://doi.org/10.4229/EUPVSEC20192019-6DO.8.6

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. **Plano de Trabalho NOVA BIM BR**. Brasília, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/building-information-modelling-bim/ plano-de-trabalho-nova-bim-br-2.pdf. Acesso em: 12 fev. 2025

GIOVANNI, G., ROTILIO, M., GIUSTI, L., EHTSHAM, M. Exploiting building information modeling and machine learning for optimizing rooftop photovoltaic systems. **Energy and Buildings**, v. 313, p. 114250, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114250

GHOSH, A. Potential of building integrated and attached/applied photovoltaic (BIPV/BAPV) for adaptive less energy-hungry building's skin: A comprehensive review. **Journal of Cleaner Production**, v. 276, p. 123343, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123343

GUPTA, A., CEMESOVA, A., HOPFE, C.J., REZGUI, Y., SWEET, T. A conceptual framework to support solar PV simulation using an open-BIM data exchange standard. **Automation in Construction**, v. 37, p. 166–181, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.005

HAMZAH, A.H., GO, Y.I. Design and assessment of building integrated PV (BIPV) system towards net zero energy building for tropical climate. **e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy**, v. 3, p. 100105, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.prime.2022.100105

IEA - International Energy Agency. **Buildings**. *[S.l.].* 2023. Disponível em: https://www.iea.org/energy-system/buildings. Acesso em: 03 mar. 2025.

JAKICA, N. State-of-the-art review of solar design tools and methods for assessing daylighting and solar potential for building-integrated photovoltaics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 1296–1328, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.080

JAYSAWAL, R., CHAKRABORTY, S., ELANGOVAN, D., PADMANABAN, S. Concept of net zero energy buildings (NZEB)-A literature review. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 11, p. 100582, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100582

LAU, S.Y., CHEN, T., ZHANG, J., XUE, X., LAU, S.K., KHOO, Y.S. A new approach for the project process: prefabricated building technology integrated with photovoltaics based on the BIM system. **IOP Conference Series:** Earth and Environmental Science, v. 294, n. 1, p. 012050, 2019. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/294/1/012050

LUCCHI, E., AGLIATA, R. HBIM-based workflow for the integration of advanced photovoltaic systems in historical buildings. **Journal of Cultural Heritage**, v. 64, p. 301–314, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.culher.2023.10.015

LUND, H.; MARSZAL, A.; HEISELBERG, P. Zero energy buildings and mismatch compensation factors. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 7, p. 1646–1654, 2011. ISSN 0378-7788. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.006

LYRA, G.G.B. de, ROLA, S.M. Revisão sobre ambiente de trabalho BIM aplicado a sistemas fotovoltaicos integrados à edifícios (BIPV). Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS **Anais [...]** *[S. l.].* 2020, DOI: https://doi.org/10.59627/cbens.2020.932

MARSZAL, A. J.; HEISELBERG, P.; BOURRELLE, J. S.; MUSALL, E.; VOSS, K.; SARTORI, I.; NAPOLITANO, A. Zero energy building – A review of definitions and calculation methodologies. **Energy and Buildings,** v. 43, n. 4, p. 971–979, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.022

NGUYEN, V. K.; MACHADO, M. BIM a Driver for Energy Transition and BIVP Adoption. EuroSun 2018 In: **Proceedings [...].**, p. 1-10, 2018. DOI: 10.18086/eurosun2018.11.12

NING, G., KAN, H., ZHIFENG, Q., WEIHUA, G., GEERT, D. e-BIM: a BIM-centric design and analysis software for Building Integrated Photovoltaics. **Automation in Construction**, v. 87, p. 127-137, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.020

OHENE, E.; CHAN, A. P.; DARKO, A. Review of global research advances towards net-zero emissions buildings. **Energy and Buildings**, v. 266, p. 112142, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112142

OKOLI, C. A Guide to Conducting a Standalone Systematic Literature Review. **Communications of the Association for Information Systems**, v. 37, p. 879 – 910, 2015. DOI:10.17705/1CAIS.03743

PLOSZAI, S., SCHEER, S. Modelagem da Informação da Construção como facilitador para a Integração Fotovoltaica nas Edificações. Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS. **Anais [...].** *[S. l.].* 2020. DOI: https://doi.org/10.59627/cbens.2020.930

RAZZAQ, I., AMJAD, M., QAMAR, A., ASIM, M., ISHFAQ, K., RAZZAQ, A., MAWRA, K. Reduction in energy consumption and CO2 emissions by retrofitting an existing building to a net zero energy building for the implementation of SDGs 7 and 13. **Frontiers in Environmental Science**, v. 10, 2023. DOI: https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1028793

RIBEIRO, T. R.; RAMOS, J. C. F.; OLIVEIRA, V. M. A. de; RUSCHEL, R. C. Compreensão dos requisitos de informação da ISO 19650. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção- SBTIC, 3., 2021. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 1–13. DOI: https://doi.org/10.46421/sbtic.v3i00.580

SARTORI, I.; NAPOLITANO, A.; VOSS, K. Net zero energy buildings: A consistent definition framework. **Energy and Buildings,** v. 48, p. 220–232, 2012. ISSN 0378-7788. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.01.032

SAURAV, B; DIYA, K., SALONEE, R., QIAN, C. Using BIM to facilitate generative target value design for energy efficient buildings. In: ISARC. International Symposium on Automation and Robotics in

Construction. **Proceedings [...].** IAARC Publications, 2023. p. 667-674. DOI: 10.22260/ISARC2023/0093

SILVA, F. D. d.; SALGADO, M. S. O uso do FTA para avaliar o potencial da plataforma BIM na reabilitação de edifícios. **PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 8, n. 1, p. 3–19, 2017. DOI: https://doi.org/10.20396/parc.v8i1.8649200

SHUJA, D., GARDEZI, S.S.S., IDREES, M.R. Prospects of transforming conventional commercial buildings to net zero energy building – balancing the economic aspects with energy patterns. **Environmental and Climate Technologies**, v. 25, n. 1, p. 990-1002, 2021. DOI: https://doi.org/10.2478/rtuect-2021-0075

TIAGARAJAN, T., GO, Y.I. Integration of BIPV design and energy efficient technologies for low energy building in meeting net zero target. **e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy**, v. 8, p. 100554, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100554

YANG, R.J., IMALKA, S.T., WIJERATNE, W.M.P., AMARASINGHE, G., WEERASINGHE, N., JAYAKUMARI, S.D.S., ZHAO, H., WANG, Z., GUNARATHNA, C., PERRIE, J., LIU, C., WAKEFIELD, R.. Digitalizing building integrated photovoltaic (BIPV) conceptual design: A framework and an example platform. **Building and Environment**, v. 243, p. 110675, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110675

YANG, Y., PAN, Y., ZENG, F., LIN, Z., LI, C. A gbXML reconstruction workflow and tool development to improve the geometric interoperability between BIM and BEM. **Buildings**, v. 12, n. 2, p. 221, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings12020221

YAO, G.; CHEN, Y.; XIE, W.; CHEN, N.; RUI, Y.; LUO, P. Research on collaborative design of performance-refined zero energy building: A case study. **Energies**, v. 15, n. 19, p. 7185, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/en15197185

ZHANG, C., YANG, R., BOUKAMP, F. An IFC approach for BIPV technical pre-design consideration. **IOP Conference Series:** Earth and Environmental Science, v. 1101, n. 7, p. 072006, 2022. DOI:10.1088/1755-1315/1101/7/072006

ZHANG, T.; WANG, M.; YANG, H. A review of the energy performance and life-cycle assessment of building-integrated photovoltaic (BIPV) systems. **Energies**, v. 11, n. 11, p. 3157, 2018. DOI: https://doi.org/10.3390/en11113157