

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**Levantamento e Análise dos Métodos de Integração BIM-ACV
para Tomada de Decisão no Processo de Projeto**

Thaina Barbosa Queiroga

São Carlos

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**Levantamento e Análise dos Métodos de Integração BIM-
ACV para Tomada de Decisão no Processo de Projeto**

Thaina Barbosa Queiroga

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cristiane Bueno

São Carlos

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Thainá Barbosa Queiroga, realizada em 09/02/2023.

Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Cristiane Bueno (UFSCar)

Prof. Dr. Márcio Minto Fabricio (USP)

Prof. Dr. Sergio Fernando Tavares (UFPR)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

AGRADECIMENTOS

À Lucio Schiavon Yamamoto, por todo amor, amizade e cuidado nestes anos.

Aos meus pais, Maria do Socorro Barbosa de Queiroga e Antônio Martins de Queiroga, por sempre estarem presentes em todas as minhas conquistas.

À minha irmã Thais Barbosa Queiroga que sempre me inspira e me incentiva em todos os passos dados.

À Prof. Dr^a. Cristiane Bueno pelas orientações e apoio nestes anos.

Aos professores que fizeram parte da minha jornada acadêmica.

À Universidade Federal de São Carlos, por todas os ensinamentos e oportunidades proporcionadas.

QUEIROGA, T. B. **Levantamento e Análise dos Métodos de Integração BIM-ACV para Tomada de Decisão no Processo de Projeto**. 2023. 110 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2023.

Resumo

O setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) tem sido identificado como um dos principais agentes dos impactos ambientais. Dentro deste contexto, é necessário a adoção de novas estratégias que tornem o setor mais sustentável. Sendo assim, a integração entre as metodologias de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e Building Information Modeling (BIM) tem se mostrado promissora no apoio à tomada de decisão no desenvolvimento de projetos de menor impacto ambiental. Dessa forma, a presente pesquisa tem como objetivo realizar o levantamento dos diferentes métodos de integração, avaliando suas potencialidades e limitações de aplicação e propondo diretriz gerais de aplicação ao longo do processo de projeto. Para isso, realizou-se uma Revisão Sistemática da Literatura visando desenvolver uma análise crítica do que já se foi estudado. Nessa análise crítica, foi possível perceber que os métodos desenvolvidos pelos autores analisados, a maior parte deles tratou de métodos práticos para integração BIM-ACV, utilizando estudos de caso para avaliar o que foi desenvolvido. Diversos bancos de dados foram utilizados como fonte de informações, assim como a adoção de mais de um para desenvolvimento de um método. Com esses estudos, construiu-se uma matriz avaliativa que contemplou as potencialidades e limitações dos métodos encontrados na literatura, possibilitando a elaboração de diretrizes de integração BIM-ACV com base nas abordagens mais recorrentes e em função das etapas de projeto. Dessa forma, para as etapas conceituais de projeto, com o objetivo apenas de nortear as primeiras tomadas de decisões, sugere-se uma abordagem que utiliza plug-ins prontos para a realização de uma rápida análise inicial. Já na etapa de projeto básico, é possível de se obter resultados mais precisos e, portanto, devem ser utilizados métodos mais assertivos em prol de melhorias na solução adotada. Assim, o uso de rotinas de programação visual com a exportação de quantitativos ou softwares de ACV com o modelo 3D são estratégias promissoras. Por último, no projeto executivo, devido ao alto nível de informações presentes, é o momento para buscar resultados ainda mais próximos da realidade, podendo serem utilizados para obtenção de certificações e selos ambientais. Assim, neste caso pode ser mantido a mesma estratégia da fase intermediária ou mesmo desenvolver plug-ins próprios dentro da interface do modelo. Todas as estratégias abordadas apresentam suas potencialidades e limitações, sendo suas aplicações viáveis em todos os tipos de projetos. Portanto, sugere-se para os trabalhos futuros a realização de estudos de caso que abordem ao longo do processo de projeto, as abordagens aqui definidas, de forma a avaliar a confiabilidade dos resultados.

Palavras-chave: Modelagem da Informação da Construção (BIM), Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), Integração BIM-ACV, Avaliação Ambiental das Edificações.

QUEIROGA, T. B. **Survey and Analysis of BIM-LCA Integration Methods for Decision Making in the Design Process**. 2023. 110 p. Dissertação (Mestrado) – Dissertation (Graduate Program in Civil Engineering), Federal University of São Carlos (UFSCar), São Carlos, 2023.

ABSTRACT

The Architecture, Engineering and Construction (AEC) sector has been identified as one of the main agents of environmental impacts. Within this context, it is necessary to adopt new strategies that make the sector more sustainable. Therefore, the integration between the Life Cycle Assessment (LCA) and Building Information Modeling (BIM) methodologies has shown to be promising in supporting decision-making in the development of projects with lower environmental impact. Thus, the present research aims to carry out a survey of the different integration methods, evaluating their application potentialities and limitations and proposing general application guidelines throughout the design process. For this, a Systematic Review of Literature was carried out in order to develop a critical analysis of what has already been studied. In this critical analysis, it was possible to perceive that the methods developed by the analyzed authors, most of them dealt with practical methods for BIM-ACV integration, using case studies to evaluate what was developed. Several databases were used as a source of information, as well as the adoption of more than one for the development of a method. With these studies found of the approaches that contemplate a matrix such as the evaluation potentialities and methods based on the BIM-ACV integration proposals in the most recurrent and depending on the project. Thus, for the initial stages of the project, with the objective of only guiding the first decision decisions, an approach is suggested that uses plug-ins to perform a quick analysis. Already in the stages, they must be used in the design, it is to obtain more results and, therefore, more assertive in favor of the improvements of the methods calculated with precision. Thus, the use of visual programming routines with ACV export with 3D model promissory strategies are. For, in the last final stages of the project, due to the moment to seek the results closer to reality, they can still be used for the presentation of certifications and environmental seals. Thus, in this way, the same strategy of the phase itself is maintained or it can be even within the model's plug-ins configuration. All the strategies of the proposals present their potential and solutions, and their applications are viable in all types of projects. Therefore, it is suggested for future works to carry out long case studies of the design process, as the approaches evaluated here, in order to assess that they safely approach the results.

Keywords: Building Information Modeling (BIM), Life Cycle Assessment (LCA), BIM-LCA Integration, Environmental Assessment of Buildings.

Sumário

Resumo.....	5
ABSTRACT.....	6
1. Introdução.....	9
1.1 Justificativa.....	10
1.2 Objetivos.....	11
1.3 Estrutura da Defesa.....	12
2. Revisão de Literatura.....	13
2.1 O PROJETO.....	13
2.2 MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM)	15
2.2.1 BENEFÍCIOS E USOS DO BIM.....	16
2.2.2 MODELAGEM PARAMÉTRICA, LOD E INTEROPERABILIDADE.....	17
2.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DAS EDIFICAÇÕES.....	20
2.3.1 ASPECTOS GERAIS ACV.....	20
2.3.2 ACV NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	24
2.4 INTEGRAÇÃO BIM-ACV.....	25
2.4.1 NÍVEIS DE INTEGRAÇÃO BIM-ACV.....	26
2.4.2 FERRAMENTAS DE INTEGRAÇÃO BIM-ACV.....	32
3. Método de pesquisa.....	36
3.1 TIPO, NATUREZA E METODOLOGIA DE ESTUDO.....	36
3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	37
3.2.1 Etapa A – revisão de literatura.....	38
3.2.2 Etapa B – revisão sistemática de literatura.....	39
3.2.3 Etapa C – formulação da matriz avaliativa.....	41

3.2.4	Etapa D – proposiÇÃO de diretrizes e conclusÕES.....	42
4.	Resultados e discussão.....	44
4.1	REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA	44
4.1.1	Análise Bibliométrica	52
4.1.2	Discussão Sobre Os Métodos De Integração Bim-Acv Encontrados Na Revisão Sistemática Da Literatura.....	62
4.2	MATRIZ AVALIATIVA	68
4.3	DIRETRIZES GERAIS PARA APLICAÇÃO DA INTEGRAÇÃO BIM-ACV.....	87
4.3.1	Projeto Conceitual	89
4.3.2	Projeto Básico	89
4.3.3	Projeto Executivo.....	90
4.3.4	Fluxograma Das Diretrizes Gerais De Integração Bim-Acv Ao Longo Do Processo De Projeto	92
5.	Conclusões	93
	Referências Bibliográficas.....	97

1. Introdução

A área da construção civil possui alto consumo de recursos naturais, bem como a geração de grandes impactos ambientais, que abrangem desde a fabricação de cimentos e suas emissões de gás carbônico na atmosfera até a deposição de resíduos em aterros decorrente de grande perda em canteiros de obras (MEDEIROS et al., 2021). Por conta disso, se faz necessário cada vez mais, a aplicação de estratégias inovadoras que reduzam os impactos ambientais e torne o setor mais sustentável.

Dentro deste cenário, é sabido que a maioria dos impactos do ciclo de vida do edifício são uma consequência das decisões tomadas nas fases iniciais de projeto (BASBAGILL et al., 2013). Assim, reconhece-se a importância das etapas iniciais para reduzir os impactos ambientais do ciclo de vida dos edifícios e melhorar a sustentabilidade da construção, promovendo desde o início discussões a respeito do desempenho das soluções a serem adotadas, de forma que contribuam para redução dos impactos ambientais (AZHAR *et al.*, 2010; ARAUJO, 2017).

A Avaliação do Ciclo de Vida é definida como sendo o conjunto e a avaliação de entradas e saídas referentes aos potenciais impactos ambientais de um sistema ou produto ao longo de todo o ciclo de vida (ISO 14040; 2009). Essa metodologia, apesar da completa análise que realiza sobre o objeto em questão, acaba tendo sua aplicabilidade reduzida na construção civil, isto porque, é necessária uma grande quantidade de dados para sua execução além de uma complexa análise que demanda tempo para elaboração. Por conta disso, a ACV é geralmente aplicada nas fases finais de projeto, no qual já se tem definido e encaminhado grande parte das decisões, impossibilitando alterações em função da sustentabilidade (DIÁZ; ANTÓN, 2014).

Buscando trazer a ACV para as fases iniciais de projeto de forma simplificada, ágil e confiável para que seja possível utilizá-la como base para tomada de decisão em prol de edificações mais sustentáveis, a integração com

a metodologia BIM é muito promissora. Isso porque o BIM tem como característica a modelagem paramétrica, sendo possível armazenar, portanto, além das informações geométricas dos elementos, outros atributos, como, por exemplo, dados de ACV, o que possibilitaria a execução de simulações que seriam base para tomada de decisão nas fases iniciais de projeto.

Dessa forma, se os parâmetros de ACV existissem no modelo desde o início, isso permitiria que diferentes especialistas envolvidos no processo de construção avaliassem tais parâmetros em seu ambiente de software desejado, eliminando a necessidade de importar o banco de dados ACV em uma fase posterior do processo de construção (NANEVA *et al.*, 2020). Além disso, outras abordagens como o uso de quantitativos para alimentação de plataformas de ACV, por exemplo, também contribui para que a integração BIM-ACV seja cada vez mais difundida no processo de projeto

Realizar, portanto, o levantamento e a análise de quais são as formas de integração BIM-ACV contribui para resolver a questão da aplicabilidade dessas metodologias nas fases iniciais de projeto. Dessa forma, possibilita-se entender as abordagens de integração BIM-ACV existentes, bem como definir diretrizes gerais para a sua aplicação, identificando assim, para cada situação quais as respectivas informações serão necessárias, quais bancos de dados e ferramentas são mais adequados e qual o LOD ideal do projeto. Dessa forma, garante-se que questões relacionadas a sustentabilidade sejam o foco das discussões trazendo melhorias para a qualidade da solução construtiva e do projeto.

1.1 JUSTIFICATIVA

O setor formado pela Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) é um dos principais responsáveis pela emissão de carbono e consumo de energia (ASBEA, 2015). Sendo assim, levar em consideração os aspectos ambientais no desenvolvimento de edificações cada vez mais sustentáveis se faz muito importante. A avaliação do ciclo de vida das edificações é a principal ferramenta para auxiliar na tomada de decisões que gerem menores impactos ao meio

ambiente, avaliando todo o ciclo de vida do produto. Esta metodologia, foi/é difundida principalmente no contexto industrial, onde os produtos são padronizados, o que se difere da construção civil. Apesar disso, a ACV é totalmente aplicável neste setor, porém sua elaboração é complexa e demanda tempo para a execução, visto que são necessárias uma grande quantidade de informações para a sua elaboração e, portanto, inviabiliza-se a disseminação de sua aplicabilidade nas fases iniciais de projeto. Dessa forma, por conta das limitações encontradas na aplicação da ACV dentro do processo de projeto, torna-se importante a discussão de soluções que viabilizem a sua aplicação no processo. Assim, a integração BIM-ACV é uma das soluções mais promissoras, pois permiti, nas fases iniciais, uma maior aplicabilidade da ACV, sendo por meio de extração de quantitativos ou pela realização de simulações, no qual os benefícios são mais perceptíveis, as decisões custam menos, são mais eficazes e podem ser introduzidas com mais facilidade e efetivamente reduzindo os impactos ambientais das edificações. Dessa maneira, compreender como os métodos de integração BIM-ACV podem ser aplicados a cada tipo de situação se faz muito importante.

1.2 OBJETIVOS

A pesquisa teve como objetivo principal avaliar as potencialidades e limitações dos diferentes métodos de integração BIM-ACV, subsidiando o desenvolvimento de diretrizes para aplicação ao longo do processo de projeto.

Para que o objetivo principal fosse alcançado, alguns objetivos específicos foram elencados com a pretensão de serem atingidos ao longo da pesquisa:

- a) Realizar o levantamento do estado da arte sobre o tema
- b) Elaborar uma matriz avaliativa com as potencialidades e limitações dos métodos encontrados na literatura e definir as possíveis abordagens da integração BIM-ACV.

- c) Propor diretrizes gerais para a aplicação das abordagens definidas em função dos métodos encontrados na literatura, de forma a promover maior aplicabilidade da integração BIM-ACV no processo de projeto.

1.3 ESTRUTURA DA DEFESA

A texto aqui apresentado está dividido em 5 (cinco) capítulos, estando esse tópico no capítulo inicial que busca introduzir tanto o tema estudado como a defesa em si.

O segundo capítulo trata da fundamentação teórica de toda a pesquisa realizada, iniciando por uma abordagem mais generalista, trazendo tópicos pertinentes ao contexto geral. Neste capítulo, as temáticas foram divididas em Processo de projeto, BIM (histórico e características), ACV (definição, estrutura e aplicação na construção civil) e por último a Integração BIM-ACV.

O terceiro capítulo indica a metodologia de pesquisa, apresentando as etapas que deverão ser cumpridas para o bom desenvolvimento da pesquisa e resultados. Cabe informar que tal capítulo é posterior à fundamentação teórica, visto que há a necessidade de ser apresentado alguns conceitos pertencentes à teoria previamente à metodologia. Dentro da metodologia é possível visualizar que esta, foi composta por 4 etapas, sendo elas a Revisão de literatura, Revisão Sistemática de Literatura, Formulação da Matriz Avaliativa e Proposta de Diretrizes.

O quarto capítulo apresenta os resultados e a discussões encontradas através da execução das etapas estipuladas na metodologia.

Por fim, o quinto capítulo traz as conclusões acerca da pesquisa e sugestões para pesquisas futuras.

2. Revisão de Literatura

2.1 O PROJETO

Um projeto é um empreendimento único, com início e fim definidos, que utiliza recursos limitados, conduzido por pessoas, visando atingir metas e objetivos pré-definidos e estabelecidos dentro de parâmetros de prazo, custo e qualidade (PMI, 2008). Já o gerenciamento é definido como a aplicação de conhecimento, de habilidades, de ferramentas e técnicas para atender aos requisitos do projeto (PMI, 2008).

O gerenciamento de projetos é formado por um ciclo de vida, no qual os envolvidos precisam compreender quais técnicas e ferramentas serão adequadas para o projeto em cada etapa. Segundo o Guia de Gerenciamento de Projetos - PMBOK (2008), essas etapas são formadas por cinco grupos de processos:

- **Iniciação:** momento no qual se define o problema a ser solucionado ao longo do projeto. Além disso, se define os envolvidos do projeto, objetivos, o produto e as entregas.
- **Planejamento:** são definidas as ações necessárias para alcançar o objetivo definido na etapa anterior. Neste momento se detalha as atividades a serem executadas, os cronogramas, os recursos envolvidos e os custos necessários.
- **Execução:** essa etapa consiste na realização das atividades planejadas, demandando grande parte do esforço e orçamento do projeto.
- **Controle:** esta etapa acontece paralelamente a execução, visto que é necessário monitorar as atividades e os recursos que estão sendo utilizados, garantindo assim que o projeto esteja sendo feito de acordo com o planejado.

- **Encerramento:** neste momento, ocorre o encerramento dos contratos e desmobilização das equipes. Além disso, acontece a avaliação das entregas do projeto, bem como as discussões sobre aspectos positivos e negativos ocorridos do mesmo.

Com isso, o gerenciamento não deve ser praticado de maneira arbitrária, mas com a aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas. Segundo Kerzner (2001) para alcançar a excelência nos projetos é necessário o uso de processos repetitivos que são referidos como a metodologia do gerenciamento, no qual o contínuo uso desta metodologia aumentará as chances de sucesso de uma organização. Gerenciar projetos com eficiência requer, portanto, um esforço de conscientização para adoção de metodologias compatíveis com os projetos a serem executados.

No contexto da Construção Civil, a definição de escopo para planejamento de prazos e custos são os principais fatores para um empreendimento de sucesso (CARMO *et al.*, 2019).

Melhado (2001) indica que o processo de projeto deve estar voltado ao atendimento das necessidades de informação de todos os clientes internos que atuam no ciclo de produção do empreendimento. Assim, o projeto pode ser visto como uma forma organizada de informações que devem ser compartilhadas pelos intervenientes na construção do objeto (FERREIRA, 2007).

Neste contexto, a colaboração e cooperação são fundamentais e a adoção de sistemas computacionais se mostra necessária para mediar as relações (CARNEIRO *et al.*, 1999). Por conta disso, as organizações têm buscado cada vez mais melhorias nas práticas de gerenciamento, sendo uma delas, o *Building Information Modeling* (BIM) que utiliza dos modelos virtuais como uma fonte de informações para alimentar as tarefas de equipes de modo colaborativo por todo o ciclo do empreendimento. Essa abordagem será retratada no tópico a seguir.

2.2 MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM)

O processo tradicional de projeto de edificações é fragmentado, ou seja, cada etapa do projeto é trabalhada de forma individual e independente, o que contribui para erros e omissões de informações importantes para o desenvolvimento do projeto, gerando custos que não foram previstos, assim como atrasos e problemas entre os responsáveis pelo empreendimento (EASTMAN et al., 2014).

Neste cenário, a metodologia *Building Information Modeling* (BIM) se estabelece sendo definida segundo Succar (2009) como a integração entre políticas, tecnologias e processos, que gerenciam de forma digital tanto a questão do projeto quanto as informações essenciais de todo o ciclo de vida da edificação. Ainda segundo este autor, a estrutura do BIM, é definida como sendo multidimensional e representada por três eixos: o eixo x (campo de atuação do BIM) é responsável pelas atividades que dominam os atores envolvidos e os entregáveis, sendo divididos nos campos da tecnologia, processo e políticas; o segundo eixo é o y (Estágios do BIM), no qual se implementa a maturidade dos níveis do BIM, definindo o ponto inicial antes da implementação da metodologia (Pré BIM) caracterizando a indústria na pré implementação e integração dos projetos, seguido pelo Estágio 1 no qual se identifica o desenvolvimento da modelagem paramétrica do objeto, seguido pelo Estágio 2 onde se inicia a colaboração entre as partes envolvidas do projeto, depois o Estágio 3 que é quando ocorre a interação de todos os modelos gerados e se mantêm a colaboração entre os envolvidos ao longo de todas as fases de projeto para pôr fim chegar na última fase que é a Entrega do Projeto Integrado (IPD), no qual se domina todos os campos do BIM; por último, o eixo z (Lentes do BIM) é responsável por fornecer a profundidade e a amplitude da investigação necessária para identificar, avaliar e qualificar os Campos e os Estágios do BIM. Dessa forma, o conjunto desses três eixos constituem a estrutura da metodologia BIM e, portanto, a partir deles se define os fluxos de trabalho para o desenvolvimento de cada modelo.

Sendo assim, o conceito BIM preconiza, a criação de modelos integráveis entre si, no qual haja colaboração entre todos os participantes de forma integrada

e conjunta, contribuindo para que a solução adotada atenda aos requisitos dos clientes, garantindo o desenvolvimento de projetos compatibilizados entre si e com as soluções construtivas, evitando tomada de decisões improvisadas que geram desperdícios de tempo e dinheiro (ANDRADE; RUSCHEL, 2009). Vale ressaltar ainda que o BIM é normatizado internacionalmente pelas ISO 12006 (2018) e ISO 29481 (2016) e no Brasil, as normas aplicáveis ao BIM são a ABNT NBR ISO 12006 (2018) e a ABNT NBR 15965 (2016).

2.2.1 BENEFÍCIOS E USOS DO BIM

Para se definir os usos do modelo BIM, é importante definir qual é o objetivo e os benefícios que se almeja alcançar com a utilização da metodologia. Além disso, os conhecimentos dos usos pretendidos de um dado modelo BIM permitem compreender o que deve ou não ser modelado e quais serão as informações de entrada e saída do modelo.

Dentro deste contexto, é possível relacionar os possíveis usos do BIM ao longo do ciclo de vida das edificações, agrupando-os em três grupos: Projeto, no qual as aplicabilidades englobam tanto as análises de engenharia/arquitetura quanto as avaliações de sustentabilidade, Design Review e estimativas de custo; na Construção no qual pode-se aplicar o modelo desde o Planejamento do Canteiro até os Projetos de Sistemas Construtivos e Fabricação Digital; e por último a fase de Operação, onde o BIM pode ser aplicado de forma geral na gestão de edifícios e gerenciamento do espaços (ASBEA, 2015). Vale destacar ainda que, as aplicações apresentadas são apenas algumas que atualmente são conhecidas, porém novas possibilidades de aplicação surgem a todo momento.

Levando em conta essas potencialidades apresentadas dos usos do BIM, Eastman et al. (2014), classifica os benefícios de aplicação do BIM desde a fase de pré-operação até a pós-construção, englobando, portanto, as possibilidades de avaliação da viabilidade do empreendimento, o melhoramento da compressão de todas as partes envolvidas sobre as soluções adotadas, redução de retrabalhos e perda de informações, contribuição na simulação do processo da construção para compreensão do cotidiano na obra e detecção de interferências antes do início da obra, agilizando as possíveis soluções

necessárias e melhoramento do gerenciamento das operações da edificação, integração dos sistemas de operação e o gerenciamento de facilites.

Sendo assim, é possível verificar que cada uso do BIM está interligado diretamente com o benefício que se almeja. Portanto, a partir desses conhecimentos é possível identificar quais são os objetivos que se deseja alcançar com a aplicação da metodologia BIM.

2.2.2 MODELAGEM PARAMÉTRICA, LOD E INTEROPERABILIDADE

Definido o uso do modelo BIM, conforme apresentado no item 2.1.1 é necessário entender qual será o Nível de Detalhamento e o Nível de desenvolvimento do modelo, para determinar os dados de entrada e extrair as informações necessárias para o andamento do projeto.

Segundo o *American Institute of Architects* (AIA) (2008), o LOD é uma especificação que permite que os profissionais do setor articulem como a geometria de um elemento e as informações associadas ao mesmo evoluam ao longo de todo o processo de projeto. Assim, todos os envolvidos no processo podem confiar nas informações associadas ao elemento.

A escolha dessa abordagem se deu primeiramente pela ausência de um padrão detalhado disponível para as fases de projeto e segundo que os sistemas de construção progridem do conceito para a definição de diferentes formas, de modo que, a qualquer momento, os elementos estarão em diferentes pontos ao longo dessa progressão (UNITED BIM, 2022). Portanto, dentro desse contexto, estabeleceu-se seis diferentes níveis de desenvolvimento:

- LOD 100: estágio de pré-projeto, o modelo consiste em símbolos 2D e massas para significar a existência de um elemento;
- LOD 200: os elementos são parcialmente definidos delineando sua quantidade aproximada, tamanho, forma e localização;
- LOD 300: os elementos são definidos com dimensões exatas e suas posições relativas reforçando a precisão;
- LOD 350: descreve as informações sobre um elemento com precisão e descreve a relação e conexão de um elemento com outros componentes;

- LOD 400: descreve as informações básicas sobre a construção de vários elementos;
- LOD 500: o modelo começa a representar as funções da vida real dos elementos em um edifício real. Aqui estão todos os níveis de desenvolvimento com suas definições em detalhes.

Dessa forma, o LOD é um elemento extremamente importante para o BIM, pois sua definição contribui para melhorar o entendimento do estágio o qual se encontra o projeto, evitando inconsistências, facilitando a comunicação e a colaboração entre os envolvidos. Além disso, é importante ressaltar também que determinar corretamente o LOD garante que, qualquer que seja o uso do modelo, este produzirá os dados necessários para realizar as análises, ou seja, para utilizar o modelo com o objetivo de executar uma avaliação do ciclo de vida por exemplo, é necessário que haja um nível de informações presentes no modelo, para que este seja de fato relevante na produção de dados confiáveis.

Outra importante característica do modelo BIM é a modelagem paramétrica. Eastman et al. (2014) aponta essa característica como o principal fator diferenciador dos modelos 2D tradicionais. A dinâmica da modelagem paramétrica envolve a definição de objetos paramétricos levando em consideração as propriedades geométricas e dados de regras associadas, não permitindo, portanto, inconsistências. Além disso, as regras paramétricas modificam automaticamente a geometria que lhe é associada e verifica a própria viabilidade de vincular-se a atributos como os materiais.

A aplicabilidade deste modelo paramétrico, permite ao projetista simular diferentes soluções de projeto, visando avaliar a melhor solução com agilidade. Além disso, o modelo paramétrico é constituído por “famílias” de objetos, o que inclui atributos de formas e outras relações/informações, garantindo ao projetista liberdade para criação de parâmetros diversificados, assim como novas famílias que melhor atendam aos requisitos do projeto, formando, portanto, um repertório que pode ser aplicado nos projetos futuros (ANDRADE; RUSCHEL, 2009).

A troca de informação e a colaboração entre os envolvidos durante todas as fases de projeto são requisitos fundamentais para aplicação da metodologia

BIM. Para que essa integração seja possível, as ferramentas utilizadas nas etapas de projeto devem ser interoperáveis entre si (SOUST-VERDAGUER et al., 2018)

A interoperabilidade, portanto, é definida segundo IEEE Standard Computer Glossary (2001) como sendo a habilidade dos sistemas ou componentes de trocarem e utilizarem as informações extraídas entre si. Dessa maneira, é possível trabalhar com diferentes ferramentas e disciplinas, garantindo a colaboração entre todos.

A passagem de dados entre ferramentas BIM segundo Eastman et al. (2014), apresenta duas abordagens: a primeira consiste em usar ferramentas/produtos do mesmo fornecedor de software e a segunda é usar diferentes fornecedores que podem trocar dados entre si. Para este último, o formato IFC (Industry Foundation Classes) é a padronização que proporciona o intercâmbio de informações entre esses softwares de diferentes fornecedores.

Sendo assim a interoperabilidade facilita e automatiza o fluxo de trabalho com diferentes ferramentas, evitando também a necessidade de réplica de dados de entrada que já tenham sido gerados anteriormente.

Diante do discutido, BIM é uma metodologia que engloba todos os processos envolvidos no ciclo de vida das edificações, caracterizando-se como um modelo digital, espacial (3D), quantificável, dimensionável, consultável e de fácil acesso a todos os participantes. Dessa forma, para que seja aplicado a metodologia BIM, deve-se respeitar os requisitos necessários para sua implementação, assim como definir e entender os fluxos de trabalho a serem seguidos, as informações de entrada e saída que serão necessárias, determinar os níveis de detalhamento e principalmente o uso do modelo BIM.

Portanto, para esta pesquisa, o uso do modelo foi para avaliação de impactos ambientais das edificações e para isso a Avaliação do Ciclo de Vida foi a metodologia adotada que ao ser integrada ao BIM auxilia na tomada de decisão que promova edificações mais sustentáveis. A temática dessa metodologia será discutida no item a seguir.

2.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DAS EDIFICAÇÕES

2.3.1 ASPECTOS GERAIS ACV

Segundo Asdrubali *et al.* (2013), entre os procedimentos e ferramentas disponíveis para Avaliação de Desempenho Ambiental, a ACV é a mais completa, pois considera: todo o ciclo de vida de um sistema, todas as possibilidades de impactos ambientais e os efeitos ambientais da agregação dos possíveis impactos, para dar suporte aos tomadores de decisão.

Essa metodologia – em inglês Life Cycle Assessment (LCA) é regida ISO 14040 e 14044 e no Brasil pelas normas ABNT NBR ISO 14040 e 14044 no Brasil. Esses regulamentos definiram os limites de análise e módulos de acordo com o período de vida considerado e, portanto, a análise das diferentes fases do ciclo de vida de produtos engloba desde a extração de matérias-primas e fabricação, embalagem e transporte até o local, construção e instalação, operação, demolição e reciclagem (BUYLE *et al.*, 2013). Dessa forma, os seguintes módulos são geralmente considerados: Estágio de Produto/Fabricação (A1-A3) Estágio do processo de construção (A4-A5), Estágio de Uso (B1-B7), Estágio de Fim de Vida (C1-C4) e Benefícios & Cargas (D) (KÖSECI, 2018).

Quadro 1: Fases do ciclo de vida

ETAPAS DO CICLO DE VIDA	PRODUTO			CONSTRUÇÃO		USO							FIM DE VIDA				Benefícios e cargas além das fronteiras
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
	Extração de Matérias primas	Transporte de Matérias primas	Manufatura	Transporte até o canterio de obras	Construção	Uso	Manutenção	Reparo	Substituição	Reforma	Uso de energia operacional	Uso de água operacional	Demolição/Desconstrução	Transporte até o destino final	Possessamento dos resíduos	Disposição final	Reciclagem/Reuso/Recuperação
BERÇO AO PORTÃO	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BERÇO AO PORTÃO COM OPÇÕES	X	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
BERÇO AO TÚMULO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	O

Fonte: Autora (2022)

Ainda, segundo a ISO 14040 (2009a), a ACV é definida como sendo o conjunto e a avaliação de entradas e saídas referentes aos potenciais impactos ambientais de um sistema ou produto ao longo de todo o ciclo de vida. Destaca-se, portanto, como uma ferramenta de excelência para análise e escolhas de alternativas no âmbito ambiental (SOARES; DE SOUZA; PEREIRA; 2006).

Com relação aos impactos ambientais, estes são avaliados a partir do inventário gerado, existindo, portanto, dois métodos para a atribuição de impacto orientada a ponto médio (midpoint) e a ponto final (endpoints). Com isso, a classificação é dada pelo Quadro a seguir:

Quadro 2: Categorias de Impacto Ambiental

Categorias midpoints	Categorias endpoint
Toxicidade Humana	Saúde Humana
Efeitos Respiratórios	
Radiação Iônica	
Depreciação da Camada de Ozônio	
Oxidação Fotoquímica	Qualidade do Ecossistema
Ecotoxicidade Aquática	
Ecotoxicidade Terrestre	
Acidificação Aquática	
Eutrofização Aquática	
Acidificação Terrestre	
Ocupação Terrestre	Mudança Climática
Aquecimento Global	
Energia não-renovável	Recursos
Extração Mineral	

Fonte: Autora (2022)

Assim, a ISO 14040 (2009b) aponta que um estudo de ACV é estruturado em 4 etapas: Definição de Objetivo e Escopo, Análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV), Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida (AICV) e Interpretação dos resultados.

A Definição de Objetivo e Escopo inclui a definição do sistema e nível de detalhe. Depende do tema abordado e da intenção de utilizar o estudo, além da complexidade e a amplitude que se diferencia dependendo do objetivo particular

da ACV. Dentro dessa etapa é definido a unidade funcional que será utilizada. Segundo ILCD Handbook (2010), a unidade funcional é a unidade de referência para a quantificação do desempenho de um sistema de produto. É com base nessa unidade que será realizado todo o estudo de ACV. Já a Análise do Inventário (ICV) é caracterizada pelo levantamento de todos os dados de entrada/saída associados ao sistema definido para estudo. Com relação a Avaliação de Impactos (AICV), esta disponibiliza informações adicionais para auxiliar na compreensão dos resultados do ICV. Por fim, a Interpretação dos resultados é o momento no qual os resultados são compilados e discutidos, criando uma base para conclusões, recomendações e tomada de decisões (BUENO; ROSSIGNOLO, 2016).

Dentro da análise de inventário (ICV), é necessário determina os bancos de dados de inventários que serão utilizados durante as análises. A seguir serão apresentados e discutidos os principais bancos de dados existentes para realização dos estudos de ACV segundo Djuedja *et al.* (2021).

No guia disponibilizado no *OneClickLCA*, o EPD (*Environmental Product Declaration*) é definido como uma fonte de informações claras sobre o desempenho de cada produto e o impacto ambiental ao longo de todo o seu ciclo de vida. Os bancos de dados EPD devem ser usados por especialistas em vários setores, incluindo construção, para permitir a avaliação do ciclo de vida (ACV) de seu produto final durante seu ciclo de vida. No entanto, as aplicações e usos de bancos de dados EPD na construção estão repletos de dificuldades. Em primeiro lugar, os profissionais da construção vêm de origens diferentes, com níveis díspares de compreensão e interesse na implementação prática de EPD e, em segundo lugar, há uma falta de interoperabilidade entre os diferentes sistemas de software que podem ser empregados na avaliação dos impactos ambientais usando EPD.

O INIES (banco de dados de referência nacional francês de meio ambiente e declarações de saúde) é um banco de dados de acesso livre na condição de que o usuário possua uma licença do Microsoft Silverlight (HQE-GBC, 2018). Para a construção civil, o INIES possui 2.096 registros divididos em três categorias: serviços de construção, produtos de construção e equipamentos

eletrônicos/ elétricos. Para cada categoria, ele fornece dados detalhados para declarações ambientais por organização relatora. Para cada produto, o INIES fornece quatro tipos importantes de informações: informações gerais, unidade funcional, indicadores ambientais, documentos recuperáveis e, por vezes, informações de saúde e conforto. Os indicadores ambientais abrangem impactos ambientais, consumo de recursos e resíduos. Uma fraqueza que pode ser observada, é as poucas informações sobre materiais de origem biológica, como os feitos com cânhamo, madeira, palha ou argila (DJUEDJA *et al.*, 2021).

No estudo de Djuedja *et al.* (2021), banco de dados desenvolvido dentro do software GaBi é apresentado como muito utilizado em várias indústrias, incluindo a construção civil. O banco de dados contém mais de 12.000 perfis de dados de ciclo de vida prontos para uso, com base em dados primários do setor. Desenvolvido há mais de 20 anos, o banco de dados GaBi ainda está em evolução e só pode ser acessado via GaBi Software.

Ecoinvent é uma base de dados que fornece dados de processo documentados para muitos produtos para informar os usuários sobre seu impacto ambiental. Abrange muitos países e setores, como materiais de construção, manufatura, agricultura e energia. Este banco de dados está integrado aos softwares SimaPro 8 e GaBi 5. Além disso, é compatível com ISO 14040 e 14044 (DJUEDJA *et al.*, 2021).

O Inventário de Carbono e Energia (ICE) que foi desenvolvido pela Equipe de Pesquisa em Energia Sustentável (SERT) da Universidade de Bath e é conhecido como Bath ICE. A Bath ICE fornece perfis de mais de duzentos materiais de construção. Os parâmetros ambientais para avaliar o desempenho dos materiais de construção são energia incorporada e CO₂ incorporado (HAMMOND *et al.*, 2008).

Ainda neste contexto, vale ressaltar que o LOD está relacionado ao banco de dados de inventário de elementos de construção, que são refinados no processo de projeto e podem ser usados em cálculos de materiais (NAWARTHNA *et al.*, 2018). Dessa forma, para exemplificar essa relação tem-se o banco de dados suíço que fornece uma estimativa que pode ser usada no conceito para LOD 100. Outro exemplo é a biblioteca de elementos europeu

Bauteilkatalog que pode ser utilizada componentes em LOD 200-300. Com relação aos últimos LODs (400 e 500), estes melhores se enquadram no banco de dados ICE. Sendo assim, para fins preditivos a análise BIM para funcionar, deve haver sinergia entre os bancos de dados globais e os níveis de LOD (ALWAN *et al.*, 2021)

Concluindo, o processo da Avaliação do ciclo de vida é iterativo e uma vez que o objetivo do trabalho é definido, as configurações de escopo iniciais são derivadas que definem os requisitos no trabalho subsequente. Porém, a medida que mais informações se tornam disponíveis ao longo do processo, as configurações iniciais do escopo precisam ser refinadas e também revisadas assim como outras informações que possam ser necessárias para a conclusão do estudo (ILCD HANDBOOK, 2010).

2.3.2 ACV NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Originalmente, a avaliação do ciclo de vida era aplicada principalmente no setor industrial, para otimizar os processos de produção e evitar desperdícios de materiais e/ou energia, evitando deslocar o problema de uma etapa para outra (BALDO *et al.*, 2008). Porém, devido à enorme pressão do setor da construção sobre o meio ambiente, a ACV passou a ser utilizada para avaliar os impactos ambientais da construção (ANAND; AMOR, 2017).

A realização dos estudos de ACV aplicados na construção civil diferenciam-se dos realizados em produtos ou sistemas industriais. Isso por que, os produtos da construção civil apresentam-se como uma longa vida útil, o que pode ocasionar na produção de dados incertos (SOARES *et al.*, 2006).

Apesar disso, essa ferramenta é aplicável a todos os setores da construção civil por meio de duas abordagens: a primeira é a “de baixo para cima”, focada nas seleções de materiais e a segunda “de cima para baixo”, leva em consideração o edifício como todo para adoção de melhorias (ESLANDSSON; BORG, 2003).

A adequação dos procedimentos da ACV para construção civil, foram discutidas por Chevalier e Le Teno (1996) buscando minimizar os potenciais dificuldades que poderiam surgir. Sendo assim, foi proposto os seguintes

requisitos: regras especiais de fronteira do sistema devem ser definidas para forçar a separabilidade; processos específicos para sistema construtivo devem ser modelados; a hipótese de estabilidade do tempo deve ser forçada ou cancelada; qualidade dos dados e as relações entre eles devem ser documentadas; a lista de estressores de impacto deve ser aberta aos critérios definidos pelo utilizador; assistência deve ser prestada aos utilizadores para gestão de resultados e um programa de computador desse ser utilizado para auxiliar o processo.

Vale destacar que a aplicação da ACV na construção civil conta com outras limitações além dessas já apresentadas. A dificuldade de se encontrar bancos de dados confiáveis e completos para os materiais utilizados neste setor é uma dessas limitações, visto que os materiais utilizados na construção civil possuem uma grande variedade de composições químicas para se catalogar (SCHEUER *et al.*, 2003). Além disso, a heterogeneidade de dados com unidades funcionais distintas (unidade, tamanho, normas regionais e internacionais e a metodologia utilizada na ACV) também dificultam a aplicação da avaliação ambiental dentro do setor da construção civil (DJUEDJA *et al.*, 2021). Por fim, a realização do estudo de ACV é ainda é uma atividade que demanda tempo o que ao longo do desenvolvimento de um projeto pode ser um fator que impossibilite a execução dele.

Portanto, a Avaliação do Ciclo de Vida está sendo cada vez mais integrada aos processos de tomadas de decisões em empresas em prol do desenvolvimento de edificações mais sustentáveis. Como forma de simplificar e agilizar o processo, o BIM pode ser integrado e utilizado para realizar os estudos de ACV para todo o ciclo de vida das edificações. Dessa forma, este tópico será abordado no item seguinte.

2.4 INTEGRAÇÃO BIM-ACV

A Avaliação do Ciclo de Vida é uma metodologia complexa e que demanda tempo para sua execução, o que conseqüentemente dificulta sua aplicação mais ampla na construção civil (CAVALLIERE *et al.*, 2020). Dessa maneira, a

integração da ACV com o BIM apresenta um grande potencial, visto que através da elaboração de modelos facilitadores de fluxo de informação, geração de documentos e promoção de simulações e análises preliminares, agilizam o estudo de ACV e possibilitaria análises mais assertivas em busca da solução que promova o menor impacto ambiental possível (MACHADO; SIMÕES; MOREIRA, 2015).

Segundo Silva (2013), a visão sistemática que uma plataforma BIM promove, colabora para a antecipação da tomada de decisão refletindo os campos socioeconômicos e ambiental, promovendo desde as etapas iniciais um cenário mais realístico sobre o empreendimento.

Esse fluxo de informações promovido pelo uso da metodologia BIM permite que os atores envolvidos no processo de projeto promovam facilidades para que a avaliação de impactos ambientais seja o foco do desenvolvimento das soluções de projeto, como por exemplo, na etapa pré-operacional, onde é possível realizar o levantamento de quantitativos de forma automatizada. Além disso, há as discussões de questões técnicas para melhorar o desempenho do projeto por meio da funcionalidade e durabilidade de materiais e também avaliar o custo seu estimado (CHEUNG et al., 2012).

Levando isso em consideração, para explorar o potencial do BIM para ACV é necessário incluir novos métodos no processo de projeto, priorizando a checagem da edificação da solução desde as etapas iniciais.

2.4.1 NÍVEIS DE INTEGRAÇÃO BIM-ACV

Segundo Cavalliere et al. (2019), existem duas abordagens para a integração BIM-ACV. A primeira consiste na performance detalhada com processos refinados e ferramentas específicas para as simulações. Esta abordagem é complexa e demanda tempo para sua execução, além de dificultar quaisquer reajustes posteriores no projeto, visto que o projeto deve estar avançado para fornecer os dados necessários. Já a segunda abordagem, que também foi discutida por Díaz e Antón (2014), inclui métodos simplificados e rápidos que promovam desde as fases iniciais do projeto um panorama geral das soluções, possibilitando que simulações sejam realizadas de forma confiável e integrada levando em consideração tanto a solução como um todo, quanto

questões específicas do projeto. Vale ressaltar que na última abordagem, existem algumas limitações como a ausência de informações definidas nos projetos e também a definição de banco de dados confiáveis.

Diáz e Antón (2014), também descreveram como outra forma de integração BIM-ACV, a possibilidade da retirada de informações do modelo BIM da edificação para aplicação direta no estudo de ACV (através de softwares de ACV), para que ao fim do estudo seja possível adotar novos caminhos em busca de uma edificação mais sustentável. Além disso, os autores ressaltam a importância de se evitar trabalhos manuais e ferramentas com manuseios complexos. Essa forma de integração BIM-ACV foi chamada de Abordagem Unidirecional no estudo de Gomes e Barros (2018).

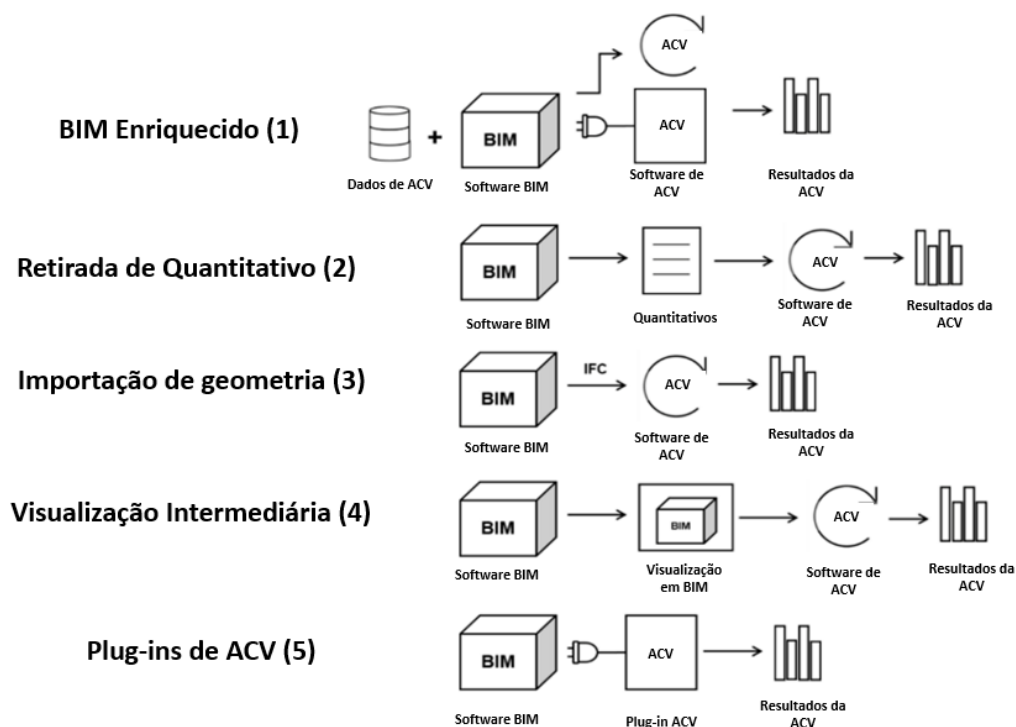
Gomes e Barros (2018) avaliaram os níveis de integração BIM-ACV desenvolvendo uma classificação para este processo. Segundo eles, a classificação inicia-se no Nível zero (Convencional), que é caracterizado por processos isolados, no qual as informações dos bancos de dados de ACV são inseridas de forma manual em planilhas, onde se gera o relatório final do estudo. Este processo, portanto, apresenta um alto consumo de tempo e esforço e está passível a erros. Em seguida, há o Nível de Integração Unidirecional é caracterizado por duas vertentes. Na primeira (BIM + LCA), utiliza-se o software BIM apenas para extração automática de quantitativos. Com relação a inserção de dados referente aos materiais e demais informações do estudo de ACV, isto é feito manualmente. A outra vertente (BIM4LCA) é caracterizada pelo modelo BIM melhorado, ou seja, o modelo é alimentado de forma manual, com informações e propriedades ambientais para que assim, tais informações sejam extraídas de forma automática para planilhas, onde será finalizado o estudo de ACV. Por último, no Nível de integração bidirecional, são apresentadas duas abordagens. A primeira (Interface ETL) garante a unificação e automatização entre as metodologias BIM-ACV por meio de ferramentas ETL (Extract Transform Load), permitindo assim, que as informações ambientais sejam atualizadas diretamente no modelo BIM. Na segunda abordagem (Interoperabilidade), encontra-se o nível mais avançado, sendo possível a utilização de recursos de programação do tipo API (Application Programming Interface) ou mesmo plug-

ins que podem ser executados dentro da plataforma BIM, como por exemplo o Tally. Dessa forma, garante-se o compartilhamento de informações dentro da própria plataforma BIM.

Em similaridade com os estudos descritos acima, Wastiels *et al.* (2019) categorizou a integração BIM-LCA em cinco abordagens. A primeira abordagem é a de “BIM enriquecido”, no qual se tem a vantagem de que menos informações para a ACV precisam ser atribuídas manualmente mais tarde, suportando assim um fluxo de trabalho automático ou semiautomático, o que reduzirá muito o erro humano. Além disso, centralizar os dados no modelo, pode ser uma vantagem em usos futuros, como no gerenciamento de instalações onde uma ACV pode precisar ser refeita. Os desafios dessa abordagem são que o ambiente de trabalho para a troca dessas informações deve ser estabelecido, incluindo quais informações e onde devem ser atribuídas no modelo, bem como como os dados podem ser trocados. A segunda abordagem, já tratada anteriormente por Díaz e Antón (2014) e Gomes e Barros (2018), é a mais comum na literatura que é a abordagem de “retirada de quantidade”. Aqui, o quantitativo é exportado do modelo de construção e, em seguida, conectado a um software de ACV. Os processos dentro da abordagem de retirada de quantidade podem variar entre manuais e automatizados, dependendo do uso de diferentes softwares para automação do processo. No entanto, o processo manual é a abordagem mais comum. A natureza da abordagem é simples, mas um processo de projeto iterativo pode ser difícil, devido aos processos manuais envolvidos. A terceira abordagem é a “importação de geometria para o software de ACV”, por exemplo, usando IFC para troca de dados. Uma vantagem dessa abordagem é que os IDs dos objetos são usados na troca de dados. Isso torna mais fácil atualizar a ACV sem combinar a geometria e os dados ambientais novamente. A quarta abordagem aplica um “visualizador” intermediário em um ambiente 3D, onde as informações de, por exemplo, o IFC, são combinadas com os dados ambientais. Essa abordagem tem a mesma vantagem com o uso de IDs da abordagem anterior. Além disso, a combinação pode acontecer em um ambiente 3D. A última abordagem é o “plugin ACV” para o software BIM. Aqui, o software BIM fornece automaticamente o ambiente 3D para combinar e visualizar resultados dinamicamente para um processo de projeto iterativo.

As cinco abordagens podem ser visualizadas na Figura 1.

Figura 1: As cinco abordagens de integração BIM-ACV



Fonte: Adaptado de Wastiels *et al.* (2019)

Levando em conta as abordagens discutidas anteriormente, é necessário também compreender como a troca de dados dentro das ferramentas disponíveis para os profissionais pode limitar ou não suas opções de fluxo de trabalho.

A interoperabilidade é normalmente o objetivo no gerenciamento de dados entre para permitir uma troca fácil de dados entre os softwares. Laakso e Kiviniemi (2012) definiram os padrões de interoperabilidade como direta e aberta. Um exemplo deste padrão de interoperabilidade é o IFC. O esquema IFC é um modelo de dados padrão, aberto e independente do fornecedor, que descreve o ambiente construído. Usar uma estrutura padrão requer que todos os softwares relevantes traduzam seus dados na estrutura padrão, criando assim uma linguagem comum para que todos os softwares troquem dados. Usar uma estrutura de dados padrão sempre restringirá como os dados podem ser descritos e, portanto, usados nas ferramentas de desempenho de construção (ZIMMERMANN, 2021). No entanto, a interoperabilidade de dados usando uma estrutura de dados de padrão aberto é vantajoso, pois reduz o número de vezes

que os dados precisam ser traduzidos (LAAKSO; KIVINIEMI, 2012). Em princípio, a estrutura de dados padrão pode ser usada em todas as cinco abordagens mencionadas por Wastiels *et al.* (2019), exceto a solução de plug-in. Como alternativa, os dados podem ser transferidos por meio de interoperabilidade direta, o que requer alguma abertura dos fornecedores de software na estrutura de dados (LAAKSO; KIVINIEMI, 2012). Isso pode ser um desafio quando esquemas de dados proprietários são usados. No entanto, com uma estrutura de dados aberta, os dados podem ser trocados usando, por exemplo, um formato de arquivo para o esquema de destino necessário na ACV. Os formatos de arquivo abertos que foram usados para ACV são, por exemplo, xlsx (OBRECHT *et al.*, 2020). Esses formatos são normalmente usados na abordagem 2 (retirada de quantitativos), mas podem, em teoria, ser usados para todas as abordagens definidas acima, dependendo da estrutura de dados escolhida. A diferença entre esta e a transferência de dados de padrão aberto é que ela não é padronizada, portanto, todas as transferências entre ferramentas, em princípio, precisam ser feitas individualmente de cada software de modelo de construção para a ferramenta de ACV, ao invés de usar uma estrutura comum. Além disso, o software pode fornecer a possibilidade de usar plug-ins por meio de um aplicativo interface de programação (API) para troca de informações com o software. Uma vantagem dos plug-ins é que podem adicionar funcionalidade ao software original, por exemplo, visualizando resultados e recebendo feedback dinâmico sobre mudanças de projeto dentro do ambiente do modelo de construção. O plug-in também pode selecionar os dados específicos necessários do modelo para a troca de dados com a ferramenta ACV. Soluções de plug-in populares no setor de construção são as linguagens de programação visual (VPL) como Grasshopper e Dynamo, que tornam a programação mais disponível para arquitetos e engenheiros (ZIMMERMANN, 2021). As soluções de plug-in podem funcionar sozinhas, sem dependências externas, ou como uma ponte para uma ferramenta ACV externa. A abordagem 5 é definida como a solução de plug-in; no entanto, um plug-in também pode funcionar em conexão com esquemas ou formatos de dados intermediários. Por exemplo, o VPL pode ser usado para extrair quantidades e criar um arquivo xlsx, que pode então ser transformado no esquema de dados da ferramenta ACV. Algumas desvantagens

dessa transferência direta são o manuseio de versões de software e erros na tradução (LAAKSO; KIVINIEMI, 2012). Além disso, o plug-in funcionará apenas com o software específico para o qual foi desenvolvido.

Em relação aos bancos de dados de ACV, estes também podem ser integrados entre si buscando tornar os resultados e os dados cada vez mais confiáveis. Muitas abordagens foram testadas, entre elas se inclui a integração de Knoblock *et al.* (2012), que seria mais adequada para integração de big data para resolver problemas da variedade, ou para aproveitar a vinculação da Open Data.

Quando o foco é o material, Schwartz *et al.* (2016) propôs a integração de dados EPD usando uma abordagem de web semântica. Eles definiram os dados no Resource Description Framework (RDF) e combinaram esses dados posteriormente. No entanto, definir manualmente instâncias de dados EPD é trabalhoso, sujeito a erros humanos e provavelmente impossível se houver uma grande quantidade de dados. Além disso, a transição de bancos de dados "regulares" para bancos de dados de gráficos semânticos com base em RDF é normalmente considerada complexa.

Uma outra visão com relação aos bancos de dados é a necessidade e a importância do desenvolvimento dos mesmos de forma a serem reestruturados para diferentes fases de construção e níveis de LOD diferenciados. Os bancos de dados devem adotar uma estrutura de código generalizada padrão que está relacionada a diferentes níveis de LOD para sua implementação mais direta em BIM. Nesse sentido, os bancos de dados atuais acabam sendo úteis para a construção em massa do tipo tradicional, mas não para soluções construtivas inovadoras. Dessa maneira, o desenvolvimento de bases com materiais de origem biológica, bem como de materiais reciclados e inovadores, deve ser considerado para a sua fácil implementação em edifícios e para que as grandes empresas tenham uma maior motivação para utilizá-los (NANEVA *et al.*, 2020).

Ainda com relação aos LODs necessários para o a integração BIM-ACV, Röck *et al.* (2018) destacam que o LOD depende de dois outros fatores, a saber, Nível de Geometria (LOG) e Nível de Informação (LOI). Para que o impacto ambiental seja melhor compreendido, tanto a estrutura geométrica quanto a de

dados do modelo BIM devem ser examinadas (BUENO et al., 2016). Em geral, o conceito de LOD propõe que o processo de construção comece com elementos genéricos, mas representativos, que estão sendo refinados continuamente ao longo do processo de tomada de decisão do projeto (MEEX et al., 2018).

A conexão entre o LOD e a avaliação de impacto ambiental, foram tratadas em alguns estudos realizados a fim de compreender como cada LOD se comporta durante a realização de um estudo de ACV. Ajayi et al. (2015) e Röck *et al.* (2018), se basearam em um modelo LOD 200 para apoiar a análise ambiental inicial. O LOD 300 também é adotado em casos da literatura para apoiar uma análise detalhada (Lee et al., 2015; Yang et al., 2018). Röck *et al.* (2018), trabalhou com estudos de abordagem paramétrica, definindo o LOD dos elementos do modelo. Cavalliere *et al.* (2019) usa quatro LODs (de 100 a 400), já que o estudo se refere a uma estrutura para conduzir uma ACV baseada em BIM durante todo o processo de projeto.

Dessa forma, a partir da análise desses estudos apresentados, é possível perceber que nos LODs mais baixos (LOD100-200), apresentam problemas relacionados a falta de informações, já que durante os estágios iniciais de projeto há poucas decisões tomadas. Em contrapartida, LODs mais avançados (LOD400-500), apresentam todas as informações necessárias, porém por se tratar dos estágios finais de projeto, boa parte das decisões já foram tomadas sem levar em consideração os impactos ambientais, impossibilitando, portanto, alterações nos projetos. Assim, o LOD-300 seria o mais compatível para a realização dos estudos de ACV, visto que apresenta as informações necessárias e possibilita as tomadas de decisão com base nos parâmetros ambientais que gerem alterações de melhorias nos projetos (NANEVA et al., 2020).

2.4.2 FERRAMENTAS DE INTEGRAÇÃO BIM-ACV

Com relação as ferramentas BIM utilizadas para realizar a integração BIM-ACV, o software Revit da Autodesk e o ArchiCAD da Graphisoft tem sido os principais utilizados para desenvolver os modelos BIM dos projetos.

Ferramentas como o Elodie CSTB, LCADesign, Lesosai, eToolLCD e Tally possibilitam a execução de estudos e análises de ACV, sendo interoperáveis com os modelos BIM. Apesar da possibilidade de integração

direta BIM-ACV, estas ferramentas utilizam bancos de dados genéricos e que, portanto, pode gerar resultados não condizentes com a realidade. Além disso, a ligação dos elementos do modelo BIM com os parâmetros dos bancos de dados deve ser feita de manual, o que demanda tempo para execução além de ser passível a erros (BUENO; FABRICIO, 2016).

Buscando evitar processos manuais da integração, a programação visual é uma importante ferramenta que possibilita a criação de rotinas que agilizem as modelagens paramétricas bem como a entrada/saída de dados, otimizando e automatizando as etapas. O software Dynamo é o mais amplamente utilizado no quesito da programação visual e que em conjunto com o Microsoft Excel, por exemplo, facilita a organização e geração de gráficos dos potenciais impactos ambientais identificados no modelo analisado (CAVALLIERE et al., 2020). A exemplo desta aplicação, Bueno et al. (2018) desenvolveram um método que utilizou o Revit e o Dynamo para criar um algoritmo que integre dados de ACV a modelos BIM. O estudo é baseado na modelagem da edificação no Revit, no qual se disponibiliza os quantitativos e toda a caracterização dos materiais. Dessa forma é possível elaborar uma planilha que contenha os quantitativos e os fatores de impactos (advindos do banco de dados de ACV), possibilitando a avaliação da solução desenvolvida. O algoritmo desenvolvido no Dynamo permite que as informações sejam atualizadas semiautomaticamente conforme a evolução do projeto.

SimaPro, GaBi e openLCA são outros softwares que apoiam a realização de estudos de ACV através da modelagem dos sistemas de produto, modelagem de inventário e caracterização de potenciais de impacto. Apesar de não serem integráveis diretamente com o BIM, podem auxiliar no processo BIM-ACV por meio da programação visual e planilhas de Excel como descrito anteriormente. Vale ressaltar que enquanto o openLCA é uma ferramenta gratuita, o SimaPro e o GaBi são softwares que custam um alto investimento além de apresentar grande complexidade de operação (NETTO; LUCENTE, 2016).

Como exemplo dos usos das ferramentas, Soust-Verdaguer et al. (2018) realizaram um comparativo entre três softwares de ACV (Tally, Athena e SimaPro) para verificar as diferenças entre os resultados e fornecer orientação

para projetistas e profissionais de ACV. Neste estudo, o plug-in Tally apresentou como potencialidades o fato que ele altera os resultados automaticamente conforme alterações no projeto, além de ser totalmente integrado ao BIM facilitando o processo e apresenta fácil manuseio (assim como o SimaPro). Já os softwares Athena e SimaPro apresentaram uma lista de materiais completa que facilita a análise de ACV e possibilita a modelagem de qualquer sistema. O SimaPro, vale destacar, foi o único que permitiu ao usuário ver as entradas e saídas de todos os processos, porém apresenta grande complexidade de manuseio. Com relação aos resultados dos impactos ambientais analisados no estudo, estes indicaram que um mesmo edifício, pode ter resultados de ACV diferentes produzidos pelas ferramentas, isso reforça, portanto, a necessidade não apenas de refinar os métodos de ACV, mas também a necessidade de incluir a análise de incerteza nas ferramentas de ACV para garantir maior confiabilidade dos dados.

Dessa forma, o Quadro 3 a seguir, apresenta um panorama geral das funcionalidades das ferramentas existentes mais utilizadas na integração BIM-ACV discutidas neste item.

Quadro 3: funcionalidades das ferramentas na integração BIM-ACV

TIPO	Ferramentas	Funcionalidades
BIM	Revit	Software BIM desenvolvido pela Autodesk utilizado para desenvolvimento de modelo 3D parametrizado.
	ArchiCAD	Software BIM desenvolvido pela Graphisoft utilizado para desenvolvimento de modelo 3D parametrizado.
ACV	openLCA	Software gratuito e profissional para avaliação de sustentabilidade de produtos, que permite a modelagem profissional de ciclo de vida, ampla gama de bases de dados, desenvolvimento de declarações ambientais de produto (EPD) entre outras funcionalidades.
	SimaPro	Software mais utilizado para realização de estudo de ACV desenvolvido pela empresa Pré Sustainability. A ferramenta coleta dados e analisa o desempenho ambiental de produtos e serviços, possibilitando a análise de ciclos de vida complexos de uma forma sistemática e transparente, seguindo as recomendações da série ISO 14040.
	GaBi	Software que transforma dados em métricas de sustentabilidade que suportam a tomada de decisões e permitem as instituições a implementar iniciativas de sustentabilidade de alto impacto.
Programação visual	Excel	Dynamo é uma ferramenta de programação visual da Autodesk que permite a criação de rotinas para agilizar a importação/exportação de dados ambientais para o software BIM. Esses dados são organizados em uma planilha de Excel, no qual deve ser gerado gráficos simplificados dos potenciais de impacto ambiental identificados no modelo analisado.
	Dynamo	
BIM-ACV	Elodie CSTB	Ferramenta francesa desenvolvida para realizar o estudo de ACV durante todo o ciclo de vida da edificação. Este software promove uma análise ambiental durante todo o processo de projeto.
	LCADesign	Ferramenta Australiana que realiza ACV de forma rápida, utilizando materiais genéricos.
	Lesosai	Ferramenta que calcula os impactos ambientais gerados pelo consumo de energia na fase de operação e também dos materiais.
	eToolLCD	Ferramenta que desenvolve análises de ACV considerando a ISO14040.
	Tally	Plug-in para o Revit que permite quantificar o impacto ambiental dos materiais de construção para análise de todo o edifício.

Fonte: Autora (2022)

3. Método de pesquisa

3.1 TIPO, NATUREZA E METODOLOGIA DE ESTUDO

A pesquisa desenvolvida pode ser definida como sendo do tipo descritiva. Segundo Gil (1999), as pesquisas descritivas têm como finalidade a descrição das características de determinada fenômeno e estabelecimento de relações entre variáveis. Segundo o autor, esse tipo de pesquisa busca descrever a situação em detalhe, permitindo desvendar a relação entre os eventos. O caráter descritivo é encontrado nessa pesquisa em razão da caracterização dos métodos de integração BIM-ACV com relação aos tipos de projeto, LODs, ferramentas, fases do ciclo de vida e bancos de dados.

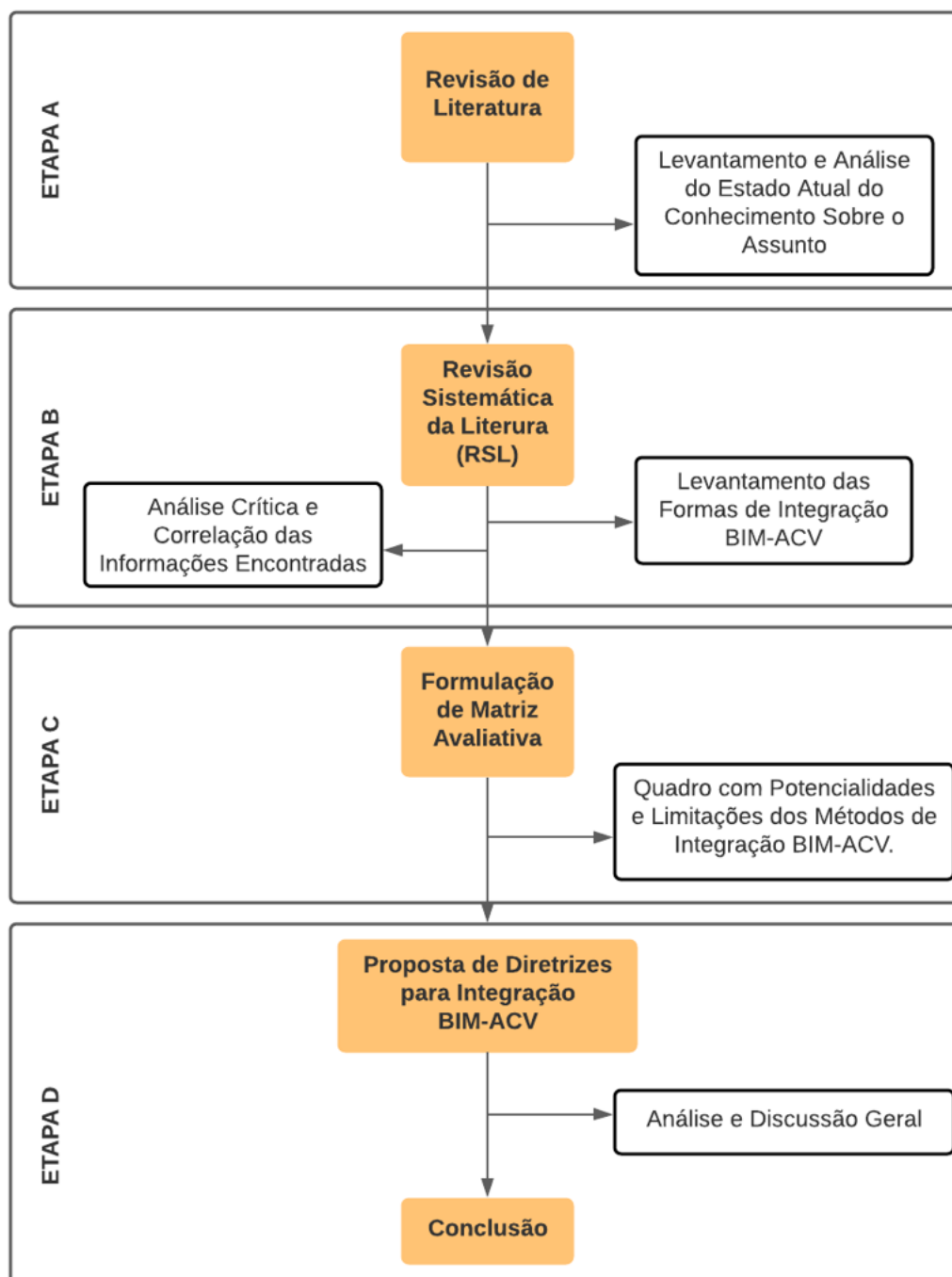
Com relação a natureza da pesquisa, a mesma pode ser considerada como qualitativa, visto que foi realizado um levantamento das formas de integração BIM-ACV com análise crítica e posterior criação de proposta de diretrizes de aplicação.

Ainda, segundo Gil (1999), a metodologia de pesquisa utilizada será a do tipo bibliográfica, visto que considera uma fonte de dados com materiais já elaborados (RSL), constituído de artigos científicos, elabora-se a coleta de dados em função do objetivo proposto. Dessa forma, esse método se aplica a pesquisa, dos materiais selecionados na RSL, que foram utilizados como base para o desenvolvimento da matriz avaliativa e, portanto, da produção do conjunto de diretrizes gerais que tornem a integração BIM-ACV aplicável em qualquer fase de projeto de forma satisfatória e eficiente, contribuindo para que seja possível avaliar os impactos ambientais de forma a moldar as soluções em busca de mais sustentabilidade para o setor da construção civil.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A Figura 2 apresenta, por meio de fluxograma, as etapas, o sequenciamento e as interdependências entre as atividades que foram necessárias para que fosse possível alcançar os objetivos definidos para este estudo. A seguir, as etapas apresentadas e seus procedimentos metodológicos serão apresentados de forma individual e detalhada.

Figura 2: Fluxograma das Etapas de Pesquisa



Fonte: Autora (2021)

3.2.1 ETAPA A – REVISÃO DE LITERATURA

A elaboração da revisão de literatura é requisito essencial para desenvolver uma pesquisa científica de qualidade (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

Nesta etapa desenvolveu-se a conceituação teórica, para compreender o estado atual do conhecimento do assunto abordado a partir das pesquisas científicas desenvolvidas na área. Portanto, foi neste momento que se levantou e discutiu-se os aspectos das metodologias BIM e ACV e sua integração.

Sendo assim, a Revisão Bibliográfica foi construída por meio de documentos científicos (artigos, normas, teses e dissertações) encontradas nas bases disponibilizadas no Periódico Capes, os aspectos gerais, os requisitos necessários, benefícios e as aplicabilidades a fim de entender o desenvolvimento já ocorrido nestes aspectos de cada metodologia individualmente.

3.2.2 ETAPA B – REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Revisão sistemática da literatura é uma investigação científica que reúne os estudos relevantes sobre uma questão formulada, utilizando banco de dados da literatura que tratam sobre aquela questão, realizando, portanto, uma revisão abrangente da literatura evitando vieses na forma da seleção e crítica dos artigos (SOUSA; RIBEIRO, 2009).

Dessa forma, a Revisão Sistemática da Literatura teve como objetivo levantar informações e analisar de forma crítica os estudos desenvolvidos sobre as formas de integração BIM-ACV com suas potencialidades e limitações. O protocolo da RSL que objetiva a sistematização da revisão, foi desenvolvido de acordo Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015) e encontra-se na Quadro 44 a seguir.

Quadro 4: Protocolo a ser seguido na RSL**PROTOCOLO - REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA**

Framework Conceitual	Avaliar métodos de integração discutidos por diferentes autores que avaliem o ciclo de vida de uma edificação utilizando modelos BIM	
Contexto Mundial	Horizonte: 2016-2022/01	Idioma: Inglês, Português
Questão de revisão	Quais são os métodos de integração BIM-ACV com as suas potencialidades e limitações ?	
Critérios de busca	Inclusão	Artigos que descrevem todo o processo para a integração BIM-ACV
	Exclusão	Revisões de literatura, livros, dissertações e teses e estudos que não tiveram como foco principal o método de integração BIM-ACV.
Strings de Busca	("BIM" OR "Building Information Model*") AND ("LCA" OR "life cycle assessment" OR "life cycle analysis") ("BIM" OR "Modelagem da Informação da Construção*") AND ("ACV" OR "Avaliação do Ciclo de Vida")	
Fontes de Busca	Base de dados: Science Direct, Scopus, Web of Science e Engineering Village	

Fonte: Autora (2022)

Foram utilizadas, portanto, as bases de dados Science Direct, Scopus, Web of Science e Engineering Village para realizar as pesquisas. Após algumas tentativas e testes quanto às palavras-chave a serem escolhidas, optou-se pelas seguintes: BIM, LCA, Building Information Model*, life cycle assessment, life cycle analysis, ACV, Modelagem da Informação da Construção e Avaliação do Ciclo de Vida.

A seleção dos artigos foi feita de forma que objetiva a leitura, evita artigos duplicados e considera publicações recentes e pertinentes quanto ao tema da revisão. Sendo assim, decidiu-se por realizar os filtros da maneira apresentada a seguir:

- Artigos duplicados: em caso de artigos encontrados em mais de uma base de dados, a exclusão de duplicatas foi realizada por meio do auxílio dos softwares Mendeley® e Excel®, selecionando como parâmetro único o título do artigo.
- Artigos de Periódico Científicos: Ainda que o filtro nos bancos de dados contemple a exclusão dos artigos não provenientes de periódicos, foram aplicados novamente o mesmo filtro para permitir apenas a visualização de artigos publicados em periódicos.
- Artigos publicados entre 2016-2022/01: A fim de reforçar a relevância atual do tema, foi definido um filtro temporal, buscando apenas artigos publicados no intervalo de anos mencionado.
- Artigos com Títulos e Resumos Pertinentes: foram eliminados os artigos com títulos e resumos fora do tema proposto. Dessa forma, foram incluídos na análise apenas os artigos que descreveram completamente todos os processos utilizados para realizar a integração BIM-ACV.

Vale ressaltar que a coleta dos artigos foi realizada por meio do auxílio do software Mendley, proporcionando uma melhor gestão dos documentos. Posteriormente à captação e gerenciamento dos arquivos, foi utilizado o Microsoft Excel para a seleção fina dos artigos e geração de quadros e gráficos dos dados elencados.

3.2.3 ETAPA C – FORMULAÇÃO DA MATRIZ AVALIATIVA

Após o levantamento dos estudos sobre o assunto e análise crítica realizada na Revisão Sistemática da Literatura, foi desenvolvida uma matriz avaliativa com o objetivo de apresentar e caracterizar os aspectos encontrados nos estudos selecionados.

A caracterização dos estudos selecionados foi feita a partir de dois grupos: identificação e aspectos específicos dos artigos. Tais critérios, serão descritos a seguir.

- Identificação dos Artigos: apresentação dos autores, títulos dos estudos e ano de publicação.
- Aspectos Específicos do Artigo: buscando entender e caracterizar as características dos métodos de integração BIM-ACV desenvolvidos nos

estudos, serão apresentados os LODs, Ferramentas utilizadas, Fases do Ciclo de Vida analisadas, Bancos de Dados adotados, as Potencialidades e Limitações de cada método trabalhado. Além disso, buscou-se identificar quais foram os recursos utilizados em cada artigo para a realização da integração BIM-ACV, sendo eles:

- Recurso Tipo 1: Criação do Template enriquecido com informações de ACV;
- Recurso Tipo 2: Utilização de Softwares de ACV;
- Recurso Tipo 3: Programação Visual;
- Recurso Tipo 4: Utilização de Planilhas de Excel para organização de dados;
- Recurso Tipo 5: Utilização de Plug-ins prontos;
- Recurso Tipo 6: Desenvolvimento de Plug-ins;
- Recurso Tipo 7: Retirada de Quantitativos;

Com base nesses critérios, a matriz avaliativa foi construída conforme o quadro a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** seguir.

Quadro 5: Matriz Avaliativa dos Estudos Seleccionados na RSL

MATRIZ AVALIATIVA															
IDENTIFICAÇÃO DO ARTIGO			ASPECTOS ESPECÍFICOS DOS ARTIGOS												
Autores	Título	Ano	LOD	Ferramentas utilizadas	Fase do ciclo de vida	Banco de Dados	Recurso Tipo 1	Recurso Tipo 2	Recurso Tipo 3	Recurso Tipo 4	Recurso Tipo 5	Recurso Tipo 6	Recurso Tipo 7	Potencialidades	Limitações

Fonte: Autora (2021)

Dessa forma, a matriz construída permitiu que fosse feita a avaliação dos métodos existentes, bem como a realização de comparações entre os mesmos, visando identificar as melhores aplicabilidades de cada estudo.

3.2.4 ETAPA D – PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES E CONCLUSÕES

Com base na Matriz Avaliativa desenvolvida e nos tipos de integração BIM-ACV encontrados, foi possível visualizar as abordagens mais recorrentes e, portanto, comparar com as abordagens definidas na literatura. Com isso, as diretrizes gerais foram desenvolvidas em função das etapas de projeto,

determinando quais abordagens são mais adequadas, qual a relação das fases do ciclo de vida e LOD de projeto, quais ferramentas e bancos de dados que melhor atendam às necessidades, para assim apresentarem uma maior confiabilidade nos resultados.

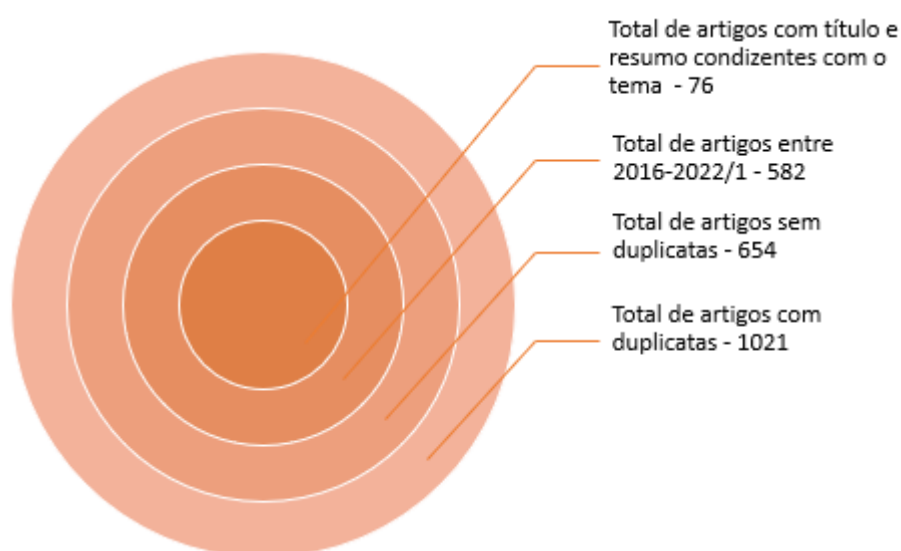
4. Resultados e discussão

4.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Na primeira fase da pesquisa pelos artigos, encontrou-se um total de 1021 artigos. A seleção iniciou-se pela eliminação dos artigos duplicados e artigos que não eram de periódicos restando 654. Em seguida o filtro foi temporal entre 2016 e 2022/01 restando 582 artigos. Por fim, realizou-se a leitura do título e resumo totalizando 76 artigos finais condizentes com o tema. Vale ressaltar, que para chegar nos artigos finais, foram apenas considerados os estudos que descreveram completamente todos os processos utilizados para realizar a integração BIM-ACV, para que dessa forma, fosse possível contribuir para o desenvolvimento da proposta deste estudo

A relação descrita anteriormente encontra-se na Figura 3 a seguir.

Figura 3: Método de filtragem dos documentos



Fonte: Autora (2022)

Os artigos finais definidos após a seleção descrita anteriormente são apresentados a seguir:

Quadro 6: Dados dos artigos selecionados para leitura

ID	Autores	Título	Ano	Publicação
1	Schultz J., Ku K., Gindlesparger M., Doerfler J.,	A benchmark study of BIM-based whole-building life-cycle assessment tools and processes	2016	International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development
2	Shadram F., Johansson T.D., Lu W., Schade J., Olofsson T.,	An integrated BIM-based framework for minimizing embodied energy during building design	2016	Energy and Buildings
3	Najjar M., Figueiredo K., Palumbo M., Haddad A.,	Integration of BIM and LCA: Evaluating the environmental impacts of building materials at an early stage of designing a typical office building	2017	Journal of Building Engineering
4	Lu Y., Le V.H., Song X.,	Beyond Boundaries: A Global Use of Life Cycle Inventories for Construction Materials	2017	Journal of Cleaner Production
5	Marzouk M., El-zayat M., Aboushady A.,	Assessing environmental impact indicators in road construction projects in developing countries	2017	Sustainability
6	Al-Ghamdi S.G., Bilec M.M.,	Green Building Rating Systems and Whole-Building Life Cycle Assessment: Comparative Study of the Existing Assessment Tools	2017	Journal of Architectural Engineering
7	Alireza A.F.F., Rashidi T.H., Akbarnezhad A., Waller S.T.,	BIM-enabled sustainability assessment of material supply decisions	2017	Engineering, Construction and Architectural Management
8	Panteli C., Kylili A., Stasiuliene L., Seduikyte L., Fokaides P.A.,	A framework for building overhang design using Building Information Modeling and Life Cycle Assessment	2018	Journal of Building Engineering
9	Crippa J., Boeing L.C., Caparelli A.P.A., da Costa M.R.M.M., Scheer S., Araujo A.M.F., Bem D.,	A BIM–LCA integration technique to embodied carbon estimation applied on wall systems in Brazil	2018	Built Environment Project and Asset Management
10	Cavalliere C., Dell'Osso G.R.,	Life cycle assessment data structure for building information Modeling	2018	Journal of Cleaner Production

ID	Autores	Título	Ano	Publicação
	Pierucci A., Iannone F.,			
11	Bueno C., Pereira L.M., Fabricio M.M.,	Life cycle assessment and environmental-based choices at the early design stages: an application using building information Modeling	2018	Architectural Engineering and Design Management
12	Soust-Verdaguer B., Llatas C., García-Martínez A., Gómez De Cózar J.C.,	BIM-Based LCA Method to Analyze Envelope Alternatives of Single-Family Houses: Case Study in Uruguay	2018	Journal of Architectural Engineering
13	Röck M., Hollberg A., Habert G., Passer A.,	LCA and BIM: Visualization of environmental potentials in building construction at early design stages	2018	Building and Environment
14	Nizam R.S., Zhang C., Tian L.,	A BIM based tool for assessing embodied energy for buildings	2018	Energy and Buildings
15	Bueno C., Fabricio M.M.,	Comparative analysis between a complete LCA study and results from a BIM-LCA plug-in	2018	Automation in Construction
16	Yang X., Hu M., Wu J., Zhao B.,	Building-information-modeling enabled life cycle assessment, a case study on carbon footprint accounting for a residential building in China	2018	Journal of Cleaner Production
17	Politi, S; Bergonzoni, G; Cincotta, IWJ; Sampietro, F	LCA Analysis Through a Visual Programming Tool: Workflow on a BIM Model Case Study	2018	Sustainability
18	Gardezi S.S.S., Shafiq N.,	Operational carbon footprint prediction model for conventional tropical housing: a Malaysian prospective	2019	International Journal of Environmental Science and Technology
19	Lu K., Jiang X., Tam V.W.Y., Li M., Wang H., Xia B., Chen Q.,	Development of a carbon emissions analysis framework using building information modeling and life cycle assessment for the construction of hospital projects	2019	Sustainability
20	Najjar M., Figueiredo K., Hammad A.W.A., Haddad A.,	Integrated optimization with building information modeling and life cycle assessment for generating energy efficient buildings	2019	Applied Energy
21	Santos R., Costa A.A., Silvestre J.D., Pyl L.,	Integration of LCA and LCC analysis within a BIM-based environment	2019	Automation in Construction
22	Rezaei F., Bulle C., Lesage P.,	Integrating building information modeling and life cycle assessment in the early and detailed building design stages	2019	Building and Environment

ID	Autores	Título	Ano	Publicação
23	Cavalliere C., Habert G., Dell'Osso G.R., Hollberg A.,	Continuous BIM-based assessment of embodied environmental impacts throughout the design process	2019	Journal of Cleaner Production
24	Sandberg M., Mukkavaara J., Shadram F., Olofsson T.,	Multidisciplinary optimization of life-cycle energy and cost using a BIM-based master model	2019	Sustainability
25	Zainon N., Lun G.W., Zaid N.S.M., Myeda N.E., Aziz N.M.,	Developing a framework for life cycle assessment of construction materials through building information Modeling (BIM)	2019	International Journal of Innovation
26	Najjar M.K., Figueiredo K., Evangelista A.C.J., Hammad A.W.A., Tam V.W.Y., Haddad A.,	Life cycle assessment methodology integrated with BIM as a decision-making tool at early-stages of building design	2019	International Journal of Construction Management
27	Xu Z., Wang S., Wang E.,	Integration of BIM and Energy Consumption Modeling for Manufacturing Prefabricated Components: A Case Study in China	2019	Advances in Civil Engineering
28	Soust-Verdaguer B., Llatas C., Moya L.,	Comparative BIM-based Life Cycle Assessment of Uruguayan timber and concrete-masonry single-family houses in design stage	2020	Journal of Cleaner Production
29	van Eldik M.A., Vahdatikhaki F., dos Santos J.M.O., Visser M., Doree A.,	BIM-based environmental impact assessment for infrastructure design projects	2020	Automation in Construction
30	Barbini A., Malacarne G., Romagnoli K., Massari G.A., Matt D.T.,	Integration of life cycle data in a BIM object library to support green and digital public procurements	2020	International Journal of Sustainable Development and Planning
31	Yao F., Liu G., Ji Y., Tong W., Du X., Li K., Shrestha A., Martek I.,	Evaluating the environmental impact of construction within the industrialized building process: A monetization and building information Modeling approach	2020	Environmental Research and Public Health
32	Asare K.A.B., Ruikar K.D., Zanni M., Soetanto R.,	BIM-based LCA and energy analysis for optimised sustainable building design in Ghana	2020	A Springer Nature Journal
33	Su S., Wang Q., Han L., Hong J., Liu Z.,	BIM-DLCA: An integrated dynamic environmental impact assessment model for buildings	2020	Building and Environment

ID	Autores	Título	Ano	Publicação
34	Jalaei F., Guest G., Gaur A., Zhang J.,	Exploring the effects that a non-stationary climate and dynamic electricity grid mix has on whole building life cycle assessment: A multi-city comparison	2020	Sustainable Cities and Society
35	Carvalho J.P., Alecrim I., Bragança L., Mateus R.,	Integrating BIM-based LCA and building sustainability assessment	2020	Sustainability
36	Palumbo E., Soust-Verdaguer B., Llatas C., Traverso M.,	How to obtain accurate environmental impacts at early design stages in BIM when using environmental product declaration. A method to support decision-making	2020	Sustainability
37	Phillips R., Troup L., Fannon D., Eckelman M.J.,	Triple bottom line sustainability assessment of window-to-wall ratio in US office buildings	2020	Building and Environment
38	Santos R., Aguiar Costa A., Silvestre J.D., Pyl L.,	Development of a BIM-based Environmental and Economic Life Cycle Assessment tool	2020	Journal of Cleaner Production
39	Horn R., Ebertshäuser S., Di Bari R., Jorgji O., Traunspurger R., von Both P.,	The BIM2LCA approach: An industry foundation classes (IFC)-based interface to integrate life cycle assessment in integral planning	2020	Sustainability
40	Veselka J., Nehasilová M., Dvořáková K., Ryklová P., Volf M., Růžička J., Lupíšek A.,	Recommendations for developing a BIM for the purpose of LCA in green building certifications	2020	Sustainability
41	Theißen S., Höper J., Drzymalla J., Wimmer R., Markova S., Meins-Becker A., Lambertz M.,	Using open BIM and IFC to enable a comprehensive consideration of building services within a whole-building LCA	2020	Sustainability
42	Naneva A., Bonanomi M., Hollberg A., Habert G., Hall D.,	Integrated BIM-based LCA for the entire building process using an existing structure for cost estimation in the Swiss context	2020	Sustainability
43	Kiamili C., Hollberg A., Habert G.,	Detailed assessment of embodied carbon of HVAC systems for a new office building based on BIM	2020	Sustainability
44	Feng H., Liyanage D.R., Karunathilake H., Sadiq R., Hewage K.,	BIM-based life cycle environmental performance assessment of single-family houses: Renovation and reconstruction strategies for aging building stock in British Columbia	2020	Journal of Cleaner Production

ID	Autores	Título	Ano	Publicação
45	Santos R., Costa A.A., Silvestre J.D., Vandenberg T., Pyl L.,	BIM-based life cycle assessment and life cycle costing of an office building in Western Europe	2020	Building and Environment
46	Ansah M.K., Chen X., Yang H., Lu L., Lam P.T.I.,	An integrated life cycle assessment of different façade systems for a typical residential building in Ghana	2020	Sustainable Cities and Society
47	Durão V., Costa A.A., Silvestre J.D., Mateus R., Santos R., de Brito J.,	Current opportunities and challenges in the incorporation of the lca method in bim	2020	The Open Construction & Building Technology Journal
48	Cheng B., Li J., Tam V.W.Y., Yang M., Chen D.,	A BIM-LCA approach for estimating the greenhouse gas emissions of large-scale public buildings: A case study	2020	Sustainability
49	Hollberg A., Genova G., Habert G.,	Evaluation of BIM-based LCA results for building design	2020	Automation in Construction
50	Martins, SS; Evangelista, ACJ; Hammad, AWA; Tam, VWY; Haddad, A	Evaluation of 4D BIM tools applicability in construction planning efficiency	2020	International Journal of Construction Management
51	Raouf, AM; Al-Ghamdi, SG	Effect of R-values changes in the baseline codes: Embodied energy and environmental life cycle impacts of building envelopes	2020	Energy Reports
52	Alwan Z., Nawarathna A., Ayman R., Zhu M., ElGhazi Y.,	Framework for parametric assessment of operational and embodied energy impacts utilising BIM	2021	Journal of Building Engineering
53	Ansah M.K., Chen X., Yang H., Lu L., Lam P.T.I.,	Developing an automated BIM-based life cycle assessment approach for modularly designed high-rise buildings	2021	Environmental Impact Assessment Review
54	Bianchi P.F., Yepes V., Vitorio P.C., Jr., Kripka M.,	Study of alternatives for the design of sustainable low-income housing in Brazil	2021	Sustainability
55	Tushar Q., Bhuiyan M.A., Zhang G., Maqsood T.,	An integrated approach of BIM-enabled LCA and energy simulation: The optimized solution towards sustainable development	2021	Journal of Cleaner Production
56	Lee S., Tae S., Jang H., Chae C.U., Bok Y.,	Development of building information modeling template for environmental impact assessment	2021	Sustainability
57	Abbasi S., Noorzai E.,	The BIM-Based multi-optimization approach in order to determine the trade-off between embodied and	2021	Journal of Cleaner Production

ID	Autores	Título	Ano	Publicação
		operation energy focused on renewable energy use		
58	Abouhamad M., Abu-Hamd M.,	Life cycle assessment framework for embodied environmental impacts of building construction systems	2021	Sustainability
59	Sameer H., Bringezu S.,	Building information Modeling application of material, water, and climate footprint analysis	2021	Building Research & Information
60	Jalaei F., Zoghi M., Khoshand A.,	Life cycle environmental impact assessment to manage and optimize construction waste using Building Information Modeling (BIM)	2021	International Journal of Construction Management
61	Zimmermann, RK; Bruhn, S; Birgisdottir, H	BIM-Based Life Cycle Assessment of Buildings-An Investigation of Industry Practice and Needs	2021	Sustainability
62	Djuedja, JFT; Abanda, FH; Kamsu-Foguem, B; Pauwels, P; Magniont, C; Karray, MH	An integrated Linked Building Data system: AEC industry case	2021	Advances in Engineering Software
63	Baoquan Cheng, Jianling Huang, Kun Lu, Jianchang Li, Guangbo Gao, Tingpeng Wang, Huihua Chen	BIM-enabled life cycle assessment of concrete formwork waste reduction through prefabrication	2022	Sustainable Energy Technologies and Assessments
64	Dalia M.A. Morsi, Walaa S.E. Ismaeel, Ahmed Ehab, Ayman A.E. Othman	BIM-based life cycle assessment for different structural system scenarios of a residential building	2022	Ain Shams Engineering Journal
65	Quddus Tushar, Muhammed A. Bhuiyan, Guomin Zhang	Energy simulation and modeling for window system: A comparative study of life cycle assessment and life cycle costing	2022	Journal of Cleaner Production
66	Maedeh Motalebi, Ali Rashidi, Mohammad Mahdi Nasiri	Optimization and BIM-based lifecycle assessment integration for energy efficiency retrofit of buildings	2022	Journal of Building Engineering
67	Baoquan Cheng, Kun Lu, Jianchang Li, Huihua Chen, Xiaowei Luo, Muhammad Shafique	Comprehensive assessment of embodied environmental impacts of buildings using normalized environmental impact factors	2022	Journal of Cleaner Production

ID	Autores	Título	Ano	Publicação
68	Tata Sravani, Prasanna Venkatesan Ramani, Madhumathi Anbu	A comparative LCA study of passive cooling roof materials for a residential building: An Indian Case study	2022	Materials Today: Proceedings
69	Jingjing Wang, Jiajia Wei, Zhansheng Liu, Chun Huang, Xiuli Du	Life cycle assessment of building demolition waste based on building information modeling	2022	Resources, Conservation & Recycling
70	V. Tavares, F. Freire	Life cycle assessment of a prefabricated house for seven locations in different climates	2022	Journal of Building Engineering
71	CRISTINA ORETO, SALVATORE ANTONIO BIANCARDO, ROSA VEROP ALUMBO, NUNZIO VISCIONE, FRANCESCA RUSSO, francesco abbondati & GIANLUCA DELL'ACQUA	Bim-lca integration framework for sustainable road pavement maintenance practices	2022	International Journal of Transport Development and Integration
72	B. Soust-Verdaguer, I. Bernardino Galeana, C. Llatas, M.V. Montes, E. Hoxha, A. Passer	How to conduct consistent environmental, economic, and social assessment during the building design process. A BIM-based Life Cycle Sustainability Assessment method	2022	Journal of Building Engineering
73	Mohammad K. Najjar, Karoline Figueiredo, Ana Catarina Jorge Evangelista, Ahmed W. A. Hammad, Vivian W. Y. Tam & Assed Haddad	Life cycle assessment methodology integrated with BIM as a decision-making tool at early-stages of building design	2022	International Journal of Construction Management
74	Ali Azzam, Mohamed El Zayat, Mohamed Marzouk	Integrated approach for sustainability assessment in power plant projects using Building Information Modeling	2022	Energy for Sustainable Development
75	Carmen Llatas, Bernardette Soust-Verdaguer, Alexander Hollberg, Elisabetta Palumbo, Rocío Quinones	BIM-based LCSA application in early design stages using IFC	2022	Automation in Construction
76	Assima Dauletbek, Peiguo Zhou	BIM-based LCA as a comprehensive method for the refurbishment of existing dwellings considering environmental compatibility	2022	Journal of Building Engineering

Fonte: Autora (2022)

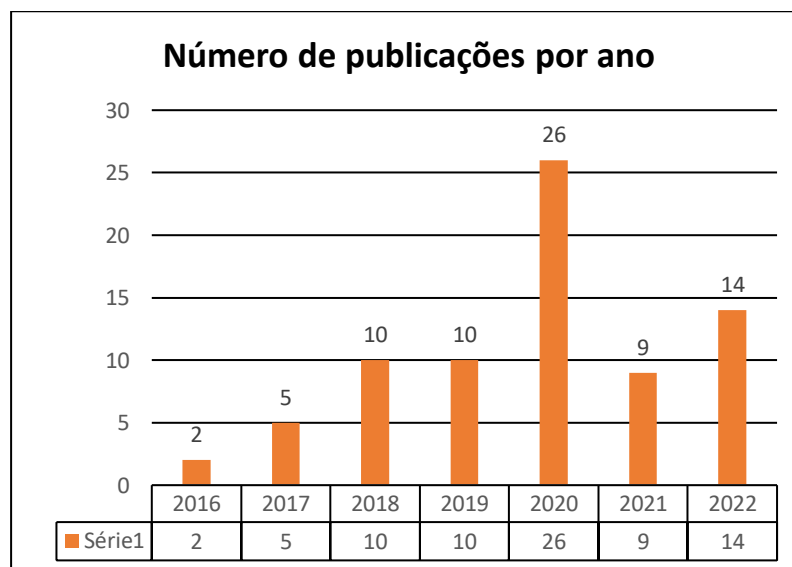
4.1.1 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Neste tópico serão apresentados os dados quantitativos e qualitativos referentes às publicações selecionadas, realizando uma análise bibliométrica. De acordo com Araújo (2006) bibliometria é um método quantitativo e estatístico que mede índices de produção e disseminação de conhecimento.

Dando início a análise dos artigos por meio dos anos de publicação, buscou-se compreender a pertinência do tema no meio acadêmico ao longo dos anos, como apresentado pela

Figura 4. Como mencionado, apenas os artigos entre o ano de 2016 e 2022/01 foram selecionados, para que temas atuais frente a estudos e mercados fossem levantados.

Figura 4: Ano das Publicações



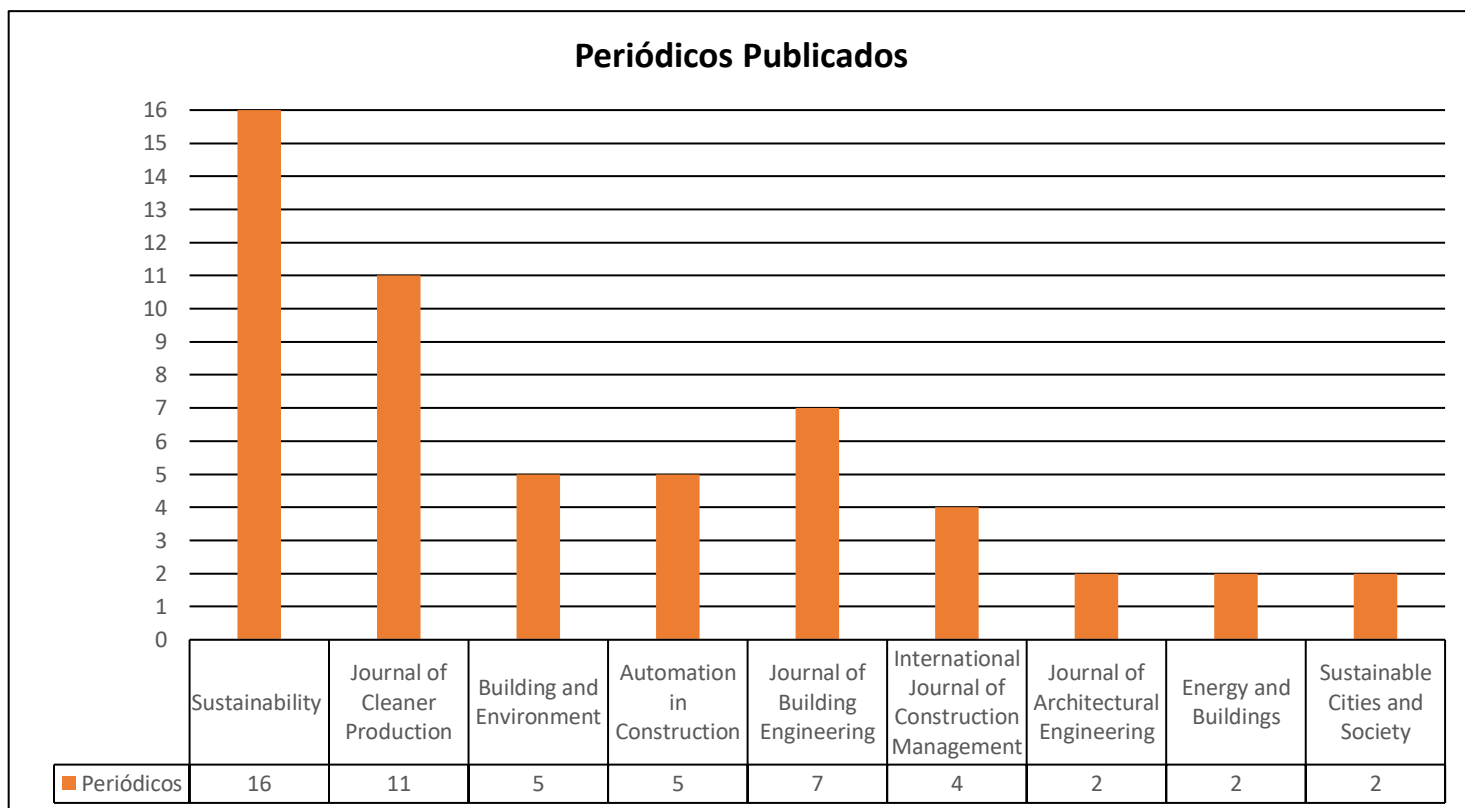
Fonte: Autora (2022)

Observa-se um crescimento no número de publicações a partir de 2016 com uma concentração no número de publicações em 2020. A diminuição das publicações em 2021 retratou a queda de forma geral da produção científica, devido aos efeitos da pandemia e isolamento social em 2020. Apesar disso, é possível visualizar que já no 1º semestre de 2022 percebe-se a ascensão novamente do número de publicações e conseqüentemente a relevância atual do tema. Vale ressaltar que apenas os artigos mais relevantes para a tema foram

escolhidos, portanto tais números representam um universo de publicações restrito.

Com isso, analisou-se a quantidade dos periódicos nos quais foram realizadas as publicações. A Figura 5 apresenta os dados quantitativos referentes às revistas científicas onde foram encontrados os artigos em questão.

Figura 5: Publicações em Periódicos



Fonte: Autora (2022)

É possível perceber o destaque principal do “Sustainability”, “Journal of Clear Production” e “Building and Environment” com respectivamente 16, 11 e 5 publicações em cada.

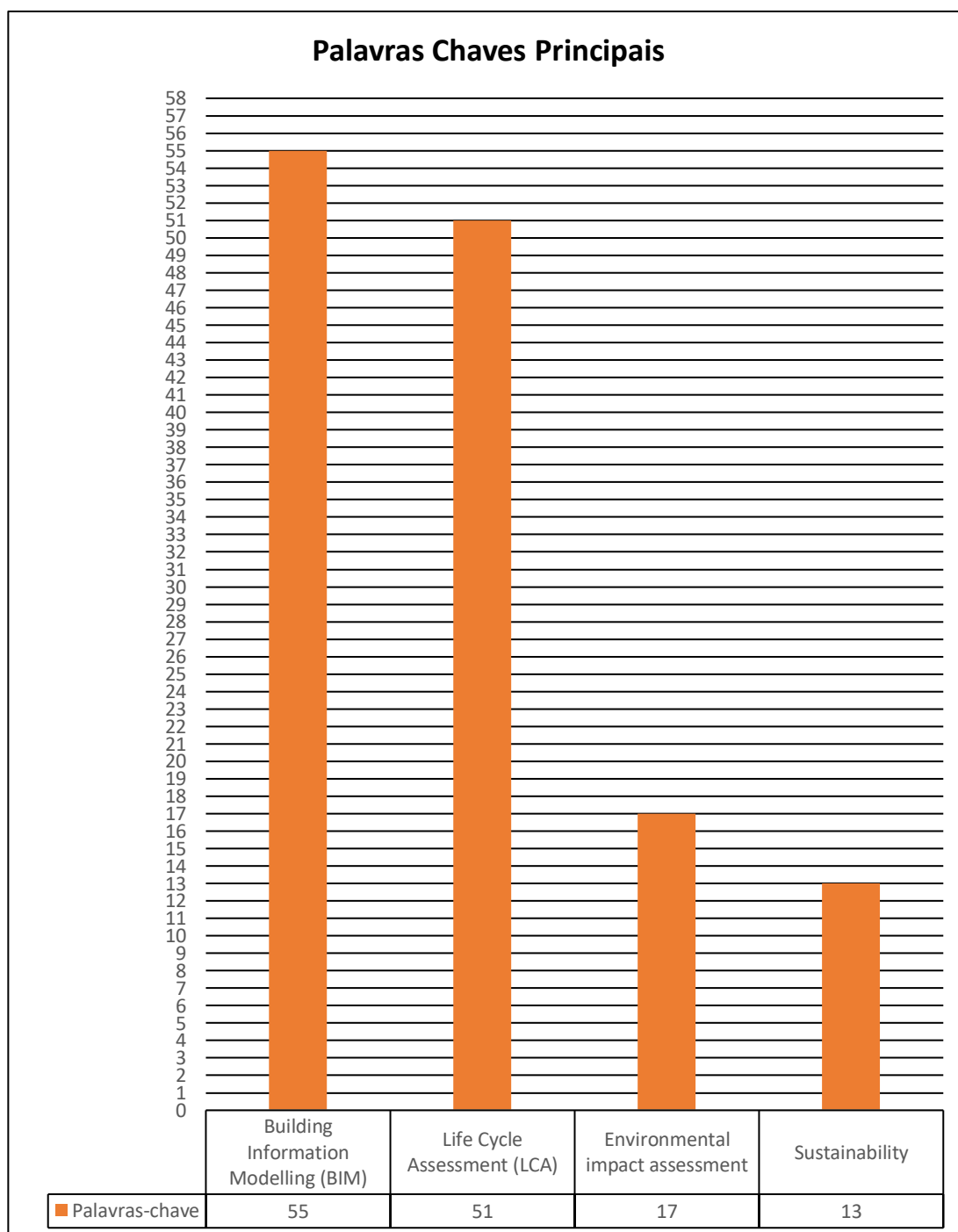
Os três periódicos são internacionais, sendo a “Sustainability” uma revista que trata sobre estudos relacionados à sustentabilidade e desenvolvimento sustentável. O “Journal of Cleaner Production” tem como foco a pesquisa e a prática de Produção Mais Limpa, Meio Ambiente e Sustentabilidade, visando tornar a sociedade mais sustentável. Por último, “Building and Environment” é uma revista que publica artigos de pesquisa originais e artigos de revisão

relacionados à ciência da construção e a interação humana com o ambiente construído interno e externo.

Vale indicar que no gráfico foram apresentados somente as revistas com duas ou mais publicações.

Também foi realizado uma análise de todas as palavras-chave presentes nos textos apresentados, elencando apenas as palavras mais recorrentes e, conseqüentemente, de maior importância por meio da Figura 06.

Figura 6: Quantidade de palavras-chave mais recorrentes

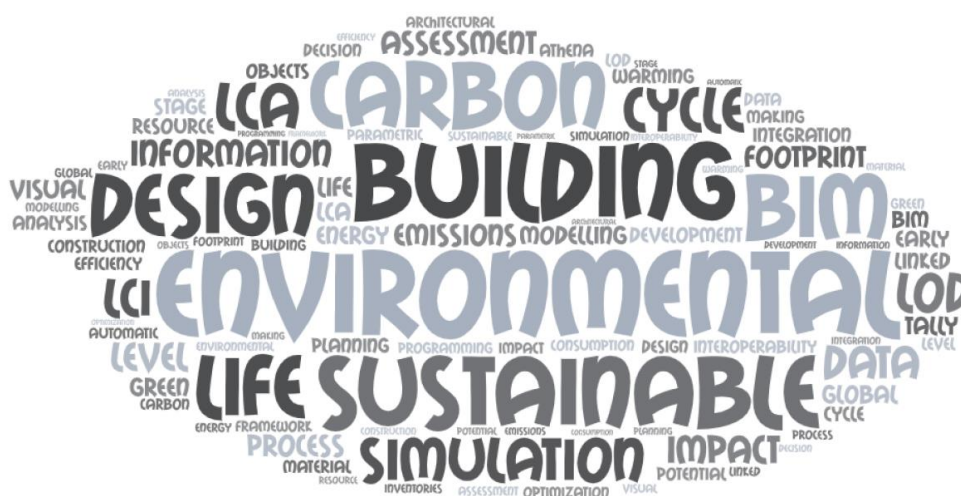


Fonte: Autora (2022)

Como é possível observar, apenas 4 palavras apareceram dez ou mais vezes na pesquisa realizada. Além disso, “*Building Information Modeling*” e “*Life Cycle Assessment*” (55 e 51 aparições respectivamente) são destaque, até mesmo por terem sido as palavras inseridas nos campos de pesquisa das bases de dados.

Além disso, de maneira qualitativa uma nuvem de palavras foi desenvolvida para apresentar as mais recorrentes nos estudos. Assim, as diferenças de tamanho variam de acordo com a importância no contexto. Dessa forma, as palavras carbono, “building”, BIM, “environmental”, “sustainable” e “simulation”, foram as mais recorrentes e importantes dentro dos estudos selecionados.

Figura 7: Nuvem de palavras



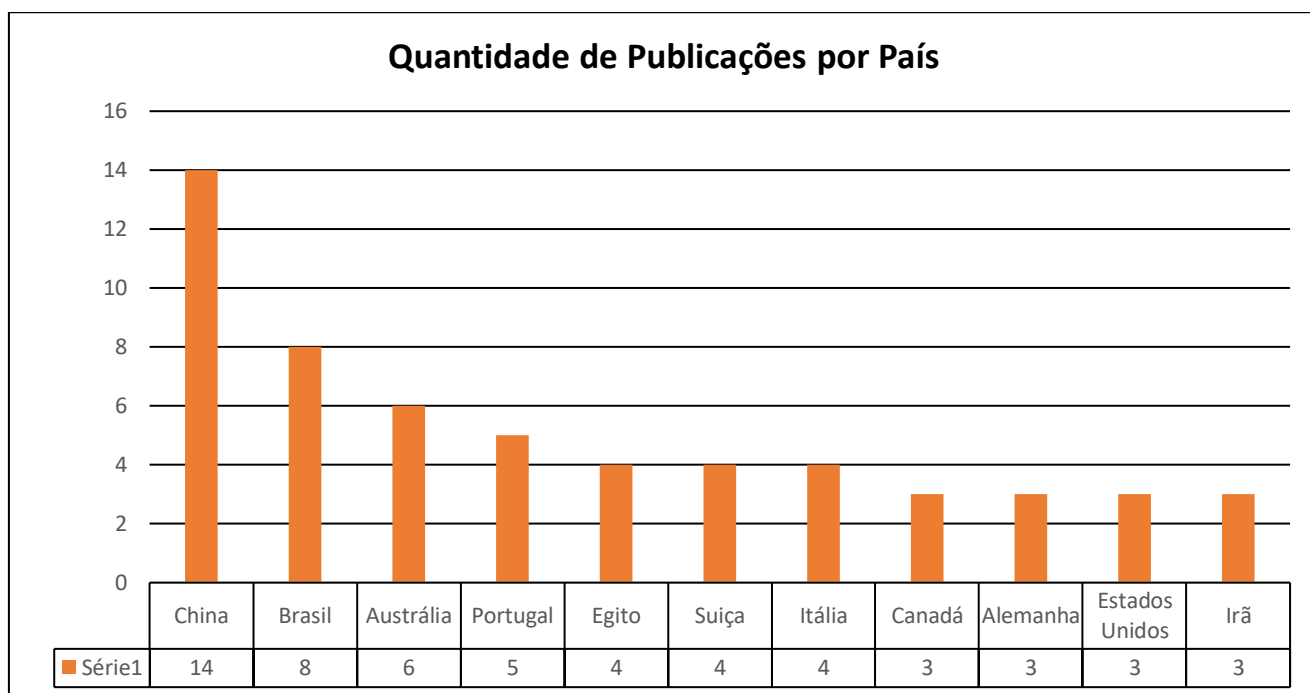
Fonte: autora (2022)

Por fim, realizou-se uma análise dos países das publicações, identificando desta forma quais são os lugares que mais estudam sobre a integração BIM-ACV. Notou-se, portanto, a presença significativa, com pelo menos cinco ou mais publicações, da China, Brasil, Austrália e Portugal conforme Figura 8.

Um importante comentário a se fazer com relação a participação da China nas publicações é que em virtude de seu alto desenvolvimento econômico, industrial e da rápida expansão, o consumo de energia e as emissões de poluentes tem aumentado significativamente (LIMA et al., 2021). Em consequência disso, o país enfrenta problemas ambientais como a diminuição de recursos hídricos, acelerado desmatamento e tempestades de poeira. Dessa forma, estudos chineses na área de sustentabilidade têm avançado e aumentado a produção, refletindo, portanto, no recorte aqui apresentado.

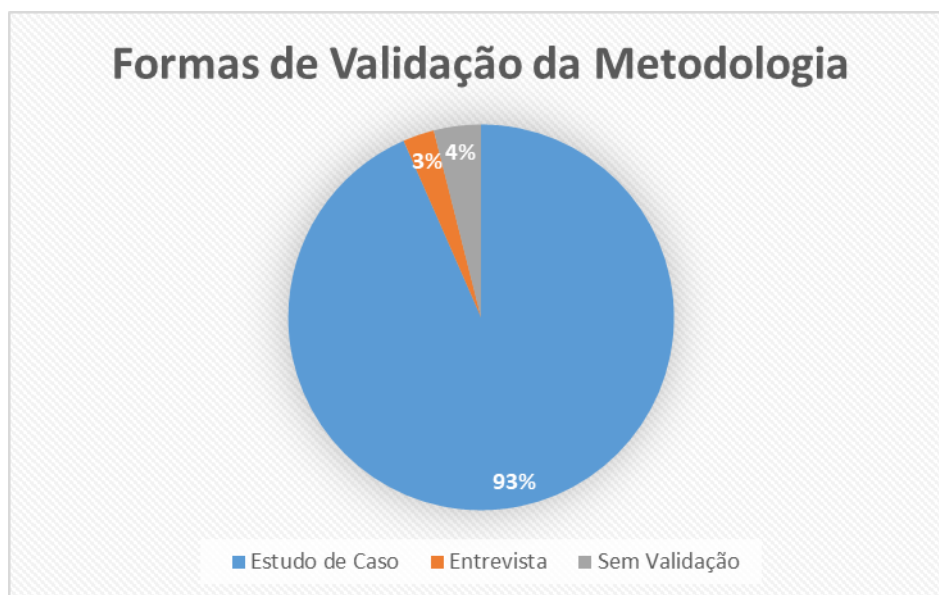
Outro ponto a ser salientado é a participação do Brasil nas publicações. Em segundo lugar, o Brasil que não possui uma solução operante de integração BIM-ACV aparece na frente de países mais avançados na área como a Alemanha.

Figura 8: Países das Publicações.



Fonte: Autora (2022)

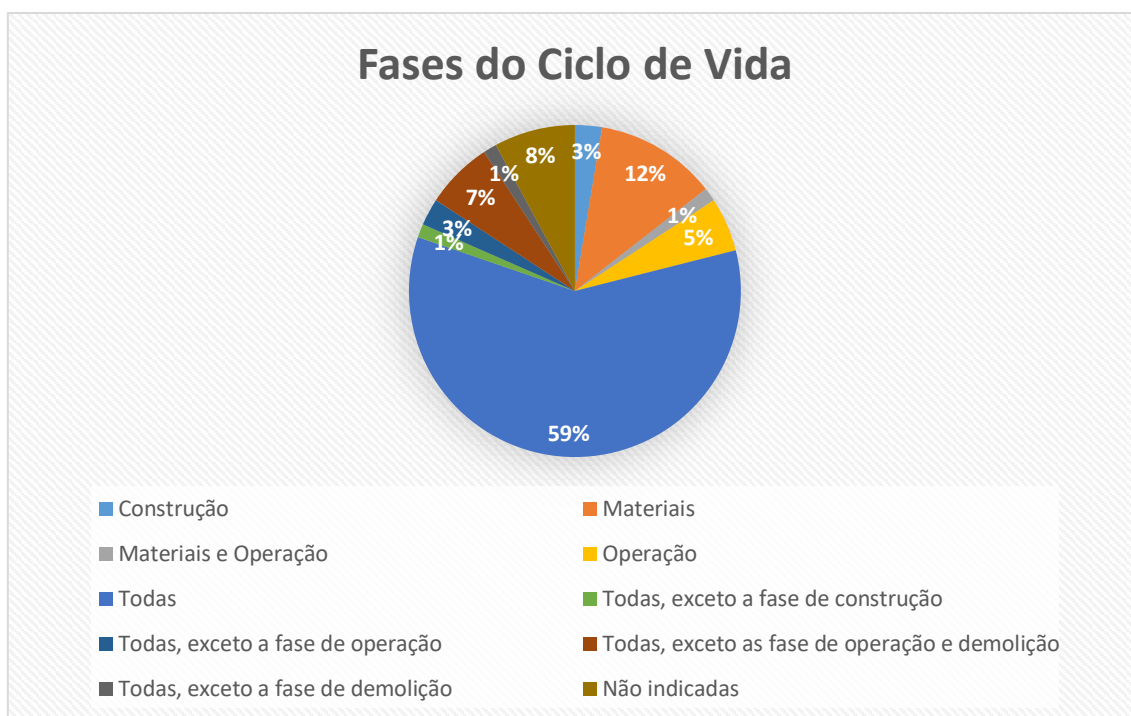
Com base na leitura completa dos artigos finais selecionados, foi possível analisar o conteúdo de forma a entender as formas de validação dos métodos desenvolvidos, fases do ciclo de vida estudadas, os LODs trabalhados, os bancos de dados e as ferramentas utilizadas. Sendo assim, construiu-se os Gráficos a seguir de forma a melhorar o entendimento das soluções adotadas pelos autores.

Figura 9: Formas de Validação dos Métodos Desenvolvidos dos estudos

Fonte: Autora (2022)

Na Figura 9, pode-se visualizar que a maioria dos métodos desenvolvidos foram testados com estudos de caso para validar seu desempenho. Apesar de ter sido quase 100% dos casos, houve ainda estudos que realizaram entrevistas (3%) para sua avaliação e 4% dos estudos não validaram seus métodos.

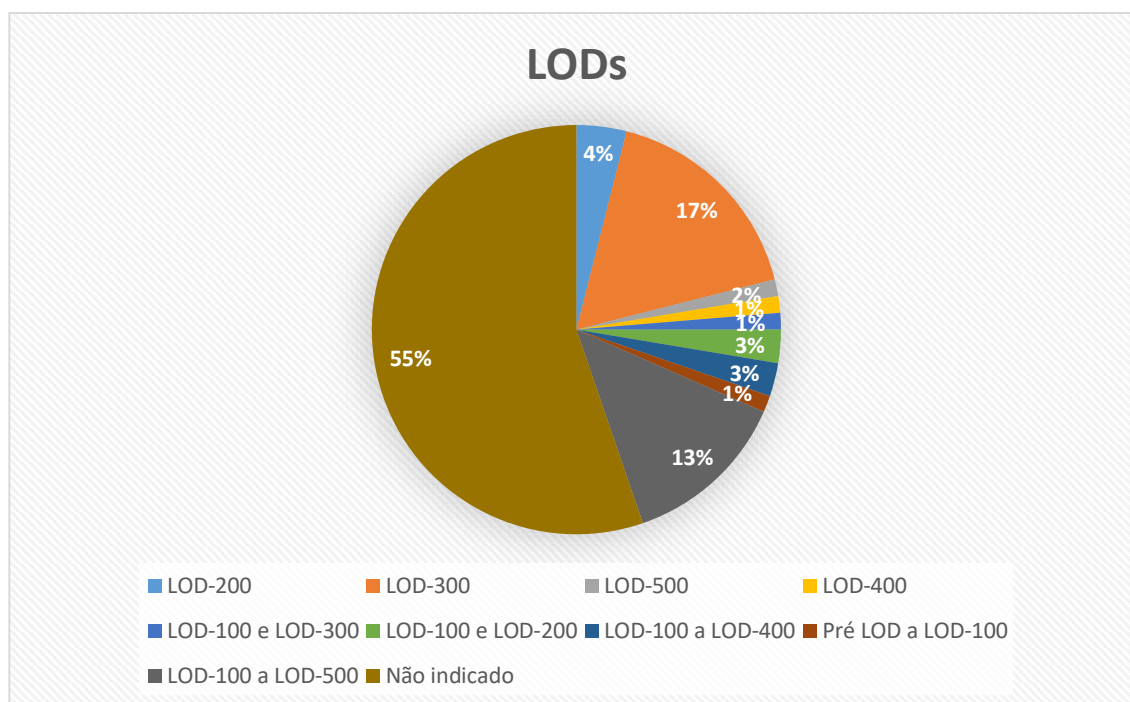
Na Figura 10, é perceptível que grande parte dos estudos analisados (59%) levaram em consideração todas as fases do ciclo de vida. Nas demais pesquisas 12% focaram na fase de materiais, 7% consideraram todas exceto a fase de operação e demolição e 8% não indicaram as fases do ciclo de vida que analisaram.

Figura 10: Fases do Ciclo de Vida analisadas

Fonte: Autora (2022)

Além disso, é possível perceber a variabilidade dos LODs trabalhados, sendo que 13% fizeram uma análise de todos os LODs, acompanhando o avanço do projeto, 17% focaram no LOD 300 que é o mais comum de ser utilizado segundo a Literatura (devido ao nível das informações disponíveis) e 55% não indicaram os LODs trabalhados.

Figura 11: LODs analisados nos estudos

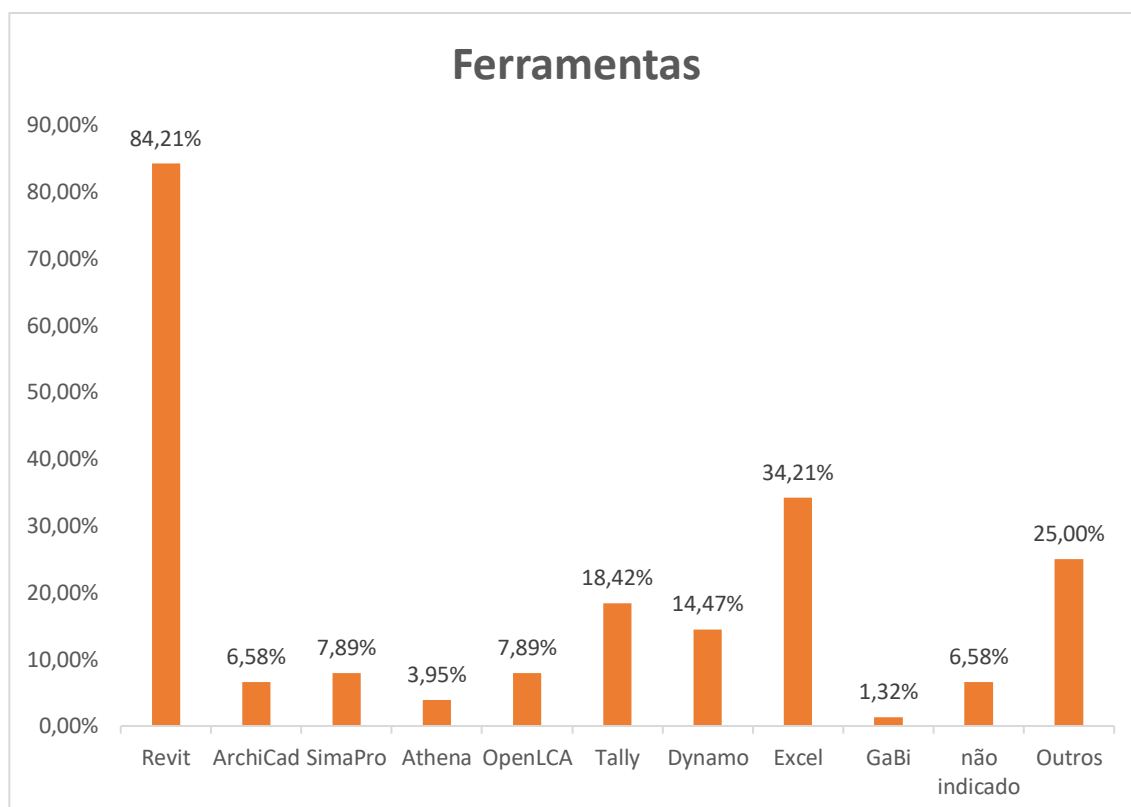


Fonte: Autora (2022)

De outra forma, na Figura 11 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, lista as ferramentas de softwares utilizadas no desenvolvimento dos métodos de cada publicação. Quase 85% dos estudos utilizaram o Revit como software responsável pelo modelo 3D parametrizado. Além disso, o Dynamo (14,47%), Tally (18,42%) e o Excel (34,21%) são as três ferramentas mais utilizadas. O Dynamo é utilizado na criação de rotinas automáticas dentro do Revit, assim como o Tally é um plug-in desenvolvido também para esse software. O Excel é usado para desenvolvimento de planilhas e organização das informações necessárias para o desenvolvimento da integração BIM-ACV.

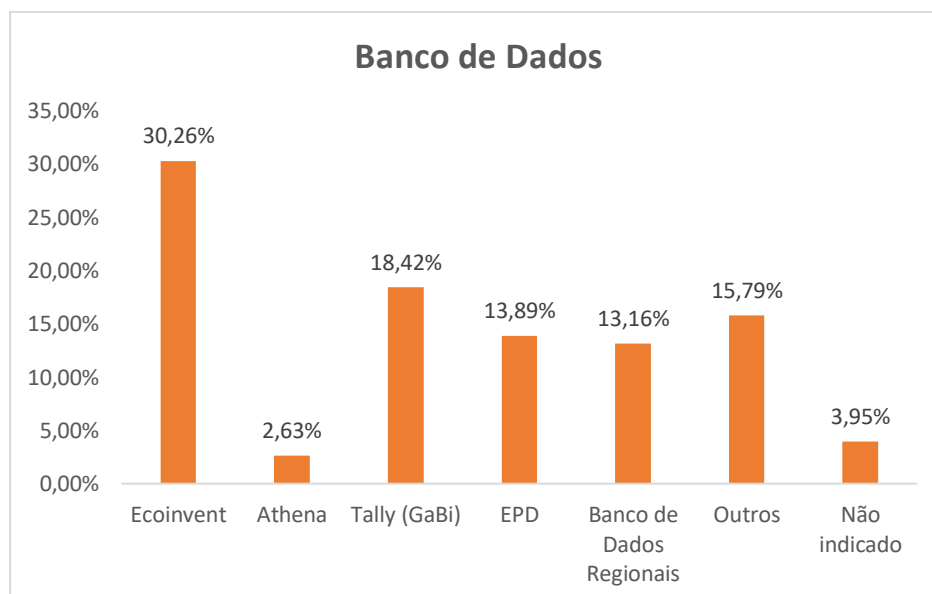
Com relação aos bancos de dados utilizados, a Figura 12 indica como principal o Ecoinvent (30,26%) seguido pelo Tally (18,42%) e por último A Declaração Ambiental de Produto - EDP (13,89%). O Ecoinvent, assim como o Tally são banco de dados genéricos, o que causa incerteza nos resultados.

Figura 12: Ferramentas utilizadas nos estudos.



Fonte: Autora (2022)

Figura 13: Banco de dados utilizados nos estudos.



Fonte: Autora (2022)

4.1.2 DISCUSSÃO SOBRE OS MÉTODOS DE INTEGRAÇÃO BIM-ACV ENCONTRADOS NA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Como já definido no protocolo da RSL no Quadro 4, o objetivo da pesquisa foi encontrar e analisar quais são os métodos de integração BIM-ACV da literatura com suas potencialidades e limitações. Dessa maneira, neste item serão analisados criticamente os artigos selecionados buscando compreender os aspectos mais significantes dos estudos para esta pesquisa.

Primeiramente, é importante destacar que devido a metodologia de busca dos artigos da RSL (definido também no protocolo da Quadro 2), todos os artigos tiveram o mesmo objetivo de desenvolver uma estrutura de integração BIM-ACV que possa ser usada por tomadores de decisão e partes interessadas do projeto para selecionar a alternativa mais sustentável e que tem menores impactos ambientais incorporados.

Com relação aos métodos desenvolvidos, estes trabalharam com conjuntos de ferramentas que atuam de maneira a se complementar para desenvolver análises ambientais. Os artigos realizaram estudos de caso para avaliar as metodologias desenvolvidas e, apesar das limitações que serão discutidas posteriormente, encontraram resultados satisfatórios com relação a aplicação.

Dessa forma, a seguir será realizado uma análise mais profunda sobre os estudos encontrados, afim de discutir suas particularidades com relação as estratégias adotadas e possibilitar a construção da matriz avaliativa no item 4.2.

Soust-Verdaguer et al. (2018), Lee et al. (2021) e Palumbo et al. (2020) utilização como recurso a elaboração de um template para o modelo BIM, no qual será utilizado para modelar o projeto, contendo todas as informações referentes ao projeto e ao estudo de ACV. Dessa forma, os dados de ACV são inseridos e organizados no modelo BIM, enriquecendo-o, e possibilitando as análises de sustentabilidade. Os resultados são obtidos rapidamente, vários tipos de desempenho ambiental podem ser considerados sem vinculação a outros programas, reduz-se possíveis erros ou inconsistência de dados e auxilia na seleção de produtos e materiais adequados. Com relação as limitações do método, este pode gerar problemas nos LODs iniciais, no qual não se apresenta

todas as informações que são necessárias, além de ser necessário constantes atualizações do template. Dessa forma, esse tipo de recurso é crucial para a realização da integração, visto que alimentar o modelo de projeto com as informações de ACV aumenta a confiabilidade dos resultados encontrados. Por conta disso, este recurso acabou aparecendo como uma base nos demais métodos de integração BIM-ACV que ainda serão discutidos.

Um outro recurso que também será muito utilizado nos métodos mais elaborados de integração, são as Planilhas de Excel para centralizar informações e realizar o cálculo dos impactos ambientais. Em Abouhamad et al. (2021), Soust-Verdaguer et al. (2020), Yao et al. (2020), Su et al. (2020), Veselka et al. (2020), Ansah et al. (2020), Cheng et al. (2020), Lu et al. (2019), Cavalliere et al. (2019), Cheng et al. (2022), Lu et al. (2022), Dauletbek et al. (2022) e Yang et al. (2018), utilizaram-se apenas um software BIM para a modelagem dos projetos e alimentação de dados de ACV (templates enriquecidos como retratado anteriormente) e planilhas de Excel para receber os dados referentes aos bancos de dados e os quantitativos exportados do modelo, para assim quantificar os impactos ambientais gerados pelas soluções adotadas. Tais planilhas são vinculadas ao modelo BIM e, portanto, qualquer alteração no projeto, automaticamente se atualiza o cálculo dos impactos ambientais. Dessa forma, o BIM fornece uma abordagem eficaz para coletar dados de inventário para o ciclo de vida de um edifício, aumentando significativamente o nível de detalhes do modelo ACV. Além disso, a estrutura proposta é universal e, portanto, aceita diversos bancos de dados para atender as necessidades do projeto. Por conta disso, essa estratégia também se apresentará como um complemento para outros métodos mais complexos, como por exemplo os que utilizam Softwares de ACV e a Linguagem de Programação Visual para tratamento dos dados. O problema com relação a esta abordagem, são as etapas manuais de inserção de dados que são passíveis a erros e demandam tempo para sua realização. Dentre estes trabalhos, o estudo de Cavalliere et al. (2019) fica em destaque, visto que este trabalhou com a variação de diferentes bancos de em função de cada LOD, possibilitando assim, que o cálculo dos impactos ambientais seja acompanhado ao longo de todo o processo de projeto. A principal solução adotada para as fases iniciais (LOD100-LOD200) foi a utilização de valores máximos e mínimos

de impacto de cada elemento e para o pré LOD, foi adotado valores médios de impacto por m². Sendo assim, é possível acompanhar durante o projeto os impactos gerados pelas soluções e, portanto, manter o foco na sustentabilidade. Apesar do resultado satisfatório, as simplificações e aproximações dos valores podem gerar resultados superestimados. Outro ponto interessante que merece ressaltar, foi a utilização do software GTJ 2018 no estudo de Cheng et al. (2022). Este software importa qualquer modelo 3D e retira seus quantitativos. Assim, não há dependência se se utilizar apenas o Revit para a modelagem dos projetos, por exemplo. Porém, essa importação utilizando o IFC, pode acarretar perda de informações e quantitativos incompletos.

No estudo de Hollberg et al. (2020) contempla-se a combinação entre diversos recursos: desenvolvimento de templates, exportação dos quantitativos do modelo para Planilhas de Excel (concentração de informações) e a Programação Visual para tratamento destes dados exportados. Assim, com a programação visual desenvolvida, é possível conectar as informações aos conjuntos de dados de ACV disponíveis resultando nos impactos ambientais gerados pela solução. Essa rotina desenvolvida pelos autores realiza todo esse processo de forma ágil e rápida, podendo ser aplicada para quaisquer parâmetros de ACV. Porém, vale ressaltar que pode haver dificuldades por parte da rotina elaborada de encontrar dados referentes a alguns componentes dos elementos que constituem a edificação.

Assim como Hollberg et al. (2020), Ansah et al. (2021), Van Eldik et al. (2020), Barbini et al. (2020), Kiamili et al. (2020), Rock et al. (2018), Politi et al. (2018), Naneva et al. (2020), Oreto et al. (2022), Latas et al. (2022) e Bueno et al. (2018) também utilizaram a combinação apontada. Assim o modelo do projeto foi desenvolvido no Revit para exportação dos quantitativos e o Dynamo foi utilizado para criar um algoritmo que integre os dados do modelo e da ACV, possibilitando a avaliação da solução desenvolvida. O algoritmo desenvolvido no Dynamo permite que as informações sejam atualizadas conforme a evolução do projeto. As diferenças encontradas nesses estudos estão relacionadas ao tratamento das informações com relação aos bancos de dados. Enquanto Ansah et al. (2021), Bueno et al. (2018), Barbini et al. (2020), Politi et al. (2018), Oreto

et al. (2022), Latas et al. (2022) e Kiamili et al. (2020) utilizaram bancos de dados genéricos e declarações ambientais de produtos, os demais utilizaram bancos de dados regionais que melhor atendiam ao local no qual o projeto estava inserido. Assim, foi possível automatizar o processo, agilizando a análise dos impactos ambientais e possibilitando que isso seja feito ao longo de todo o processo de projeto, independente do LOD aplicado, contemplando todas as fases do ciclo de vida e qualquer tipo de construção. Além disso, a avaliação dos impactos é feita de forma contínua, conforme o projeto vai sendo alterado. Com relação as limitações encontradas nestes trabalhos, estas estão interligadas ao fato da perda de dados na troca de informações, adequação dos dados para atender as ferramentas utilizadas, dependência da correta inserção de dados no modelo BIM, além da dificuldade de se encontrar banco de dados que de fato atendam com as informações necessárias do projeto. Vale ressaltar também que tanto os resultados quanto a linguagem de programação utilizada são complexos para o entendimento e, portanto, requerem um maior grau de conhecimento para seu desenvolvimento e aplicação.

Uma outra possibilidade é retratada nos estudos de Feng et al. (2020), Najjar et al. (2019), Panteli et al. (2018), Cavalliere et al. (2018), Lu et al. (2017), Crippa et al. (2018), Najjar et al. (2022), Tavares et al. (2022), Morsi et al. (2022) e Rezaei et al. (2019) que propuseram uma estrutura de integração BIM-ACV utilizando a exportação de quantitativos de um modelo BIM enriquecido e os softwares de ACV. Nestes casos, a modelagem BIM ocorreu no Revit (exceto Crippa et al. (2018) que utilizou o ArchiCad) e um software específico para execução de ACV, sendo o SimaPro o mais utilizado, seguido pelo openLCA e por último o EcoHestia e One click LCA. Assim, nestes estudos, exportou-se os quantitativos do modelo BIM para o software de ACV de forma que estes dados estejam adequados na unidade requerida pelo software (em planilhas de Excel), possibilitando o cálculo e a análise dos impactos ambientais do ciclo de vida ao longo de todo o processo de projeto. Nas ferramentas de ACV utilizadas, o banco de dados escolhido foi o disponível no software que é o Ecoinvent. Este método, possibilita que as análises sejam feitas desde as etapas iniciais, conduzindo o estudo para todo o ciclo de vida e para qualquer LOD e apresentando resultados de forma rápida além de possibilitar a visualização dos itens que causam os

maiores impactos ambientais. Além disso, problemas relacionados a interoperabilidade entre as ferramentas e banco de dados também foram identificados, além da necessidade de uma demanda maior de tempo por conta das fases manuais de inserção de dados e adequação dos mesmos para a unidade compatível com o software.

A utilização de plug-ins se apresenta como um recurso de fácil aplicação. Esse tipo é combinado com a criação de templates, visto que é necessário alimentar o modelo com as informações de ACV necessárias para que seja possível processar o plug-in dentro do próprio modelo BIM. No caso de plug-ins “prontos”, os estudos de Bianchi et al. (2021), Tushar et al. (2021), Asare et al. (2020), Carvalho et al. (2020), Phillips et al. (2020), Najjar et al. (2019), Zainon et al. (2019), Bueno et al. (2018), Najjar et al. (2017), Al-Ghamdi et al. (2017), Schultz et al. (2016), Martins et al. (2020), Tushar et al. (2022), Cheng et al. (2022) e Raouf et al. (2020) utilizam o Tally, que foi desenvolvido para o Revit como forma de integração BIM-ACV. Já no caso de Sravani et al. (2022) utilizou-se o One Click LCA, que também funciona como um plug-in do próprio Revit, facilitando o processo e a visualização dos resultados. Então, de maneira geral, os projetos são modelados no software BIM e estes plug-ins que apresentam seu próprio banco de dados, gera o relatório com os resultados da ACV. Essa forma de integração possibilita um fluxo de trabalho intuitivo dentro de uma única ferramenta, agilizando o processo, evitando erros manuais, geração de cenários para comparação e análise de soluções além de gerar os resultados conforme o projeto vai sendo desenvolvido. Entretanto, apesar das facilidades do uso do plug-in, este utiliza um banco de dados genérico que não contempla todas as informações de projeto acarretando soluções que não condizem com a realidade. Além disso, não há a possibilidade de integrar outros bancos de dados que poderiam complementar os dados de entrada da ACV.

Ainda dentro desse tipo de recurso, uma outra possibilidade utilizada por outros autores foi o desenvolvimento próprio, por meio de linguagens de programação mais complexas, de sistemas e plug-ins para servir de apoio na integração BIM-ACV, de acordo com a necessidade do projeto. Nos estudos de Alwan et al. (2021) e Shadram et al. (2016), o plug-in atuou integrando as

informações do modelo BIM (quantitativo e dados) com o banco de dados de ACV, calculando os impactos ambientais gerados pela solução. Zimmermann et al. (2021) e Jalaei et al. (2020), desenvolveram o plug-in para atuar dentro do software de ACV, recebendo os dados advindos do BIM, compatibilizando-os e processando as informações referente aos impactos. Uma outra maneira testada foi o plug-in atuando dentro do próprio software BIM, recebendo as informações dos bancos de dados e processando os relatórios dos dados de saída referente aos impactos ambientais. Esta última estratégia foi tratada pelos seguintes estudos: Abbasi et al. (2021), Sameer et al. (2021), Jalaei et al. (2021), Santos et al. (2020), Horn et al. (2020), Theiben et al. (2020), Santos et al. (2019), Sandberg et al. (2019), Xu et al. (2019), Nizam et al. (2018), Marzouk et al. (2017), Alireza et al. (2017), Wang et al. (2022) e Djuedja et al. (2021). Assim, os protótipos desenvolvidos apresentam como potencialidades a fácil aplicação em qualquer LOD, a troca de informações é aberta oferecendo suporte a uma ampla gama de softwares para os modelos digitais, automação dos processos agiliza as etapas e evita erros, minimiza o enviesamento causado pela tendência de cada parte a assumir uma maior importância aos fatores associados, é aproveitado as capacidades do BIM para disponibilizar dados customizados sobre as características dos elementos de construção e ainda conta uma flexibilidade de fontes de dados que podem ser adaptadas de acordo com a necessidade dos projetos. Apesar das inúmeras facilidades que desenvolver um sistema próprio oferece, esta abordagem apresenta um grau de complexidade maior para seu desenvolvido além de possíveis perdas de informações em cada etapa. Além disso, há a incapacidade de editar as informações do sistema e, portanto, o mesmo deve ser atualizado sempre que for necessário realizar alterações.

Por último, vale ressaltar que alguns estudos realizaram propostas mais conceituais. Em Durão et al. (2020) discutiu-se a complexidade e profundidade da informação de ACV necessária para objetos BIM, considerando diferentes LOD e propondo uma parametrização da informação ambiental a ser incluída em objetos BIM de acordo com seu LOD. Para isso, inicialmente foi realizada uma revisão da literatura sobre metodologia de ACV, fontes de informação ACV, integração de ACV em BIM e LOD de objetos BIM, em seguida foi feito a

caracterização detalhada dos diferentes tipos de fontes de informação ACV a serem incluídos em modelos BIM. Essas etapas contribuíram para o desenvolvimento da proposta de parametrização dos dados ambientais. Já em Gardezi et al. (2019), procurou-se implementar a integração da regressão múltipla estatística e modelagem virtual 3D (BIM) em uma ACV para propor uma ferramenta de previsão de CO₂ para a fase de operação. Assim, diferentes parâmetros de contribuição envolvidos na construção de moradias foram identificados, analisados e combinados para gerar um modelo dinâmico de previsão da pegada de carbono. Ambas as soluções contribuíram com informações que servem de base para a tomada de decisão durante o desenvolvimento do projeto, porém nenhum dos estudos validou sua metodologia em um estudo de caso real.

Dessa forma, todos os artigos propuseram, portanto, um método de integração BIM-ACV e utilizaram um estudo de caso ou entrevistas para aplicar e avaliar a metodologia. Além disso, percebeu-se que a criação de planilhas de Excel bem como de templates são os recursos mais utilizados como uma base necessárias para combinar e compor os métodos de integração BIM-ACV mais elaborados e completos. As potencialidades gerais dos métodos englobam a possibilidade de aplicação em todas as fases de projeto, bem como a possibilidade de realizar simulações com diferentes soluções de forma automática e prática. Porém grande parte dos estudos apontou dificuldades de interoperabilidade entre as ferramentas, perda de dados e dificuldade de se encontrar bancos de dados adequados ao projeto.

4.2 MATRIZ AVALIATIVA

Após a análise crítica, desenvolveu-se a matriz avaliativa com o objetivo de apresentar e caracterizar os aspectos encontrados nas metodologias desenvolvidas nos estudos selecionados. Tal caracterização dos estudos abordou informações sobre a identificação e os aspectos específicos dos artigos. Assim, a matriz pode ser analisada a seguir.

Quadro 7: Matriz Avaliativa

MATRIZ AVALIATIVA															
IDENTIFICAÇÃO DO ARTIGO			ASPECTOS ESPECÍFICOS DOS ARTIGOS												
Autores	Título	Ano	LOD	Ferramentas utilizadas	Fase do ciclo de vida	Banco de Dados	Recurso Tipo 1: Templates	Recurso Tipo 2: Softwares de ACV	Recurso Tipo 3: Programação Visual	Recurso Tipo 4: Excel	Recurso Tipo 5: Plug-ins Prontos	Recurso Tipo 6: Criação de Plug-ins	Recurso Tipo 7: Extração de Quantitativos	Potencialidades	Limitações
Lee S., Tae S., Jang H., Chae C.U., Bok Y.	Development of building information modeling template for environmental impact assessment	2021	LOD 300	Revit	Materiais e Operação	DPA (Declarações de Produto Ambiental)	x							Resultados são obtidos rapidamente; vários tipos de desempenho ambiental podem ser considerados sem vinculação a outros programas; redução de possíveis erros ou inconsistência de dados; auxílio na seleção de produtos e materiais adequados	Problemas nos LODs iniciais no qual não se apresenta todas as informações que são necessárias; necessidade de constantes atualizações do template.
Palumbo E., Soust-Verdaguer B., Llatas C., Traverso M.	How to obtain accurate environmental impacts at early design stages in BIM when using environmental product declaration. A method to support decision-making	2020	LOD100-400	Revit e Excel	Todas	DPA (Declarações de Produto Ambiental)	x			x					
Soust-Verdaguer B., Llatas C., García-Martínez A., Gómez De Cózar J.C.	BIM-Based LCA Method to Analyze Envelope Alternatives of Single-Family Houses: Case Study in Uruguay	2018	LOD 300	ArchiCAD e Excel	Operação	Ecoinvent	x			x					
Baoquan Cheng, Jianling Huang, Kun Lu, Jianchang Li, Guangbo Gao, Tingpeng Wang, Huihua Chen	BIM-enabled life cycle assessment of concrete formwork waste reduction through prefabrication	2022	-	GTJ 2018	Construção	-	x						X	Abordagem eficaz para coleta de dados de inventário para o ciclo de vida de um edifício, aumentando significativamente o nível de detalhes do modelo ACV. Além disso, a estrutura proposta é universal	Etapas manuais de inserção de dados que são passíveis a erros e demandam tempo para sua realização

MATRIZ AVALIATIVA															
IDENTIFICAÇÃO DO ARTIGO			ASPECTOS ESPECÍFICOS DOS ARTIGOS												
Autores	Título	Ano	LOD	Ferramentas utilizadas	Fase do ciclo de vida	Banco de Dados	Recurso Tipo 1: Templates	Recurso Tipo 2: Softwares de ACV	Recurso Tipo 3: Programação Visual	Recurso Tipo 4: Excel	Recurso Tipo 5: Plug-ins Prontos	Recurso Tipo 6: Criação de Plug-ins	Recurso Tipo 7: Extração de Quantitativos	Potencialidades	Limitações
Baoquan Cheng, Kun Lu, Jianchang Li, Huihua Chen, Xiaowei Luo, Muhammad Shafique	Comprehensive assessment of embodied environmental impacts of buildings using normalized environmental impact factors	2022	LOD 300	Revit e Excel	Todas	GaBi	x	x		x			X	e, portanto, aceita diversos bancos de dados para atender as necessidades do projeto	
Assima Dauletbek, Peiguo Zhou	BIM-based LCA as a comprehensive method for the refurbishment of existing dwellings considering environmental compatibility	2022	LOD 300	Revit e Excel	Todas	Ecoinvent	x			x			X		
Abouhamad M., Abu-Hamd M.	Life cycle assessment framework for embodied environmental impacts of building construction systems	2021	LOD100-200	Software estrutural BIM e Excel	Todas	DPA (Declarações de Produto Ambiental)	x			x			X		
Soust-Verdaguer B., Llatas C., Moya L.	Comparative BIM-based Life Cycle Assessment of Uruguayan timber and concrete-masonry single-family houses in design stage	2020	LOD 300	ArchiCAD e Excel	Todas	Ecoinvent	x			x			X		

MATRIZ AVALIATIVA															
IDENTIFICAÇÃO DO ARTIGO			ASPECTOS ESPECÍFICOS DOS ARTIGOS												
Autores	Título	Ano	LOD	Ferramentas utilizadas	Fase do ciclo de vida	Banco de Dados	Recurso Tipo 1: Templates	Recurso Tipo 2: Softwares de ACV	Recurso Tipo 3: Programação Visual	Recurso Tipo 4: Excel	Recurso Tipo 5: Plug-ins Prontos	Recurso Tipo 6: Criação de Plug-ins	Recurso Tipo 7: Extração de Quantitativos	Potencialidades	Limitações
Yao F., Liu G., Ji Y., Tong W., Du X., Li K., Shrestha A., Martek I.	Evaluating the environmental impact of construction within the industrialized building process: A monetization and building information Modeling approach	2020	LOD 500	Revit e Excel	Construção	Banco de dados local (Chinês)	x			x			X		
Su S., Wang Q., Han L., Hong J., Liu Z.	BIM-DLCA: An integrated dynamic environmental impact assessment model for buildings	2020	LOD 300	Revit e Excel	Todas	Glodon Bill of Quantity; Autodesk GBS	x			x			X		
Veselka J., Nehasilová M., Dvořáková K., Ryklová P., Volf M., Růžička J., Lupíšek A.	Recommendations for developing a BIM for the purpose of LCA in green building certifications	2020	-	Revit, Excel e Open Click LCA	Todas	One Click LCA (EPD)	x	x		x			X		
Santos R., Costa A.A., Silvestre J.D., Vandenberghe T., Pyl L.	BIM-based life cycle assessment and life cycle costing of an office building in Western Europe	2020	-	Revit e Excel	Todas	Ecoinvent, ÖKOBAUDAT e DPAs	x			x			X		
Ansah M.K., Chen X., Yang H., Lu L., Lam P.T.I.	An integrated life cycle assessment of different façade systems for a typical residential building in Ghana	2020	todos	Revit e Excel	Todas	ICE	x			x			X		

MATRIZ AVALIATIVA															
IDENTIFICAÇÃO DO ARTIGO			ASPECTOS ESPECÍFICOS DOS ARTIGOS												
Autores	Título	Ano	LOD	Ferramentas utilizadas	Fase do ciclo de vida	Banco de Dados	Recurso Tipo 1: Templates	Recurso Tipo 2: Softwares de ACV	Recurso Tipo 3: Programação Visual	Recurso Tipo 4: Excel	Recurso Tipo 5: Plug-ins Prontos	Recurso Tipo 6: Criação de Plug-ins	Recurso Tipo 7: Extração de Quantitativos	Potencialidades	Limitações
Cheng B., Li J., Tam V.W.Y., Yang M., Chen D.	A BIM-LCA approach for estimating the greenhouse gas emissions of large-scale public buildings: A case study	2020	-	Revit e Excel	Todas	-	x			x			X		
Lu K., Jiang X., Tam V.W.Y., Li M., Wang H., Xia B., Chen Q.	Development of a carbon emissions analysis framework using building information modeling and life cycle assessment for the construction of hospital projects	2019	LOD 300	Revit e Excel.	Todas	Banco de dados Chinês: CNKI	x			x			X		
Cavalliere C., Habert G., Dell'Osso G.R., Hollberg A.	Continuous BIM-based assessment of embodied environmental impacts throughout the design process	2019	LOD100-400	Rhinoceros e Excel	Todas	KBOB	x			x			X		
Yang X., Hu M., Wu J., Zhao B.	Building-information-modeling enabled life cycle assessment, a case study on carbon footprint accounting for a residential building in China	2018	LOD 300	Revit e Excel	Todas	Ecoinvent e eBalance	x			x			X		

MATRIZ AVALIATIVA															
IDENTIFICAÇÃO DO ARTIGO			ASPECTOS ESPECÍFICOS DOS ARTIGOS												
Autores	Título	Ano	LOD	Ferramentas utilizadas	Fase do ciclo de vida	Banco de Dados	Recurso Tipo 1: Templates	Recurso Tipo 2: Softwares de ACV	Recurso Tipo 3: Programação Visual	Recurso Tipo 4: Excel	Recurso Tipo 5: Plug-ins Prontos	Recurso Tipo 6: Criação de Plug-ins	Recurso Tipo 7: Extração de Quantitativos	Potencialidades	Limitações
Cristina oretto, Salvatore Anton lo Biancardo, Ros A Verop Alumbo, Nunzio Viscione, Francesca Russo, Francesco Abbondati & Gianluca Dell'acqua	Bim-lca integration framework for sustainable road pavement maintenance practices	2022	-	Revit, Dynamo e Excel	Materiais e Construção	Ecoinvent	x		x	x			X	Automatiza o processo, agilizando a análise dos impactos ambientais e possibilitando que isso seja feito ao longo de todo o processo de projeto, independente do LOD aplicado, contemplando todas as fases do ciclo de vida e qualquer tipo de construção. Além disso, a avaliação dos impactos é feita de forma contínua, conforme o projeto vai sendo alterado	Perda de dados na troca de informações, adequação dos dados para atender as ferramentas utilizadas, dependência da correta inserção de dados no modelo BIM, além da dificuldade de se encontrar banco de dados que de fato atendam com as informações necessárias do projeto. Vale ressaltar também que tanto os resultados quanto a linguagem de programação utilizada são complexos para o entendimento e, portanto, requerem um maior grau de conhecimento para seu desenvolvimento e aplicação
Carmen LLatas, Bernardette Soust-Verdaguer, Alexander Hollberg, Elisabetta Palumbo, Rocío Quinones	BIM-based LCSA application in early design stages using IFC	2022	LOD 200	Revit, Dynamo e Excel	Materiais e Construção	Ecoinvent	x		x	x			X		
Ansah M.K., Chen X., Yang H., Lu L., Lam P.T.I.	Developing an automated BIM-based life cycle assessment approach for modularly designed high-rise buildings	2021	Todos	Revit, Dynamo e Excel	Todas	Ecoinvent e Demanda Cumulativa de Energia (CED)	x		x	x			X		
van Eldik M.A., Vahdatikhaki F., dos Santos J.M.O., Visser M., Doree A.	BIM-based environmental impact assessment for infrastructure design projects	2020	-	Revit, Dynamo e Excel	Materiais	Banco de dados holandês	x		x	x			X		

MATRIZ AVALIATIVA															
IDENTIFICAÇÃO DO ARTIGO			ASPECTOS ESPECÍFICOS DOS ARTIGOS												
Autores	Título	Ano	LOD	Ferramentas utilizadas	Fase do ciclo de vida	Banco de Dados	Recurso Tipo 1: Templates	Recurso Tipo 2: Softwares de ACV	Recurso Tipo 3: Programação Visual	Recurso Tipo 4: Excel	Recurso Tipo 5: Plug-ins Prontos	Recurso Tipo 6: Criação de Plug-ins	Recurso Tipo 7: Extração de Quantitativos	Potencialidades	Limitações
Barbini A., Malacarne G., Romagnoli K., Massari G.A., Matt D.T.	Integration of life cycle data in a BIM object library to support green and digital public procurements	2020	-	Revit, Dynamo e Excel	Todas	DPA (Declarações de Produto Ambiental)	x		x	x			X		
Naneva A., Bonanomi M., Hollberg A., Habert G., Hall D.	Integrated BIM-based LCA for the entire building process using an existing structure for cost estimation in the Swiss context	2020	Pré LOD-LOD200	Revit, Dynamo e Excel	Todas	KBOB e Bauteilkatalog	x		x	x			X		
Kiamili C., Hollberg A., Habert G.	Detailed assessment of embodied carbon of HVAC systems for a new office building based on BIM	2020	LOD 300	Revit, Dynamo e Excel	Todas	KBOB e Ecoinvent	x		x	x			X		
Hollberg A., Genova G., Habert G.	Evaluation of BIM-based LCA results for building design	2020	Todos	Revit, Dynamo e Excel	Todas	-	x		x	x			X		
Bueno C., Pereira L.M., Fabricio M.M.	Life cycle assessment and environmental-based choices at the early design stages: an application using building information Modeling	2018	-	Revit, Dynamo e Excel	Todas	Gabi e Ecoinvent	x	x	x	x			X		

MATRIZ AVALIATIVA															
IDENTIFICAÇÃO DO ARTIGO			ASPECTOS ESPECÍFICOS DOS ARTIGOS												
Autores	Título	Ano	LOD	Ferramentas utilizadas	Fase do ciclo de vida	Banco de Dados	Recurso Tipo 1: Templates	Recurso Tipo 2: Softwares de ACV	Recurso Tipo 3: Programação Visual	Recurso Tipo 4: Excel	Recurso Tipo 5: Plug-ins Prontos	Recurso Tipo 6: Criação de Plug-ins	Recurso Tipo 7: Extração de Quantitativos	Potencialidades	Limitações
Röck M., Hollberg A., Habert G., Passer A.	LCA and BIM: Visualization of environmental potentials in building construction at early design stages	2018	LOD 200	Revit, Dynamo e Excel	Todas	BKP-H	x		x	x			X		
Politi, S; Bergonzoni, G; Cincotta, IWJ; Sampietro, F	LCA Analysis Through a Visual Programming Tool: Workflow on a BIM Model Case Study	2018	LOD 300	Revit, Dynamo e Excel	Todas	DPA (Declarações de Produto Ambiental)	x		x	x			X		
Mohammad K. Najjar, Karoline Figueiredo, Ana Catarina Jorge Evangelista, Ahmed W. A. Hammad, Vivian W. Y. Tam & Assed Haddad	Life cycle assessment methodology integrated with BIM as a decision-making tool at early-stages of building design	2022	-	Revit Open LCA	Todas	Ecoinvent	x	x		x			X	Possibilita que as análises sejam feitas desde as etapas iniciais, conduz o estudo para todo o ciclo de vida e para qualquer LOD, apresenta os resultados de forma rápida além de possibilitar a visualização dos itens que causam os maiores impactos ambientais	Problemas com relação a interoperabilidade entre as ferramentas e banco de dados, além da necessidade de uma demanda maior de tempo por conta das fases manuais de inserção de dados e adequação dos mesmos para a unidade compatível com o software
V. Tavares, F. Freire	Life cycle assessment of a prefabricated house for seven locations in different climates	2022	-	Revit e SimaPro	Todas exceto fim da vida	Ecoinvent	x	x		x		X			
Tata Sravani, Prasanna Venkatesan Ramani, Madhumathi Anbu	A comparative LCA study of passive cooling roof materials for a residential building: An Indian Case study	2022	-	Revit e One Click LCA	Todas	EPD	x	x		x			X		

MATRIZ AVALIATIVA															
IDENTIFICAÇÃO DO ARTIGO			ASPECTOS ESPECÍFICOS DOS ARTIGOS												
Autores	Título	Ano	LOD	Ferramentas utilizadas	Fase do ciclo de vida	Banco de Dados	Recurso Tipo 1: Templates	Recurso Tipo 2: Softwares de ACV	Recurso Tipo 3: Programação Visual	Recurso Tipo 4: Excel	Recurso Tipo 5: Plug-ins Prontos	Recurso Tipo 6: Criação de Plug-ins	Recurso Tipo 7: Extração de Quantitativos	Potencialidades	Limitações
Dalia M.A. Morsi, Walaa S.E. Ismaeel, Ahmed Ehab, Ayman A.E. Othman	BIM-based life cycle assessment for different structural system scenarios of a residential building	2022	LOD 400		Todas	Ecoinvent	x	x		x			X		
Feng H., Liyanage D.R., Karunathilake H., Sadiq R., Hewage K.	BIM-based life cycle environmental performance assessment of single-family houses: Renovation and reconstruction strategies for aging building stock in British Columbia	2020	-	Revit e SimaPro	Todas	-	x	x		x			X		
Rezaei F., Bulle C., Lesage P.	Integrating building information modeling and life cycle assessment in the early and detailed building design stages	2019	LOD100 E LOD300	Revit e openLCA	Todas	Ecoinvent	x	x		x			X		
Najjar M.K., Figueiredo K., Evangelista A.C.J., Hammad A.W.A., Tam V.W.Y., Haddad A.	Life cycle assessment methodology integrated with BIM as a decision-making tool at early-stages of building design	2019	-	Revit e openLCA	Todas	Ecoinvent	x	x		x			X		

MATRIZ AVALIATIVA															
IDENTIFICAÇÃO DO ARTIGO			ASPECTOS ESPECÍFICOS DOS ARTIGOS												
Autores	Título	Ano	LOD	Ferramentas utilizadas	Fase do ciclo de vida	Banco de Dados	Recurso Tipo 1: Templates	Recurso Tipo 2: Softwares de ACV	Recurso Tipo 3: Programação Visual	Recurso Tipo 4: Excel	Recurso Tipo 5: Plug-ins Prontos	Recurso Tipo 6: Criação de Plug-ins	Recurso Tipo 7: Extração de Quantitativos	Potencialidades	Limitações
Panteli C., Kylili A., Stasiulienė L., Seduikyte L., Fokaides P.A.	A framework for building overhang design using Building Information Modeling and Life Cycle Assessment	2018	-	Revit e EcoHestia	Todas, exceto operação e demolição	EcoHestia	x	x		x			X		
Crippa J., Boeing L.C., Caparelli A.P.A., da Costa M.R.M.M., Scheer S., Araujo A.M.F., Bem D.	A BIM–LCA integration technique to embodied carbon estimation applied on wall systems in Brazil	2018	-	ArchiCAD e SimaPro	Materiais	Ecoinvent	x	x		x			X		
Cavalliere C., Dell'Osso G.R., Pierucci A., Iannone F.	Life cycle assessment data structure for building information Modeling	2018	-	Revit e SimaPro	Todas	Ecoinvent	x	x		x			X		
Lu Y., Le V.H., Song X.	Beyond Boundaries: A Global Use of Life Cycle Inventories for Construction Materials	2017	-		Todas exceto a operação	Ecoinvent	x	x		x			X		
Baoquan Cheng, Kun Lu, Jianchang Li, Huihua Chen, Xiaowei Luo, Muhammad Shafique	Optimization and BIM-based lifecycle assessment integration for energy efficiency retrofit of buildings	2022	-	Revit e Tally	Todas	Tally (GaBi)	x	x			x			Integração possibilita um fluxo de trabalho intuitivo dentro de uma única ferramenta, agilizando o processo, evitando erros manuais, geração de	Banco de dados genérico que não contempla todas as informações de projeto acarretando em soluções que não condizem com a realidade. Além disso,

MATRIZ AVALIATIVA															
IDENTIFICAÇÃO DO ARTIGO			ASPECTOS ESPECÍFICOS DOS ARTIGOS												
Autores	Título	Ano	LOD	Ferramentas utilizadas	Fase do ciclo de vida	Banco de Dados	Recurso Tipo 1: Templates	Recurso Tipo 2: Softwares de ACV	Recurso Tipo 3: Programação Visual	Recurso Tipo 4: Excel	Recurso Tipo 5: Plug-ins Prontos	Recurso Tipo 6: Criação de Plug-ins	Recurso Tipo 7: Extração de Quantitativos	Potencialidades	Limitações
Quddus Tushar, Muhammed A. Bhuiyan, Guomin Zhang	Energy simulation and modeling for window system: A comparative study of life cycle assessment and life cycle costing	2022	-	Revit e Tally	Todas	Tally (GaBi)	x	x			x			cenários para comparação e análise de soluções além de gerar os resultados conforme o projeto vai sendo desenvolvido	não há a possibilidade de integrar outros bancos de dados que poderiam complementar os dados de entrada da ACV
Bianchi P.F., Yepes V., Vitorio P.C., Jr., Kripka M.	Study of alternatives for the design of sustainable low-income housing in Brazil	2021	Todos	Revit e Tally	Todas, exceto operação e demolição	Tally (GaBi)	x	x			x				
Tushar Q., Bhuiyan M.A., Zhang G., Maqsood T.	An integrated approach of BIM-enabled LCA and energy simulation: The optimized solution towards sustainable development	2021	Todos	Revit e Tally	Todas	Tally (GaBi)	x	x			x				
Asare K.A.B., Ruikar K.D., Zanni M., Soetanto R.	BIM-based LCA and energy analysis for optimised sustainable building design in Ghana	2020	-	Revit e Tally	Todas	Tally (GaBi)	x	x			x				
Carvalho J.P., Alecrim I., Bragança L., Mateus R.	Integrating BIM-based LCA and building sustainability assessment	2020	-	Revit e Tally	Todas	Tally (GaBi)	x	x			x				

MATRIZ AVALIATIVA															
IDENTIFICAÇÃO DO ARTIGO			ASPECTOS ESPECÍFICOS DOS ARTIGOS												
Autores	Título	Ano	LOD	Ferramentas utilizadas	Fase do ciclo de vida	Banco de Dados	Recurso Tipo 1: Templates	Recurso Tipo 2: Softwares de ACV	Recurso Tipo 3: Programação Visual	Recurso Tipo 4: Excel	Recurso Tipo 5: Plug-ins Prontos	Recurso Tipo 6: Criação de Plug-ins	Recurso Tipo 7: Extração de Quantitativos	Potencialidades	Limitações
Phillips R., Troup L., Fannon D., Eckelman M.J.	Triple bottom line sustainability assessment of window-to-wall ratio in US office buildings	2020	-	Revit e Tally	Todas	Tally (GaBi) e Ecoinvent	x	x			x				
Najjar M., Figueiredo K., Hammad A.W.A., Haddad A.	Integrated optimization with building information modeling and life cycle assessment for generating energy efficient buildings	2019	-	Revit e Tally	Todas exceto a fase de construção.	Tally (GaBi)	x	x			x				
Zainon N., Lun G.W., Zaid N.S.M., Myeda N.E., Aziz N.M.	Developing a framework for life cycle assessment of construction materials through building information Modeling (BIM)	2019	-	Revit e Tally	-	Tally (GaBi)	x	x			x				
Bueno C., Fabricio M.M.	Comparative analysis between a complete LCA study and results from a BIM-LCA plug-in	2018	-	Revit e Tally	Todas	Tally (GaBi)	x	x			x				
Najjar M., Figueiredo K., Palumbo M., Haddad A.	Integration of BIM and LCA: Evaluating the environmental impacts of building materials at an early stage of designing a typical office building	2017	-	Revit e Tally	Todas	Tally (GaBi)	x	x			x				

MATRIZ AVALIATIVA															
IDENTIFICAÇÃO DO ARTIGO			ASPECTOS ESPECÍFICOS DOS ARTIGOS												
Autores	Título	Ano	LOD	Ferramentas utilizadas	Fase do ciclo de vida	Banco de Dados	Recurso Tipo 1: Templates	Recurso Tipo 2: Softwares de ACV	Recurso Tipo 3: Programação Visual	Recurso Tipo 4: Excel	Recurso Tipo 5: Plug-ins Prontos	Recurso Tipo 6: Criação de Plug-ins	Recurso Tipo 7: Extração de Quantitativos	Potencialidades	Limitações
Al-Ghamdi S.G., Bilec M.M.	Green Building Rating Systems and Whole-Building Life Cycle Assessment: Comparative Study of the Existing Assessment Tools	2017	-	Revit e Tally	Todas	Ecoinvent, Tally (GaBi), Athena e SimaPro	x	x			x				
Schultz J., Ku K., Gindlesparger M., Doerfler J.	A benchmark study of BIM-based whole-building life-cycle assessment tools and processes	2016	-	Revit e Tally	Todas	Tally (GaBi)	x	x			x				
Martins, SS; Evangelista, ACJ; Hammad, AWA; Tam, VWY; Haddad, A	Evaluation of 4D BIM tools applicability in construction planning efficiency	2020	Todos	Revit e Tally	Todas	Tally (GaBi)	x	x			x				
Raouf, AM; Al-Ghamdi, SG	Effect of R-values changes in the baseline codes: Embodied energy and environmental life cycle impacts of building envelopes	2020	-	Revit e Tally	Materiais	Ecoinvent e GaBi	x	x			x				
Jingjing Wang, Jiajia Wei, Zhansheng Liu, Chun Huang, Xiuli Du	Life cycle assessment of building demolition waste based on building information modeling	2022	-	Revit, Excel e Microsoft Visual Studio	-	GaBi	x	x		x		x		fácil aplicação em qualquer LOD, a troca de informações é aberta oferecendo suporte a uma ampla gama de softwares para os modelos	Alto grau de complexidade para desenvolvido dos prototipos, além de possíveis perdas de informações em cada etapa. Além disso, há

MATRIZ AVALIATIVA															
IDENTIFICAÇÃO DO ARTIGO			ASPECTOS ESPECÍFICOS DOS ARTIGOS												
Autores	Título	Ano	LOD	Ferramentas utilizadas	Fase do ciclo de vida	Banco de Dados	Recurso Tipo 1: Templates	Recurso Tipo 2: Softwares de ACV	Recurso Tipo 3: Programação Visual	Recurso Tipo 4: Excel	Recurso Tipo 5: Plug-ins Prontos	Recurso Tipo 6: Criação de Plug-ins	Recurso Tipo 7: Extração de Quantitativos	Potencialidades	Limitações
Alwan Z., Nawarathna A., Ayman R., Zhu M., ElGhazi Y.	Framework for parametric assessment of operational and embodied energy impacts utilising BIM	2021	LOD 300	Revit, Rhino, EnergyPlus, DesignBuilder, Grasshopper e Excel	Operação	ICE	x	x		x		x		digitais, automação dos processos agiliza as etapas e evita erros, minimiza o enviesamento causado pela tendência de cada parte a assumir uma maior importância aos fatores associados, é aproveitado as capacidades do BIM para disponibilizar dados customizados sobre as características dos elementos de construção e ainda conta uma flexibilidade de fontes de dados que podem ser adaptadas de acordo com a necessidade dos projetos.	a incapacidade de editar as informações do sistema e, portanto, o mesmo deve ser atualizado sempre que for necessário realizar alterações.
Abbasi S., Noorzai E.	The BIM-Based multi-optimization approach in order to determine the trade-off between embodied and operation energy focused on renewable energy use	2021	Todos	Revit, Rhinoceros, Navisworks Grasshopper, Athena, plug-ins Honeybee, Ladybug e octopus	Todas exceto operação	-	x	x				x			
Sameer H., Bringezu S.	Building information Modeling application of material, water, and climate footprint analysis	2021	Todos	Revit, openLCA, GaBi e Excel	Todas, exceto operação e demolição	GaBi	x	x				x			
Jalaei F., Zoghi M., Khoshand A.	Life cycle environmental impact assessment to manage and optimize construction waste using Building Information Modeling (BIM)	2021	-	Revit, Naviswork, Athena	Todas	Athena e Banco de dados desenvolvido no estudo	x	x				x			

MATRIZ AVALIATIVA															
IDENTIFICAÇÃO DO ARTIGO			ASPECTOS ESPECÍFICOS DOS ARTIGOS												
Autores	Título	Ano	LOD	Ferramentas utilizadas	Fase do ciclo de vida	Banco de Dados	Recurso Tipo 1: Templates	Recurso Tipo 2: Softwares de ACV	Recurso Tipo 3: Programação Visual	Recurso Tipo 4: Excel	Recurso Tipo 5: Plug-ins Prontos	Recurso Tipo 6: Criação de Plug-ins	Recurso Tipo 7: Extração de Quantitativos	Potencialidades	Limitações
Jalaei F., Guest G., Gaur A., Zhang J.	Exploring the effects that a non-stationary climate and dynamic electricity grid mix has on whole building life cycle assessment: A multi-city comparison	2020	-	Revit, Honeybee e openLCA	Todas	Ecoinvent	x	x				x			
Santos R., Aguiar Costa A., Silvestre J.D., Pyl L.	Development of a BIM-based Environmental and Economic Life Cycle Assessment tool	2020	LOD 200	Revit	Todas	CYPE e Ecoinvent	x					x			
Horn R., Ebertshäuser S., Di Bari R., Jorgji O., Traunspurger R., von Both P.	The BIM2LCA approach: An industry foundation classes (IFC)-based interface to integrate life cycle assessment in integral planning	2020	-	Revit e GENERIS	Materiais	Okobaudat	x					x			
Theißen S., Höper J., Drzymalla J., Wimmer R., Markova S., Meins-Becker A., Lambertz M.	Using open BIM and IFC to enable a comprehensive consideration of building services within a whole-building LCA	2020	LOD 300	Revit, DESITE BIM e LiNear	Todas	ÖKOBAUDAT	x					x			
Santos R., Costa A.A., Silvestre J.D., Pyl L.	Integration of LCA and LCC analysis within a BIM-based environment	2019	-	Revit e Plug-in desenvolvido		EPD da Bélgica e Ecoinvent	x					x			

MATRIZ AVALIATIVA															
IDENTIFICAÇÃO DO ARTIGO			ASPECTOS ESPECÍFICOS DOS ARTIGOS												
Autores	Título	Ano	LOD	Ferramentas utilizadas	Fase do ciclo de vida	Banco de Dados	Recurso Tipo 1: Templates	Recurso Tipo 2: Softwares de ACV	Recurso Tipo 3: Programação Visual	Recurso Tipo 4: Excel	Recurso Tipo 5: Plug-ins Prontos	Recurso Tipo 6: Criação de Plug-ins	Recurso Tipo 7: Extração de Quantitativos	Potencialidades	Limitações
Sandberg M., Mukkavaara J., Shadram F., Olofsson T.	Multidisciplinary optimization of life-cycle energy and cost using a BIM-based master model	2019	-	Revit, ArchiCAD, Grasshopper Ladybug e Tools EnergyPlus	Operação	MySQL	x	x				x			
Xu Z., Wang S., Wang E.	Integration of BIM and Energy Consumption Modeling for Manufacturing Prefabricated Components: A Case Study in China	2019	-	Revit	Todas	-	x					x			
Nizam R.S., Zhang C., Tian L.	A BIM based tool for assessing embodied energy for buildings	2018	-	Revit e Microsoft Visual Studio	Todas, exceto operação e demolição	ICE	x	x				x			
Marzouk M., El-zayat M., Aboushady A.	Assessing environmental impact indicators in road construction projects in developing countries	2017	-	Revit e Athena	Todas	Athena	x	x				x			
Alireza A.F.F., Rashidi T.H., Akbarnezhad A., Waller S.T.	BIM-enabled sustainability assessment of material supply decisions	2017	-	Revit, sistema de suporte à decisão e Excel	-	-	x			x		x			
Shadram F., Johansson T.D., Lu W., Schade J., Olofsson T.	An integrated BIM-based framework for minimizing embodied energy during building design	2016	-	Revit, Feature Manipulation Engine (FME) e Power Pivot	Todas, exceto operação e demolição	DPA (Declarações de Produto Ambiental)	x					x			

MATRIZ AVALIATIVA															
IDENTIFICAÇÃO DO ARTIGO			ASPECTOS ESPECÍFICOS DOS ARTIGOS												
Autores	Título	Ano	LOD	Ferramentas utilizadas	Fase do ciclo de vida	Banco de Dados	Recurso Tipo 1: Templates	Recurso Tipo 2: Softwares de ACV	Recurso Tipo 3: Programação Visual	Recurso Tipo 4: Excel	Recurso Tipo 5: Plug-ins Prontos	Recurso Tipo 6: Criação de Plug-ins	Recurso Tipo 7: Extração de Quantitativos	Potencialidades	Limitações
Zimmermann, RK; Bruhn, S; Birgisdottir, H	BIM-Based Life Cycle Assessment of Buildings-An Investigation of Industry Practice and Needs	2021	Todos	Revit; Rhinoceros; ArchiCAD, Vectorworks e LCAByg	Materiais	Declaração ambiental do produto (DPA) e Ökobaudat	x	x				x			
Djuedja, JFT; Abanda, FH; Kamsu-Foguem, B; Pauwels, P; Magniont, C; Karray, MH	An integrated Linked Building Data system: AEC industry case	2021	LOD100-200	Revit e Programa de Java	Materiais	INIES e Quartz	x					x			

Fonte: Autora (2022)

Com base na matriz avaliativa apresentada anteriormente, foi possível perceber uma maior ocorrência das seguintes abordagens de integração BIM-ACV:

- **Abordagem (1): Exportação de dados do modelo BIM para execução dos estudos de ACV;**
- **Abordagem (2): Importação de dados de ACV para o modelo BIM;**
- **Abordagem (3): Informações de dados de ACV já presentes dentro da Plataforma BIM.**

Dentro da Abordagem (1) é possível escolher alguns tipos de recursos para realizar a integração BIM-ACV. A primeira é a exportação apenas dos quantitativos do modelo. Assim, esse quantitativo por ser utilizado em planilhas de Excel para elaboração da ACV ou para os softwares de ACV. A exportação é feita de forma manual, porém no caso do uso do Revit ainda é possível utilizar o software Dynamo para agilizar o processo de interligar os quantitativos aos dados de ACV. Esta estratégia é retratada por Wastiels et al. (2019) como a abordagem 2 de integração BIM-ACV. A segunda estratégia seria exportar o próprio modelo 3D para um software de ACV, onde será realizado a análise ambiental. Neste último caso, as etapas são manuais, sendo necessário garantir que o modelo BIM exportado terá suas unidades de medida e informações compatíveis com o software de ACV de destino. Esta estratégia é retratada por Wastiels et al. (2019) com a abordagem 3 de integração BIM-ACV.

De maneira geral, ao utilizar apenas a exportação para o Excel, o processo torna-se eficaz para a coleta de dados de inventário do ciclo de vida aumentando significativamente o nível de detalhes do modelo ACV. Porém a demanda de tempo para esta tarefa pode inviabilizar sua aplicação, e com isso a utilização do Dynamo se torna promissora. O Dynamo, automatiza o processo, agilizando a análise dos impactos ambientais e possibilitando que isso seja feito ao longo de todo o processo de projeto, independente do LOD aplicado, contemplando todas as fases do ciclo de vida e qualquer tipo de construção. Além disso, a avaliação dos impactos é feita de forma contínua, conforme o projeto vai sendo alterado. Os mesmos benefícios são encontrados na

exportação dos quantitativos ou modelo 3D para os softwares de ACV, visto que se possibilita a realização das análises desde as etapas iniciais, conduzindo o estudo para todo o ciclo de vida e para qualquer LOD de projeto. Apesar disso, assim, como o Dynamo, problemas com relação a interoperabilidade entre as ferramentas e banco de dados, além da necessidade de uma demanda maior de tempo por conta das fases manuais de inserção de dados são algumas das limitações encontradas.

Dessa forma, apesar da possibilidade dessas estratégias serem aplicadas a qualquer tipo de projeto, fase do ciclo de vida e LODs de acordo com os estudos levantados, deve-se levar em conta os seguintes pontos:

- Utilizar apenas o Excel para o elaborar estudos de ACV é inviável em uma análise mais ágil e ao longo do processo de projeto;
- A utilização do Dynamo restringe ao uso do software Revit;
- Ao escolher softwares de ACV deve ser levando em consideração os bancos de dados das ferramentas para que atendam a realidade do projeto, já que não é possível customizar esse tipo de dado. Além disso, deve ser levado em conta também o custo referente ao uso desses softwares especialistas;
- Como o modelo de projeto deve ser preparado com as informações e unidades de medida correspondentes a estratégia adotada, fica sugerido a necessidade de criação de um template que poderá ser utilizado nos projetos futuros garantindo que a troca de informações seja feita da melhor forma possível entre os softwares utilizados.

A Abordagem (2) contempla como recurso o desenvolvimento de ferramentas do tipo plug-ins de ACV, no qual utiliza-se a interface do projeto para executar os estudos de ACV, conforme retratado na abordagem 5 de de Wastiels et al. (2019). Dessa forma, esses recursos também podem ser aplicados a qualquer tipo de projeto, fase do ciclo de vida e LODs de acordo com os estudos levantados na RSL. Porém, é necessário atentar-se ao fato que os algoritmos necessários para o desenvolvimento das soluções são mais complexos e demandam tempo para sua elaboração. Além disso, qualquer alteração no

escopo da ACV acarretará adequações manuais no algoritmo do sistema desenvolvido.

Por último, tem-se a abordagem (3) que irá contemplar os plug-ins existentes, visto que os dados de ACV já se encontrariam dentro do modelo BIM, não sendo necessário o desenvolvimento da ferramenta e nem importação ou exportação de dados. Neste caso, deve-se se atentar aos seguintes pontos:

- Estes tipos de plug-ins como o Tally e o One Click LCA que são próprios para o Revit, limitam a escolha do software de modelagem BIM;
- Aplicação de facilidade e rápida produção de resultados ao longo do processo de projeto;
- Interface única para desenvolvimento dos projetos e análise dos impactos ambientais;
- Não há necessidade de importar e exportar dados.
- Bancos de dados fixo com suas especificidades e que podem ou não atender as necessidades do projeto.

Assim, como base nessas considerações, serão discutidas as diretrizes gerais para aplicação da integração BIM - ACV no processo de projeto no item 4.3.

4.3 DIRETRIZES GERAIS PARA APLICAÇÃO DA INTEGRAÇÃO BIM-ACV

A proposição das diretrizes de aplicação BIM-ACV será dividida em função das etapas de projeto. Isso, porque, como percebido nas análises anteriores, as abordagens encontradas podem ser aplicadas em qualquer tipo de projeto, fase do ciclo de vida e categorias de impactos ambientais e, assim, a depender da fase do projeto, haverá objetivos diferentes para as análises, além de estar com mais ou menos informações disponíveis e, portanto, haverá maior ou menor precisão nos resultados.

Dessa forma, para essa definição, foi utilizado a NBR 13532 (1995) que fornece uma estrutura de modo a trazer mais clareza nas etapas de projeto para os envolvidos. Dessa forma visando a aplicação da integração BIM-ACV os estágios que serão considerados nas diretrizes serão os seguintes:

- Projeto Conceitual que inclui os requisitos especiais e revisões regulares com o cliente para aprimoramento da solução;
- Projeto Básico testa e valida o projeto conceitual para se certificar de que as informações estão corretas e alinhadas com as decisões anteriores;
- Projeto Executivo prepara as informações e detalhamentos para que de fato seja possível executar o projeto.

Com relação a modelagem do projeto, este deve ser feito com base em um template alimentado com as informações básicas para realização dos estudos de ACV. Para isso, é necessário definir o escopo da ACV e assim determinar os parâmetros que serão necessários como:

- Fases do ciclo de vida que serão avaliadas na ACV:
 - A1-A3: FASE DO PRODUTO;
 - A4-A5: FASE DA CONSTRUÇÃO;
 - B1-B7: FASE DO USO;
 - C1-C4: FASE DE FIM DE VIDA.
- Categorias de impacto ambiental e suas unidades de caracterização:
 - Aquecimento Global -> Kg CO₂ EQ;
 - Depleção de Ozônio -> Kg CFC-11 EQ;
 - Oxidação Fotoquímica -> Kg C₂H₄ EQ;
 - Acidificação -> Kg SO₂ EQ;
 - Eutrofização -> Kg PO₄ EQ;
 - Toxicidade/Ecotoxicidade -> 1,4-DB Kg EQ;
 - Esgotamento dos recursos naturais -> Kg Sb EQ;
 - Uso do Solo -> Kg.
- Unidade funcional escolhida.

Dessa forma, em função dessas informações bem como da abordagem adotada, haverá o levantamento dos parâmetros necessários de inserção de dados dentro do modelo BIM (formando um template ambiental) para a modelagem do projeto.

Com isso, as diretrizes são apresentadas a seguir:

4.3.1 PROJETO CONCEITUAL

4.3.1.1 OBJETIVO

O objetivo de realizar a integração BIM-ACV nessa etapa é nortear as discussões iniciais e tomadas de decisão. Dessa forma, não há necessidade de resultados altamente precisos e, portanto, métodos simplificados contribuem neste momento.

4.3.1.2 LOD DO PROJETO

Por se tratar das etapas iniciais do projeto, será utilizado os LOD 100-LOD 200.

4.3.1.3 ABORDAGEM SUGERIDA

No caso das fases iniciais, sugere-se que seja utilizado a Abordagem (3) apresentada no item 4.2, visto que a utilização de plug-ins prontos, como o Tally e o Oneclick LCA, dentro da própria interface do projeto possibilita a obtenção de resultados de forma visual, rápida e sem complexidade. Além disso, tais ferramentas já contam com um banco de dados próprio e integrado e, portanto, não haverá necessidade de realizar paralelamente o levantamento desses dados. Com isso também, reduz-se a alimentação do template, visto que ao utilizar esses tipos de plug-ins, apenas as definições referentes aos materiais são necessárias, excluindo a necessidade de entrada de dados ambientais.

4.3.2 PROJETO BÁSICO

4.3.2.1 OBJETIVO

Melhoramento das soluções adotadas em busca de resultados mais sustentáveis. Neste momento, haverá maior disponibilidade de informações a respeito do projeto, e, portanto, os resultados se apresentarão com mais precisão. Ressaltando que, por não se tratar da fase avançada do projeto, ainda serão feitas alterações no mesmo para obter resultados ainda mais promissores.

4.3.2.2 LOD DO PROJETO

Nesta fase poderá ser utilizado os LOD 200-LOD 300.

4.3.2.3 ABORDAGEM SUGERIDA

A Abordagem (1) melhor se adequa ao momento, podendo ser escolhido entre os recursos disponíveis para a realização do estudo: exportação de dados para planilhas do Excel e rotinas no Dynamo para agilizar o processo ou exportação para softwares de ACV, realizando os estudos dentro de ferramentas especializadas. Assim, no caso de planilhas, os bancos de dados poderão ser levantados e combinados entre si para melhor atendimento do projeto. Além disso, as planilhas poderão ser vinculadas ao projeto sendo atualizadas constantemente ao longo do processo e as rotinas no Dynamo também poderão ser reutilizadas conforme o projeto avança para as etapas finais. Já no caso da utilização dos próprios softwares de ACV, estes deverão ser escolhidos em função do banco de dados disponibilizado na ferramenta, isto porque, não será possível readequar tais informações e, portanto, é de suma importância que o banco de dados utilizado seja o mais adequado possível ao projeto em questão. Vale ressaltar as ferramentas especializadas de ACV apresentam custos mais elevados, além de ser necessário se atentar na adequação dos parâmetros para unidades compatíveis com o software escolhido.

Dentro deste contexto, para exportação de dados e quantitativos para planilhas, o template deverá contemplar os parâmetros referente as categorias de impactos ambientais escolhidas para análise em função dos grupos de elementos que compõe o projeto. Assim, ao exportar os dados, os valores referentes a cada categoria estarão em função dos sistemas e materiais adotados no projeto. No caso do uso de softwares de ACV, o template deverá ser o mesmo da Abordagem (3), ou seja, contemplar apenas os dados dos materiais utilizados.

4.3.3 PROJETO EXECUTIVO

4.3.3.1 OBJETIVO

Nas etapas finais de projeto, já não haverá modificações de projeto, visto que as decisões e alterações necessárias já foram executadas. Neste momento, os estudos finais de ACV poderão ocorrer de forma a aproveitar o alto nível de

informações presente no projeto para obtenção de resultados o mais próximo da realidade e, portanto, podendo ser utilizados na obtenção de certificações e selos ambientais.

4.3.3.2 LOD DO PROJETO

Nesta fase poderá ser utilizado os LOD 350-LOD 400.

4.3.3.3 ABORDAGENS SUGERIDAS

A Abordagem (1) pode ser mantida nessa última etapa de projeto, visto que, como dito anteriormente, concentrar os dados em planilhas possibilitam que sejam combinados com diferentes bancos de dados de forma a se assemelhar cada vez mais com a realidade e, portanto, trazendo dados mais confiáveis. Além disso, a programação visual é mais simples e permite a criação de rotinas que diminuam as etapas manuais do processo. Caso a Abordagem já tenha sido utilizada na etapa intermediária, todo o processo poderá ser reaproveitado, não adicionado atividades extras para execução.

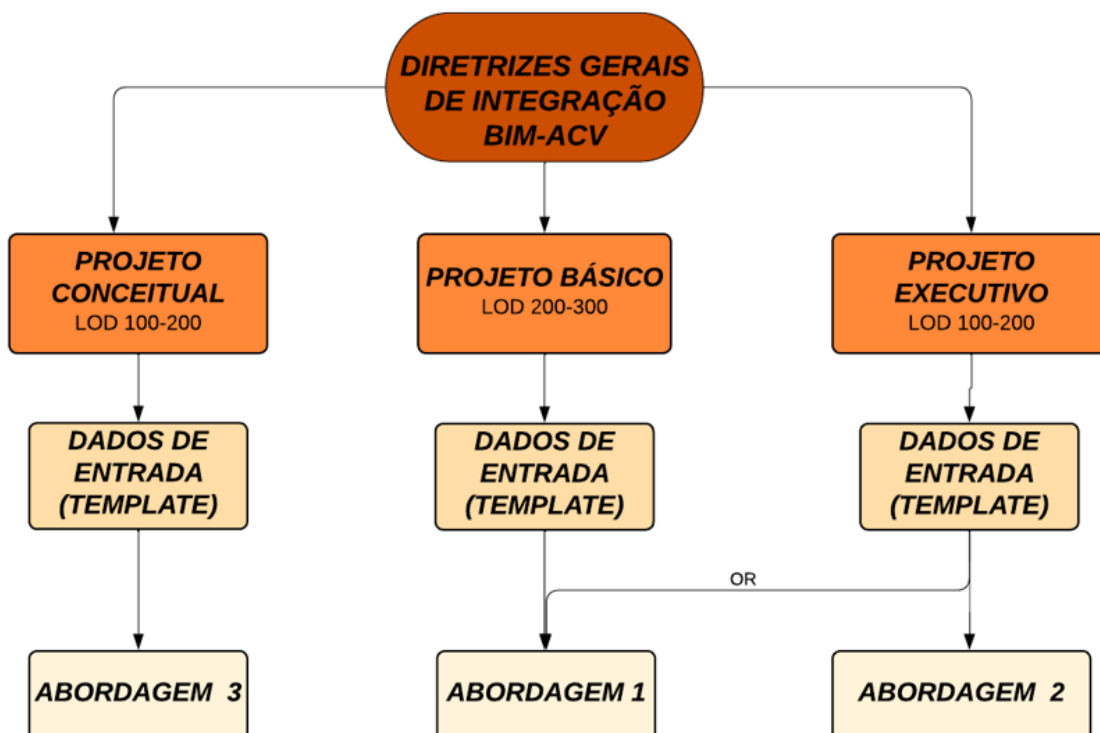
Uma outra sugestão seria trabalhar com a Abordagem (2), desenvolvimento de plug-ins próprios, que atendam aos objetivos da ACV e do projeto, e, portanto, também concentram todas as informações em uma única interface, que no caso é a do ambiente BIM e que também possibilita a combinação de banco de dados. Porém, essa Abordagem se aplicaria mais adequadamente, para os casos em que os envolvidos realizem estudos de ACV de forma mais padronizada, ou seja, que não apresentarão grandes mudanças no escopo da ACV entre os tipos de projetos em que os envolvidos trabalham, visto que qualquer alteração necessária no escopo de ACV acarretará mudanças morosas nos complexos algoritmos de linguagem de programação.

Para este último caso, o template deverá também contemplar os parâmetros referente as categorias de impactos ambientais escolhidas para análise em função dos grupos de elementos que compõe o projeto

4.3.4 FLUXOGRAMA DAS DIRETRIZES GERAIS DE INTEGRAÇÃO BIM-ACV AO LONGO DO PROCESSO DE PROJETO

Com base na descrição das diretrizes gerais de aplicação BIM-ACV descritas nos itens anteriores, foi elaborado um fluxograma geral que contempla os processos necessários em cada etapa do projeto para a aplicação de métodos de integração.

Figura 14: Fluxograma Geral das Diretrizes de Integração BIM-ACV



Fonte: Autora (2023)

5. Conclusões

A necessidade de diminuir os impactos ambientais causados pelo setor da construção civil, torna cada vez mais essencial a implementação de soluções inovadoras e sustentáveis. A Avaliação do Ciclo de Vida é a principal ferramenta para se calcular os impactos ambientais gerados pelas edificações ao longo de todo o seu ciclo de vida. Porém, por ser uma ferramenta complexa, a sua integração com o BIM se faz promissora e necessária, possibilitando que a sustentabilidade seja o foco das discussões desde as fases iniciais de projeto.

Dessa forma, os impactos ambientais podem ser previstos em diferentes fases de ciclo de vida de edificações, além de se utilizar de mais de um banco de dados para melhor atender as necessidades dos estudos. O BIM permite que se incorpore indicadores de desempenho ambiental durante o processo de projeto para análises de ACV, porém ainda há limitações durante esta integração.

Assim, a revisão sistemática realizada neste trabalho, possibilitou a compreensão do panorama geral do assunto, além da análise das potencialidades e limitações dos métodos desenvolvidos até o momento.

Observando a análise bibliométrica realizada com os estudos encontrados na RSL, foi possível perceber então, a tendência de crescimento das publicações no assunto além da participação da China, Brasil, Austrália e Portugal na produção literária. Com relação aos métodos desenvolvidos pelos autores analisados, a maior parte deles tratou de métodos práticos para integração BIM-ACV, utilizando estudos de caso para avaliar o que foi desenvolvido. Diversos bancos de dados foram utilizados como fonte de informações, assim como a adoção de mais de um para desenvolvimento de um método. O software Revit foi o principal adotado para a modelagem 3D, o LOD 300 foi o nível mais utilizado para realização da análise de ACV e a maioria dos trabalhos analisados teve como foco todas as fases do ciclo de vida da edificação para realizar seus estudos.

Com relação a leitura e crítica dos estudos selecionados, todos os métodos encontrados tiveram como objetivo desenvolver uma forma de integração BIM-ACV de forma que fosse aplicado em qualquer fase do ciclo de vida e ao longo de todo processo de projeto.

Assim, as metodologias trabalhadas nos estudos elucidaram importantes recursos a serem utilizados no processo de integração BIM-ACV. O primeiro refere-se à criação de rotinas com o dynamo, no qual automatiza-se o processo de forma que a avaliação dos impactos seja feita de forma contínua, conforme o projeto vai sendo alterado. O segundo recurso refere-se à utilização de ferramentas de ACV, que apresenta os resultados de forma rápida além de possibilitar a visualização dos itens que causam os maiores impactos ambientais. O terceiro refere-se à criação de templates, no qual é possível utilizar o modelo para vários tipos de avaliação de desempenho ambiental livre de vinculação com diversos programas, sendo este, um recurso base e essencial para os demais métodos de integração BIM-ACV. Outro recurso utiliza apenas planilhas em excel sendo eficaz para coletar dados de inventário para o ciclo de vida de um edifício, aumentando significativamente o nível de detalhes do modelo ACV. O quinto recurso, utiliza os plug-ins prontos como o Tally e o OneClick LCA, integrando um fluxo de trabalho intuitivo dentro de uma única ferramenta. Por último, seria o desenvolvimento das várias rotinas de plug-ins por meio da linguagem de programação permitindo que a troca de informações seja aberta e ofereça suporte a uma ampla gama de softwares para os modelos digitais.

Com base nessas informações foi possível desenvolver uma matriz avaliativa de forma a caracterizar, de maneira visual, o processo da metodologia adotada, LOD, ferramentas, bancos de dados e as potencialidades e limitações. Assim, a partir disso, foi percebido a ocorrência de três tipos de abordagem de integração BIM-ACV: a primeira sendo a exportação de dados do modelo BIM para realizar os estudos de ACV, a segunda a importação de dados de ACV para o modelo BIM e a terceira a presença de dados de ACV já existente na plataforma BIM. Dessa forma, com base nessas informações foi possível elaborar as diretrizes gerais de integração BIM-ACV ao longo do processo do projeto.

Uma importante tarefa, base para as três etapas de projetos definidas nas diretrizes gerais elaboradas, foi a definição do escopo da ACV que contempla os objetivos do estudo, as fases do ciclo de vida que serão analisadas, a unidade funcional e as categorias de impactos ambientais escolhidas. Isso, porque, para que a modelagem do projeto seja feita, é necessário o preparo do modelo BIM com um template que contenha os dados nas unidades de medida necessárias para a realização do estudo. Esse template com os parâmetros necessários serão constantemente revisados ao longo do processo de projeto, de forma a garantir que os dados estejam condizentes com o avanço do projeto.

Assim, para o projeto conceitual (LOD 100-200), com o objetivo apenas de nortear as primeiras tomadas de decisões, a Abordagem (3) utilizando plug-ins prontos com o Tally e o OneClick LCA, por exemplo, suprem essa necessidade de maneira rápida e sem complexidade. Além disso, neste sistema os bancos de dados já estão inseridos na interface BIM e, portanto, não há necessidade de se realizar esse tipo de levantamento.

Já no projeto básico, com o LOD200-300, já é possível de se obter resultados mais próximos a realidade e, portanto, devem ser utilizados métodos mais assertivos em prol de melhorias na solução adotada. Assim, a abordagem (2) possibilita tanto o uso de rotinas de programação visual com a exportação de quantitativos ou softwares de ACV com o modelo 3D. Nesta fase, o objetivo é trazer a maior confiabilidade possível para os resultados podendo ser por meio de softwares de ACV com banco de dados mais próximos da realidade do projeto ou combinação de banco de dados com as planilhas de Excel.

Por último, no projeto executivo (LOD 350-400), devido ao alto nível de informações presentes, é o momento para buscar resultados ainda mais próximos da realidade, podendo serem utilizados para obtenção de certificações e selos ambientais. Assim, neste caso pode ser mantido a utilização da abordagem (2), conforme discutido anteriormente, ou desenvolver plug-ins próprios dentro da interface do modelo. Isso porque, nessa fase não haverá alterações de escopo de ACV ou mudanças nas soluções adotadas, e, portanto, os algoritmos desenvolvidos não precisaram passar por ajustes que poderão se tornar exaustivos devido à complexidade da linguagem.

Vale ressaltar, portanto, que a fase do LOD 200-300 é a mais indicada para a ACV, visto que se diminui as limitações referentes aos dados necessários e os bancos de dados existentes, estando em uma fase de projeto que ainda é possível alterar as decisões conforme os estudos dos impactos ambientais. Dessa forma, sugere-se que ele seja considerado um LOD ambiental para a ACV enquanto os LOD 100-200 sejam utilizados apenas no caso das discussões iniciais e os LOD350-400 para obtenção de certificações e selos ambientais, no qual não ocorrerá mais modificações de projeto. Ainda nesta discussão, uma importante avaliação a ser feita é a forma como os projetistas definem os LODs dos elementos a serem utilizados no projeto, ou seja, como essas definições são subjetivas é comum que haja elementos detalhados de forma incoerente a etapa no qual o projeto se encontra e, portanto, tais discussões são importantes para melhor alinhamento das entregas e informações dos objetos.

De maneira geral, diante das propostas apresentadas com suas potencialidades e limitações, é possível dizer que as abordagens encontradas têm se mostrado muito promissoras na integração BIM-ACV. Desafios com relação as mudanças nas tecnologias, definição correta dos LODs nos objetos de projeto e informações de banco de dados são primordiais para melhorar a aplicabilidade das metodologias no processo de projeto. Assim, para os estudos futuros sugere-se a realização de estudos de caso que testem as abordagens e seus recursos ao longo do processo de projeto, avaliando a confiabilidade dos resultados gerados. Além disso, pesquisas na área de TI serão fundamentais para aumentar as possibilidades de caminhos na resolução dos questionamentos levantados nessa pesquisa.

Referências Bibliográficas

AIA CONTRACT DOCUMENTS. **So What is an LOD Anyway?**. Disponível em: <https://www.aiacontracts.org/articles/6469008-so-what-is-an-lod-anyway>, 2022. Acesso em 13 de abril de 2022.

ABBASI, S.; NOORZAI, E. The BIM-Based multi-optimization approach in order to determine the trade-off between embodied and operation energy focused on renewable energy use. **Journal of Cleaner Production**, v. 281, p. 125359, 2021.

ABOUHAMAD, M.; ABU-HAMD, M. Life cycle assessment framework for embodied environmental impacts of building construction systems. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 2, p. 1–21, 2021.

AL-GHAMDI, S. G.; BILEC, M. M. Green Building Rating Systems and Whole-Building Life Cycle Assessment: Comparative Study of the Existing Assessment Tools. **Journal of Architectural Engineering**, v. 23, n. 1, p. 04016015, 2017.

ALWAN, Z. et al. Framework for parametric assessment of operational and embodied energy impacts utilising BIM. **Journal of Building Engineering**, v. 42, n. January, p. 102768, 2021.

ANAND, C.K.; AMOR, B. Recent Developments, Future Challenges and New Research Directions in LCA of Buildings: A Critical Review. **Renew. Sustain. Energy Rev.** v. 67, p. 408–416, 2017.

ANSAH, M. K. et al. Developing an automated BIM-based life cycle assessment approach for modularly designed high-rise buildings. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 90, n. April, p. 106618, 2021.

ANSAH, M. K. et al. An integrated life cycle assessment of different façade systems for a typical residential building in Ghana. **Sustainable Cities and Society**, v. 53, p. 101974, 2020.

ARAÚJO, C. A. A.. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em Questão**, v.12, 2006.

ASARE, K. A. B. et al. BIM-based LCA and energy analysis for optimised sustainable building design in Ghana. **SN Applied Sciences**, v. 2, n. 11, 2020.

ASDRUBALI, F., BALDASSARRI, C., FTHENAKIS, V. Life cycle analysis in the construction sector: Guiding the optimization of conventional Italian buildings. **Energy and Buildings**. v. 64, p. 73-89, 2013.

AJAYI, S.O., OYEDELE, L.O., CERANIC, B., GALLANAGH, M., KADIRI, K.O. Life cycle environmental performance of material specification: a BIM-enhanced comparative assessment. **International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development**. n. 6, p. 14–24, 2015.

AZHAR, S.; BROWN, J.W.; SATTINENI, A. A Case Study of Building Performance Analyses Using Building Information Modeling. In: Proceedings of the 27th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC-27), 2010, Bratislava, Slovakia. Slovakia: 2010. 213–222.

ANDRADE, M. L.; RUSCHEL, R. C. **BIM: Conceitos, Cenário das Pesquisas Publicadas no Brasil e Tendências**. Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído. **Anais...São Carlos: ANTAC**, 2009.

ANDRADE, M. L.; RUSCHEL, R. C. Building information modeling (BIM). In D. C. K. Kowaltowski, D. C. Moreira, J. R. D. Petreche, & M. M. Fabricio (Eds.), **O processo de projeto em arquitetura: da teoria à tecnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 421–442.

ARAUJO, A. M. F.; CRIPPA, J.; UEHARA, L. K. S.; LOPES, T. V.; SCHEER, S. Interoperabilidade de ferramentas BIM e avaliação do ciclo de vida de edificações. In: 10^o Simpósio Brasileiro De Gestão E Economia Da Construção, 2017, Fortaleza/CE. **Anais SIBRAGEC 2017**. Ceará: 2017. 251-259.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14040** – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO**

14044 – Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida: requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13532** - Elaboração de projetos de edificações - Arquitetura. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA. **Guia AsBEA: Boas Práticas em BIM**. São Paulo, 2015.

ALWAN, Z; NAWARATHNA, AMALKA, N.; RANA, A.; MINGYU, Z.; YOMNA, E. Framework for parametric assessment of operational and embodied energy impacts utilising BIM. **Journal of Building Engineering**, v. 42, n. January, p. 102768, 2021.

AZZAM, A.; EL ZAYAT, M.; MARZOUK, M. Integrated approach for sustainability assessment in power plant projects using Building Information Modeling. **Energy for Sustainable Development**, v. 66, p. 222–237, 2022.

BALDO, G.L., MARINO, M., ROSSI, S. (2008). Analisi del ciclo di vita LCA, Gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi. **Edizione Ambiente**. 2008.

BARBINI, A. et al. Integration of life cycle data in a BIM object library to support green and digital public procurements. **International Journal of Sustainable Development and Planning**, v. 15, n. 7, p. 983–990, 2020.

BASBAGILL, J.; Flager, F.L.; Lepech, M.; Fischer, M. Application of Life-Cycle Assessment to Early Stage Building Design for Reduced Embodied Environmental Impacts. **Build. Environ**, v. 60, p. 81–92, 2013.

BIANCHI, P. F. et al. Study of alternatives for the design of sustainable low-income housing in Brazil. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 9, 2021.

Bionova, Simple guide on environmental product declaration for green building acomprehensive guide to environmental product declarations. Disponível em: <https://www.oneclicklca.com/simple-epd-guide/>, 2018. Acesso em 11 de abril de 2022.

BUENO, C.; PEREIRA, L. M.; FABRICIO, M. M. *Life cycle assessment and environmental-based choices at the early design stages: an application using building information Modeling*. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 14, n. 5, p. 332–346, 2018.

BUENO, C.; ROSSIGNOLO, J. A. **Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras: Materiais e Sustentabilidade**. Porto Alegre: ANTAC. 1ª ed., 2016, p. 412.

BUENO, C.; FABRICIO, M. M. Aplicação da modelagem de informação da construção (BIM) para a realização de estudos de avaliação de ciclo de vida de edifícios. **Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, v. 23, n. 40, p. 96, 2016.

BUENO, C.; FABRICIO, M. M. Comparative analysis between a complete LCA study and results from a BIM-LCA plug-in. **Automation in Construction**, v. 90, p. 188–200, 2018.

BUYLE M.; BRAET J.; AUDENAERT A.. Life cycle assessment in the construction sector: a review. **Renew Sustain Energy**, 2013.

CAMPOLINA, J. M.; SIGRIST, C. S. L.; MORIS, V. A. DA S. A review of the literature on software used in studies life cycle assessment. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)**, v. 19, n. 2, p. 735–750, 2015.

CARDOSO, P. F. **Sistemas de certificação ambiental de edificações habitacionais e possibilidades de aplicação da avaliação do ciclo de vida**. 2015. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, 2015.

CAVALLIERE, C.; BRESCIA, L.; MAIORANO, G.; MORA, T. D.; DELL'OSSO, G. R.; NABONI, E. Towards An Accessible Life Cycle Assessment: A Literature Based Review Of Current BIM And Parametric Based Tools Capabilities. **Proceedings of Building Simulation 2019: 16th Conference of IBPSA**, v. 16, p. 159–166, 2020.

CAVALLIERE, C., HABERT, DELL'OSSO, G.R., HOLLBERG, A. Continuous BIM-based assessment of embodied environmental impacts

throughout the design process. **Journal of Cleaner Production**. v. 211, p. 941–952, 2019

CAVALLIERE, C. et al. Life cycle assessment data structure for building information Modeling . **Journal of Cleaner Production**, v. 199, p. 193–204, 2018.

CARVALHO, J. P. et al. Integrating BIM-based LCA and building sustainability assessment. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 18, p. 7–9, 2020.

CHEUNG, F.K.T., RIHAN, J., Tah, J., DUCE, D., KURUL, E. Early stage multi-level cost estimation for schematic BIM models. **Automation Construction**. v. 27, p. 67–77, 2012.

CHENG, B. et al. BIM-enabled life cycle assessment of concrete formwork waste reduction through prefabrication. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 53, n. PA, p. 102449, 2022.

CHENG, B. et al. Comprehensive assessment of embodied environmental impacts of buildings using normalized environmental impact factors. **Journal of Cleaner Production**, v. 334, n. April 2021, p. 130083, 2022.

CHENG, B. et al. A BIM-LCA approach for estimating the greenhouse gas emissions of large-scale public buildings: A case study. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 2, 2020.

CHEVALIER, J.L.; LE TENO, J.F. Requirements for an LCA-based model for the evaluation of the environmental quality of building products. **Building and Environment**, v. 31(5), p. 487–91, 1996.

CRIPPA, J. **Integração Bim-Acv Como Apoio À Tomada De Decisão Na Fase De Integração Bim-Acv Como Apoio À Tomada De Decisão Na Fase De**. 2019. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2019.

CRIPPA, J. et al. A BIM–LCA integration technique to embodied carbon estimation applied on wall systems in Brazil. **Built Environment Project and**

Asset Management, v. 8, n. 5, p. 491–503, 2018.

DAULETBEK, A.; ZHOU, P. BIM-based LCA as a comprehensive method for the refurbishment of existing dwellings considering environmental compatibility, energy efficiency, and profitability: A case study in China. **Journal of Building Engineering**, v. 46, n. April 2021, p. 103852, 2022.

DIÁZ. J.; Antón. L. A. Sustainable Construction Approach through Integration of LCA and BIM Tools. In: Computing in Civil and Building Engineering, 2014, Nova York/NY. **Anais Computing in Civil and Building Engineering 2014**. Nova York: ASCE, 2014. 283-290.

DJUEDJA, J. F. T et al. An integrated Linked Building Data system: AEC industry case. **Advances in Engineering Software**, v. 152, n. July 2019, p. 102930, 2021.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 1ªed., 2015, 237p.

DURÃO, V. et al. Current opportunities and challenges in the incorporation of the lca method in bim. **Open Construction and Building Technology Journal**, v. 14, n. 1, p. 336–349, 2020.

EASTMAN, C.; TELCHOLZ, P.; SACKS, R.; KATHLEEN, L. **MANUAL de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Porto Alegre: Bookman. 1ª ed., 2014, 483p.

ERLANDSSON, M.; BORG, M. Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services – today practice and development needs. **Building and Environment**, vol. 38, p. 919-938, 2003.

European Commission - Institute for Environment and Sustainability. **International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance**. Luxemburgo: Serviços de Publicação da União Europeia. 1ª ed., 2010, 398p.

FENG, H. et al. BIM-based life cycle environmental performance assessment of single-family houses: Renovation and reconstruction strategies for aging building stock in British Columbia. **Journal of Cleaner Production**, v. 250, p. 119543, 2020.

FERREIRA, S. L. Da engenharia simultânea ao modelo de informações de construção (BIM): contribuição das ferramentas ao processo de projeto e vice-versa. In: **Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios**, 2007, Curitiba. Anais... Curitiba, 2007. CD-ROM

GARDEZI, S. S. S.; SHAFIQ, N. Operational carbon footprint prediction model for conventional tropical housing: a Malaysian prospective. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 16, n. 12, p. 7817–7826, 2019.

GBC Brasil Casa – GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. Disponível em: <http://www.gbcbrazil.org.br>, Acesso em: 26 de abril de 2021.

GOMES, V.; BARROS, N. N. Contribuição da modelagem BIM para facilitar o processo de ACV de edificações completas. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 13, n. 2, p. 19-34, 2018

HAMMOND G.; JONES C.; LOWRIE F.; TSE P.. Inventory of Carbon & Energy: ICE. **Sustainable Energy Research Team**. v.5, 2008.

HOLLBERG, A.; GENOVA, G.; HABERT, G. Evaluation of BIM-based LCA results for building design. **Automation in Construction**, v. 109, n. 102972, p. 9, 2020.

HOMER-DIXON, T. F. Environment, scarcity, and violence. Princeton University Press, 2010.

HORN, R. et al. The BIM2LCA approach: An industry foundation classes (IFC)-based interface to integrate life cycle assessment in integral planning. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 16, 2020.

JALAEI, F.; ZOGHI, M.; KHOSHAND, A. Life cycle environmental impact assessment to manage and optimize construction waste using Building Information Modeling (BIM). **International Journal of Construction**

Management, 2019.

JALAEI, F. et al. Exploring the effects that a non-stationary climate and dynamic electricity grid mix has on whole building life cycle assessment: A multi-city comparison. **Sustainable Cities and Society**, v. 61, 2020.

KERZNER, H. Project Management – A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling. New York: John Wiley & Sons, 2001.

KIAMILI, C.; HOLLBERG, A.; HABERT, G. Detailed assessment of embodied carbon of HVAC systems for a new office building based on BIM. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 8, 2020.

KFOURI, A. J. C. **AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E AS CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS PARA EDIFÍCIOS NO BRASIL**. 2018. Monografia (Curso de Pós- graduação Lato Sensu), Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, 2018.

KNOBLOCK, C. A.; SZEKELY, P.; AMBITE, J. L.; GOEL, A.; GUPTA, S.; LERMAN, K.; MUSLEA, M.; TAHERIYAN, M.; MALLICK, P. Semi-automatically mapping structured sources into the semantic web, in: **Extended Semantic Web Conference**, 2012. Springer, pp. 375–390.

KÖSECI, F.C. Integrated Life Cycle Assessment (LCA) to Building Information Modeling (BIM). Master's Thesis, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2018. Disponível em: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1229841/FULLTEXT01.pdf>, acesso em 18 de Agosto de 2021.

LAAKSO, M.; KIVINIEMI, A. The IFC standard—A review of history, development, and standardization. **Electron. J. Inf. Technol. Constr.** 2012, V. 17, P. 134–161.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. Design Science Research: Método De Pesquisa Para A Engenharia De Produção. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 4, p. 741-761, 2013.

LEE, S. et al. Development of building information modeling template for environmental impact assessment. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 6,

2021.

LIMA et. al. Meio ambiente na china: Impasses, avanços e desafios. **Revista Realis**. Pernambuco, 2021.

LU, K. et al. Development of a carbon emissions analysis framework using building information modeling and life cycle assessment for the construction of hospital projects. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 22, p. 1–18, 2019.

LU, Y.; LE, V. H.; SONG, X. Beyond Boundaries: A Global Use of Life Cycle Inventories for Construction Materials. **Journal of Cleaner Production**, v. 156, p. 876–887, 2017.

LUCENTE, C. A. A.; NETTO, F. S. Análise Comparativa E Seleção Implementação De Um Laboratório Didático de Avaliação do Ciclo de Vida. In: XXXVI Encontro Nacional De Engenharia De Produção, 2016, João Pessoa/PB. **Anais ENEGEP**, 2016. Joao Pessoa: 2016. 1-14.

LLATAS, C. et al. BIM-based LCSA application in early design stages using IFC. **Automation in Construction**, v. 138, n. March, 2022.

MACHADO, F. A.; SIMÕES, C. C.; MOREIRA, L. C. DE S. Potencialidades Da Integração Do Bim Ao Método De Avaliação Do Ciclo De Vida Das Edificações. **Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção**, n. 1, p. 527–535, 2015.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, v. 15, n. 4, p. 251-266, 1995.

MARTINS, S. S. et al. Evaluation of 4D BIM tools applicability in construction planning efficiency. **International Journal of Construction Management**, v. 0, n. 0, p. 1–14, 2020.

MARZOUK, M.; EL-ZAYAT, M.; ABOUSHADY, A. Assessing environmental impact indicators in road construction projects in developing countries. **Sustainability (Switzerland)**, v. 9, n. 5, 2017.

MELHADO, S. B. Gestão, coordenação e integração para um novo modelo voltado a qualidade do processo de projeto na construção de edifícios.

2001. Tese (Livre docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MOREIRA, H.; CALEFFE, L. G. Os Desafios do Ensino da Disciplina de Metodologia da Pesquisa na Pós-Graduação. **Meta: Avaliação**, v. 3, n. 9, p. 244–257, 2011.

MORSI, D. M. A. et al. BIM-based life cycle assessment for different structural system scenarios of a residential building. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 13, n. 6, p. 101802, 2022.

MOTALEBI, M.; RASHIDI, A.; NASIRI, M. M. Optimization and BIM-based lifecycle assessment integration for energy efficiency retrofit of buildings. **Journal of Building Engineering**, v. 49, n. September 2021, p. 104022, 2022.

NAJJAR, M. K. et al. Life cycle assessment methodology integrated with BIM as a decision-making tool at early-stages of building design. **International Journal of Construction Management**, v. 0, n. 0, p. 1–15, 2019.

NAJJAR, M. K. et al. Life cycle assessment methodology integrated with BIM as a decision-making tool at early-stages of building design. **International Journal of Construction Management**, v. 0, n. 0, p. 1–15, 2019.

NAJJAR, M. et al. Integration of BIM and LCA: Evaluating the environmental impacts of building materials at an early stage of designing a typical office building. **Journal of Building Engineering**, v. 14, p. 115–126, 2017.

NANEVA, A. et al. Integrated BIM-based LCA for the entire building process using an existing structure for cost estimation in the Swiss context. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 9, p. 17, 2020.

NAWARTHNA A.; ALWAN, Z.; FERNANDO, N.; GLEDSON, B. Estimating embodied carbon emissions of buildings in developing countries: a case study from Sri Lanka, in: **Fourth International SEEDS Conference**, 2018, pp. 821–831.

NIZAM, R. S.; ZHANG, C.; TIAN, L. A BIM based tool for assessing embodied energy for buildings. **Energy and Buildings**, v. 170, p. 1–14, 2018.

OBRECHT, T. P.; ROCK, M.; HOXHA, E.; PASSER, A. BIM and LCA integration: A systematic literature review. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 14, 2020.

ORETO, C. et al. Bim-Lca Integration Framework for Sustainable Road Pavement Maintenance Practices. **International Journal of Transport Development and Integration**, v. 6, n. 1, p. 1–11, 2022.

PALUMBO, E. et al. How to obtain accurate environmental impacts at early design stages in BIM when using environmental product declaration. A method to support decision-making. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 17, 2020.

PANTELI, C. et al. A framework for building overhang design using Building Information Modeling and Life Cycle Assessment. **Journal of Building Engineering**, v. 20, p. 248–255, 2018.

PHILLIPS, R. et al. Triple bottom line sustainability assessment of window-to-wall ratio in US office buildings. **Building and Environment**, v. 182, n. July, p. 107057, 2020.

PMI. Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos. Guia PMBOK®. Quarta Edição – EUA: Project Management Institute, 2008.

RAMESH, T.; PRAKASH, R.; SHUKLA, K. Life cycle energy analysis of buildings: An overview. **Energy Build.** n.42, p. 1592–1600, 2010.

RAOUF, A. M.; AL-GHAMDI, S. G. Effect of R-values changes in the baseline codes: Embodied energy and environmental life cycle impacts of building envelopes. **Energy Reports**, v. 6, p. 554–560, 2020.

REZAEI, F.; BULLE, C.; LESAGE, P. Integrating building information modeling and life cycle assessment in the early and detailed building design stages. **Building and Environment**, v. 153, p. 158–167, 2019.

RÖCK, M.; HOLLBERG, A.; HABERT, G.; PASSER, A. LCA and BIM: Visualization of environmental potentials in building construction at early design stages. **Building and Environment**. n. 140, p.153–161, 2018.

ROSTAMI, A. et al. BIM-enabled sustainability assessment of material supply decisions. **Engineering, Construction and Architectural Management**,

v. 22, n. 1, p. 91–107, 2015.

SAMEER, H.; BRINGEZU, S. Building information Modeling application of material, water, and climate footprint analysis. **Building Research and Information**, 2021.

SAMPIETRO, S. P. G. B. I. W. J. C. F. LCA Analysis Through a Visual on a BIM Model Case Study. **New Frontiers of Construction Management Workshop**, v. 09, n. 13, p. 104–115, 2018.

SANDBERG, M. et al. Multidisciplinary optimization of life-cycle energy and cost using a BIM-based master model. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 2, 2019.

SANTOS, R.; COSTA, A.A.; SILVESTRE, J.D.; PYL, L. Integration of LCA and LCC analysis within a BIM-based environment. **Autom. Constr.** 2019, V. 103, P. 127–149.

SANTOS, R. et al. BIM-based life cycle assessment and life cycle costing of an office building in Western Europe. **Building and Environment**, v. 169, 2020.

SANTOS, R. et al. Integration of LCA and LCC analysis within a BIM-based environment. **Automation in Construction**, v. 103, n. September 2018, p. 127–149, 2019.

SCHEUER, C.; KEOLEIAN, G. A.; REPPE, P. Life cycle energy and environment performance of a new university building: Modeling challenges and design implications. **Energy and Buildings**, n. 35, p. 1049-1064, 2003

SCHULTZ, J. et al. A benchmark study of BIM-based whole-building life-cycle assessment tools and processes. **International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development**, v. 7, n. 3–4, p. 219–229, 2016.

SCHWARTZ Y.; ELEFThERIADIS, S. R.; RASLAN; MUMOVIC, D. Semantically enriched bim life cycle assessment to enhance buildings' environmental performance, in: **Proceedings of the CIBSE Technical Symposium**, 2016. Edinburgh, UK.

SILVA, B. V. da. **Construção de ferramenta para avaliação do ciclo de**

vida de edificações. 2013. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SIMON, H. A. **The sciences of the artificial**. MIT press, 1996.

SOARES, S. R.; SOUZA, D. M.; PEREIRA, S. W. **Avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil**. Porto Alegre: Coletânea Habitare – Construção e Meio Ambiente, vol. 7, 2006, p. 97-127.

SOUSAI, M. R.; RIBEIROI, A. L. P. Revisão sistemática e meta-análise de estudos de diagnóstico e prognóstico: um tutorial. **Arq. Bras. Cardiol**, n.3, v. 92, 2009

SOUST-VERDAGUER, B. et al. 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**, v. 45, n. October 2021, p. 103516, 2022.

SOUST-VERDAGUER, B.; LLATAS, C.; GARCÍA-MARTÍNEZ, A. BIM-Based LCA Method to Analyze Envelope Alternatives of Single-Family Houses: Case Study in Uruguay. **Journal of Architectural Engineering**, v. 24, n. 3, 2018.

SOUST-VERDAGUER, B.; LLATAS, C.; MOYA, L. Comparative BIM-based Life Cycle Assessment of Uruguayan timber and concrete-masonry single-family houses in design stage. **Journal of Cleaner Production**, v. 277, p. 121958, 2020.

SUCCAR, B. Building information Modeling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357–375, 2009.

SU, S. et al. BIM-DLCA: An integrated dynamic environmental impact assessment model for buildings. **Building and Environment**, v. 183, n. August, 2020.

SHADRAM, F. et al. An integrated BIM-based framework for minimizing embodied energy during building design. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 592–604, 2016.

SRAVANI, T.; PRASANNA VENKATESAN, R.; MADHUMATHI, A. A comparative LCA study of passive cooling roof materials for a residential building: An Indian Case study. **Materials Today: Proceedings**, v. 64, p. 1014–1022, 2022.

TAVARES, V.; FREIRE, F. Life cycle assessment of a prefabricated house for seven locations in different climates. **Journal of Building Engineering**, v. 53, n. March, p. 104504, 2022.

TCHOUANGUEM DJUEDJA, J. F. et al. An integrated Linked Building Data system: AEC industry case. **Advances in Engineering Software**, v. 152, n. October 2020, p. 102930, 2021.

THEISSEN, S. et al. Using open BIM and IFC to enable a comprehensive consideration of building services within a whole-building LCA. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 14, 2020.

TUSHAR, Q.; BHUIYAN, M. A.; ZHANG, G. Energy simulation and modeling for window system: A comparative study of life cycle assessment and life cycle costing. **Journal of Cleaner Production**, v. 330, n. November 2021, p. 129936, 2022.

TUSHAR, Q. et al. An integrated approach of BIM-enabled LCA and energy simulation: The optimized solution towards sustainable development. **Journal of Cleaner Production**, v. 289, 2021.

UNEP. **Buildings and climate change: Summary for decision-makers**. United Nations Environmental Programme, Sustainable Buildings and Climate Initiative. Paris, 2009. p. 1-62.

UNITED BIM. **Everything to Know About Level of Development (LOD) in BIM**. Disponível em: <https://www.united-bim.com/bim-level-of-development-lod-100-200-300-350-400-500/>, 2022. Acesso em 13 de abril de 2022.

VESELKA, J. et al. Recommendations for developing a BIM for the purpose of LCA in green building certifications. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 15, 2020.

VAN ELDIK, M. A. et al. BIM-based environmental impact assessment for

infrastructure design projects. **Automation in Construction**, v. 120, n. January, p. 103379, 2020.

WACHE, H.; VOEGELE, T.; VISSER, U.; STUCKENSCHMIDT, H.; SCHUSTER, G.; NEUMANN, H.; HUBNER, S. Ontology-based integration of information—a survey of existing approaches., in: **OIS@IJCAI**, 2001.

WANG, J. et al. Life cycle assessment of building demolition waste based on building information modeling. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 178, n. October 2021, p. 106095, 2022.

WASTIELS, L.; DECUYPERE, R. Identification and comparison of LCA-BIM integration strategies. **IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.** 2019, p. 323.

XU, Z.; WANG, S.; WANG, E. Integration of BIM and Energy Consumption Modeling for Manufacturing Prefabricated Components: A Case Study in China. **Advances in Civil Engineering**, v. 2019, 2019.

YANG, X., HU, M., WU, J., ZHAO, B. Building- information-modeling enabled life cycle assessment, a case study on carbon footprint accounting for a residential building in China. **Journal of Cleaner Production**. n. 183, p. 729–743, 2018.

YAO, F. et al. Evaluating the environmental impact of construction within the industrialized building process: A monetization and building information Modeling approach. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 22, p. 1–22, 2020.

ZAINON, N. et al. Developing a framework for life cycle assessment of construction materials through building information Modeling (BIM). **International Journal of Innovation, Creativity and Change**, v. 10, n. 7, p. 253–276, 2019.

ZIMMERMANN, R. K.; BRUHN, S.; BIRGISDÓTTIR, H. Bim-based life cycle assessment of buildings—an investigation of industry practice and needs. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 10, 2021.