

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA APLICADA A EDIFICAÇÕES EM CONTÊINERES: REVISÃO CRÍTICA E CONTRIBUIÇÕES PARA A PADRONIZAÇÃO DAS PESQUISAS

* Giusilene Costa de Souza Pinho¹
João Luiz Calmon¹
Bárbara Maria de Paula Justino²

LIFE CYCLE ASSESSMENT APPLIED TO CONTAINER BUILDINGS: CRITICAL REVIEW AND CONTRIBUTIONS FOR RESEARCH STANDARDIZATION

Recibido el 1 de junio de 2022. Aceptado el 20 de septiembre de 2022

Abstract

The container construction system has become attractive for civil construction when recycling and reusing a product, but its much-publicized sustainability has yet to be proven, as it must consider the environmental, economic and social aspects of its complete life cycle. One of the consolidated tools that covers all these issues is the Life Cycle Assessment (LCA). Thus, this work aims to execute a critical review of the literature on the Life Cycle Assessment of buildings built with containers, identify the best practices and deficiencies, using ISO standards as a reference, and propose recommendations for future studies in this area. The methodology used for the systematic review was the Knowledge Development Process – Constructivist (Proknow-C). As a result, the work brings to light recommendations for better LCA practices applied to container buildings. For example, the functional unit (FU) adopted must be explained in detail, as the modules evaluated have different standardizations. Several gaps were highlighted, such as the need to expand studies on other environmental impacts, in addition to energy use and CO₂ emissions into the atmosphere. Finally, the critical review carried out identified a series of points that need greater clarity or to be made explicit. Thus, there is a latent need to standardize the studies, for a better practice of LCA. With the adoption of a standardized protocol, it will be possible to obtain more robust results that can be easily compared with other studies.

Keywords: container for housing, LCA, Proknow-C, sustainability.

¹ Universidade Federal do Espírito Santo, Campus Vitória, Brasil.

² Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Colatina, Brasil.

* *Autor Correspondente:* Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Av. Fernando Ferrari, 514, Vitória, Espírito Santo. CEP.: 29075 – 910, Brasil. Email: giusilene.pinho@ifes.edu.br

Resumo

O sistema construtivo contêiner tornou-se atrativo para a construção civil ao fazer a reciclagem e reutilização de um produto, mas a sua tão propagada sustentabilidade, ainda está por ser comprovada, pois deve contemplar os aspectos ambientais, econômicos e sociais de todo o seu ciclo de vida. Uma das ferramentas consolidadas que abrange todas essas questões é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Assim, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão crítica da literatura sobre Avaliação do Ciclo de Vida de edificações construídas com contêineres, identificar as melhores práticas e deficiências, tendo como referência as normas ISO e propor recomendações para futuros estudos nessa área. A metodologia empregada para a revisão sistemática foi a *Knowledge Development Process – Constructivist (Proknow-C)*. Como resultado, o trabalho traz à luz recomendações para melhores práticas de ACV aplicadas a edificações em contêiner. Por exemplo, a unidade funcional (UF) adotada deve ser explicitada detalhadamente, porque os módulos avaliados apresentam diferentes padronizações. Várias lacunas foram evidenciadas, como a necessidade de ampliação dos estudos referentes a outros impactos ambientais, além do uso de energia e emissão de CO₂ na atmosfera. Por fim, a revisão crítica realizada, identificou uma série de pontos que necessitam de maior clareza ou serem explicitados. Dessa forma, fica latente a necessidade de se padronizar os estudos, para uma melhor prática de ACV. Com a adoção de um protocolo único, será possível obter resultados mais robustos e que possam ser facilmente comparados com outras pesquisas.

Palavras-chave: habitação em contêiner, ACV, ProKnow-C, sustentabilidade.

Introdução

A nível mundial, aproximadamente 90% das mercadorias são transportadas em contêineres (Occhi e Almeida, 2016). Após cumprir seu papel de contentor de carga, o contêiner deixa de ser utilizado e é descartado em portos pelo mundo. Portanto, novos usos foram propostos para esses materiais. Destacando-se o sistema construtivo contêiner, pois apresenta-se como sustentável ao fazer a reciclagem e reutilização de um material. Desse modo, com a crescente introdução do contêiner marítimo reutilizado no setor da construção civil, faz-se necessária uma revisão aprofundada e atualizada das pesquisas que investigaram a sua sustentabilidade nessa área.

Deve ser analisado todo o ciclo de vida da construção em contêiner, para atestar a sustentabilidade dessa nova arquitetura. Segundo a ISO 14040 (ISO, 2006a), o ciclo de vida é um conjunto de todos os estágios de um sistema de produto, desde a obtenção da matéria prima, ou de sua geração provinda de recursos naturais, até sua disposição final. Essa análise é feita através da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). A ACV é uma ferramenta que proporciona uma visão geral do real impacto causado pela fabricação de determinado produto e mostra etapas críticas da produção, permitindo existir uma comparação entre processos e produtos para escolher a melhor opção dentre eles (Willers *et al.*, 2013).

Para uma visão abrangente em relação à tomada de decisão sobre o sistema construtivo a ser adotado, a escolha considerando o melhor desempenho ambiental nem sempre é a mais indicada. Outros fatores devem ser ponderados e analisados. Onat *et al.* (2014) exibem a

necessidade de avaliar todos os aspectos que tangem o tripé da sustentabilidade: questões ambientais, econômicas e sociais. Segundo os autores, focar somente nos aspectos ambientais pode desorientar as decisões a serem tomadas e prejudicar fatores econômicos e sociais ao tentar minimizar os impactos ambientais.

Sendo assim, o presente estudo tem como objetivo realizar uma revisão crítica da literatura sobre Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de edificações construídas com contêineres, identificar as melhores práticas e deficiências tendo como referência as normas ISO e propor recomendações para futuros estudos nesse campo.

Método

Para a realização desse estudo foi aplicada a metodologia *Knowledge Development Process – Constructivist, (ProKnow-C)* desenvolvido pelo Laboratório de Metodologias Multicritério em Apoio a Decisão (LabMCDA) da Universidade Federal da Santa Catarina (UFSC), no Brasil. Trata-se de um processo de pesquisa estruturado, com o objetivo de construir o conhecimento necessário para iniciar uma pesquisa (Reina *et al.*, 2014). O processo consiste em quatro etapas: (1) seleção de um portfólio bibliográfico (PB); (2) análise bibliométrica; (3) análise sistêmica do PB; e (4) identificação de lacunas na literatura.

Para obter uma melhor compreensão da realização das etapas dessa pesquisa, foram elaborados esquemas ilustrativos do processo, em especial, a primeira etapa de Seleção do PB, baseada nos estudos de Afonso *et al.* (2011), Lacerda, Ensslin e Ensslin (2012) e Reina *et al.* (2014). As Figuras 1, 2 e 3 ilustram como ocorre essa primeira etapa nas fases de buscas, filtragem e união dos artigos, respectivamente.

A busca dos artigos aconteceu em três bases de dados: *Scopus*, *Compendex* e *Web Of Science*, sendo definidas palavras-chave para 2 eixos de pesquisa, um relacionado a ACV: *life cycle assessment*, *life cycle energy analysis* e *sustainability*, e um relacionado à aplicação da ACV em contêineres na construção civil: *LCA in container*, *container housing* e *shipping container*. Ainda, houve restrição no período de publicação (2011 a 2021) e nas opções de pesquisa, com os termos buscados apenas nos títulos, resumos e palavras-chave dos estudos. Uma dissertação de 2010 foi incluída, por tratar-se de um trabalho pioneiro em relação ao tema.

Assim, foi gerado um Portfólio Bibliográfico (PB) com os artigos resultantes das buscas e iniciou-se a segunda etapa da metodologia. A análise bibliométrica buscou conhecer os estudos existentes nessa área, onde foram identificados os autores e periódicos de maior relevância e as palavras-chave que melhor identificam esse tema. Posteriormente, houve a análise sistêmica, onde foi realizada a leitura dos documentos do PB, iniciando a etapa de avaliação e comparação

dos trabalhos, formando assim, a crítica bibliográfica. Essa, foi realizada seguindo a estrutura das fases da ACV, de acordo com a ISO 14040 (2006a) e a ISO 14044 (2006b).

A metodologia ProKnow-C enriquece e beneficia a pesquisa por direcionar o pesquisador ao que deve ser feito e aponta o caminho para achar o que é de fato relevante para o estudo. Ao fim, nota-se um resultado certo, caso as etapas sejam seguidas adequadamente. Sendo, porém, um resultado variável, dado o vínculo dos artigos encontrados com as palavras-chave e as bases de dados definidas inicialmente pelo pesquisador. Contudo, é uma metodologia efetiva e objetiva que gera informações relevantes com rigor científico, minimizando buscas aleatórias ou incompletas, afim de obter uma pesquisa coerente e confiável.

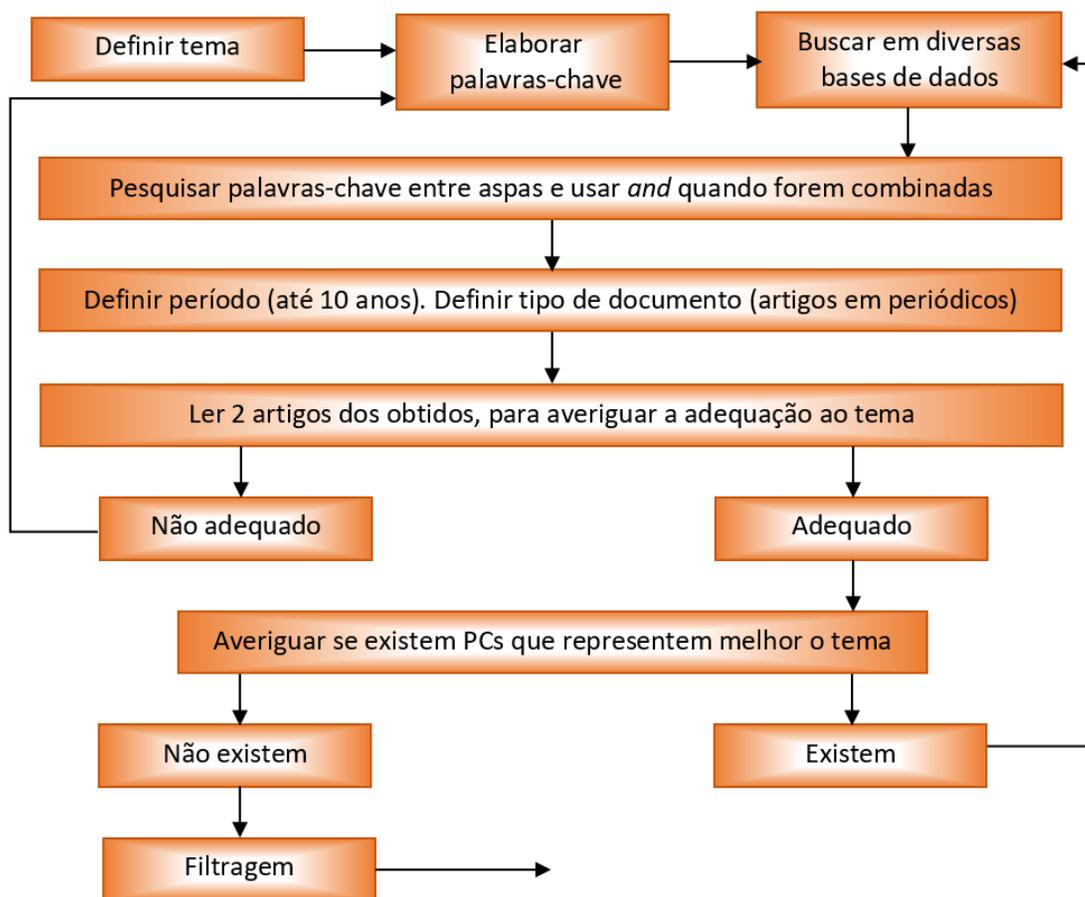


Figura 1. Seleção do Portfólio Bibliográfico: Buscas. Fonte: Autores (2021).

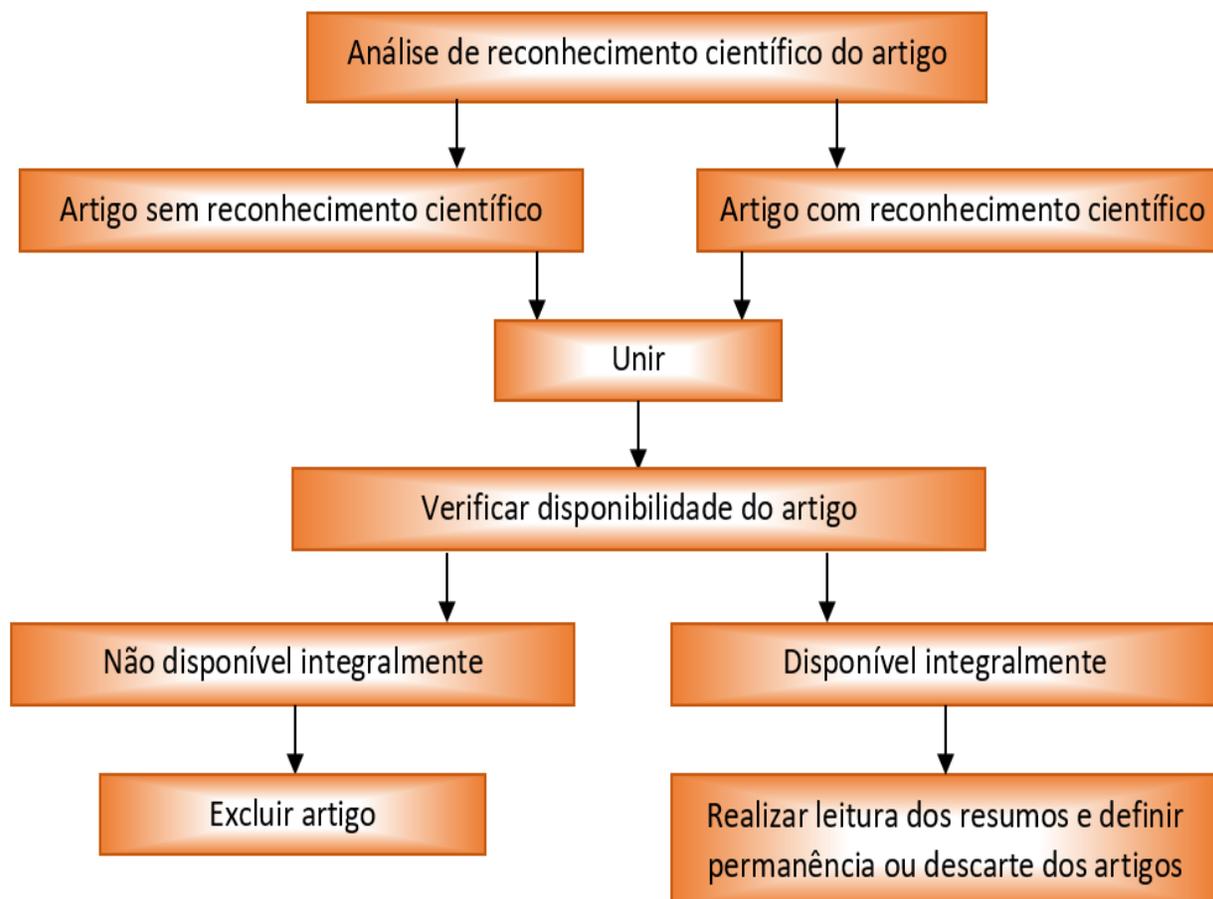


Figura 3. Seleção do Portfólio Bibliográfico: União dos artigos. *Fonte: Autores (2021).*

Resultados

Portfólio Bibliográfico

Após a definição dos parâmetros, foram realizadas as buscas através da combinação das palavras-chave dos dois eixos de pesquisa.

Os resultados passaram por todo o processo de filtragem e, seguindo a metodologia descrita, foram selecionados 11 artigos relacionados ao tema. Somam-se a revisão bibliográfica, 2 dissertações alinhadas com o tema. Composto assim, 13 estudos, apresentados na Tabela 1, para posterior análise bibliométrica.

Tabela 1. Portfólio Bibliográfico – PB.

Estudo	Autor(es)	Ano	Título	País	Revista
Artigo de revista 1 (A1)	Atmaca, Adem; Atmaca, Nihat.	2016	Comparative life cycle energy and cost analysis of post-disaster temporary housings	Turquia	Applied Energy
Artigo de revista 2 (A2)	Islam, Hamidul; Zhang, Guomin; Setunge, Sujeeva; Bhuiyan, Muhammed.	2016	Life cycle assessment of shipping container home: A sustainable construction	Austrália	Energy and Buildings
Artigo de revista 3 (A3)	Atmaca, Nihat.	2017	Life-cycle assessment of post-disaster temporary housing	Turquia	Building Research and Information
Artigo de revista 4 (A4)	Kuittinen, Matti; Takano, Atsushi.	2017	The energy efficiency and carbon footprint of temporary homes: a case study from Japan	Finlândia	International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment
Artigo de revista 5 (A5)	Schiavoni, Samuele; Sambuco, Sara; Rotili, Antonella; D'Alessandro, Francesco; Fantauzzi, Francesco.	2017	A nZEB housing structure derived from end of life containers: Energy, lighting and life cycle assessment	Itália	Building Simulation
Artigo de revista 6 (A6)	Atmaca, Adem.	2018	Sustainable life span prediction of shelters constructed in refugee camps in Turkey	Turquia	Energy, Ecology and Environment
Artigo de revista 7 (A7)	Dara, Chinyere; Hachem-Vermette, Caroline; Assefa, Getachew	2019	Life cycle assessment and life cycle costing of container-based single-family housing in Canada: A case study	Canadá	Building and Environment
Artigo de revista 8 (A8)	Dara, Chinyere; Hachem-Vermette, Caroline.	2019	Evaluation of low-impact modular housing using energy optimization and life cycle analysis	Canadá	Energy, Ecology and Environment
Artigo de revista 9 (A9)	Bertolini, Mattia; Guardigli, Luca.	2020	Upcycling shipping containers as building components: an environmental impact assessment	Itália	The International Journal of Life Cycle Assessment
Artigo de revista 10 (A10)	Caldas, Lucas Rosse; Abreu-Harbach, Loyde Vieira de; Hora, Karla Emmanuela Ribeiro. Satola, Daniel; Kristiansen, Audun B.; Houlihan-Wiberg, Aoife Anne M.; Gustavsen, Arild; Ma, Tao, Wang, Ruzhu.	2020	Avaliação ambiental de alternativas construtivas de um edifício contêiner	Brasil	PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção
Artigo de revista 11 (A11)	Aoife Anne M.; Gustavsen, Arild; Ma, Tao, Wang, Ruzhu.	2020	Comparative life cycle assessment of various energy efficiency designs of a container-based housing unit in China: A case study	Noruega; China; Reino Unido	Building and Environment
Disser-Tação	Perfeito, Perivaldo Alves.	2017	Avaliação do ciclo de vida de uma habitação de interesse social construída a partir de contêineres marítimos reciclados	Brasil	-
Disser-Tação	Olivares, Alejo Andrés Palma.	2010	Sustainability in prefabricated architecture : A comparative life cycle analysis of container architecture for residential structures	Nova Zelândia	-

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Análise Bibliométrica do Portfólio Bibliográfico (PB)

Após a formação do Portfólio Bibliográfico, inicia-se a etapa de análise bibliométrica dos artigos encontrados, levando em consideração: a relevância dos periódicos onde estão publicados; o reconhecimento científico dos artigos; os autores de destaque; e as palavras-chaves mais utilizadas.

Nota-se que os 11 artigos estão diluídos em 9 periódicos, apresentando apenas o *Energy, Ecology and Environment* e *Building and Environment* em destaque, por possuírem duas publicações do PB cada. O número de publicações por país, em relação à instituição de origem do primeiro autor,

possui uma maior concentração de estudos na Turquia, com três artigos, na Itália e Canadá, com dois cada, e no Brasil, com um artigo e a dissertação.

A segunda análise consiste em identificar a relevância científica dos artigos através do número de citações que possuem, utilizando como base o Google Acadêmico (2021). Observa-se que os artigos 01, 02 e 03 destacam-se por apresentarem maior número de citações. Alguns estudos, mesmo não sendo ainda muito citados, mantiveram-se como parte do portfólio bibliográfico por serem de relevância ao tema e apresentarem discussões mais recentes. A terceira etapa busca identificar os autores do PB que mais publicaram. Adem Atmaca, Nihat Atmaca, Dara Chinyere e Caroline Hachem-Vermette destacam-se por participarem de dois artigos cada, os outros autores apresentaram somente uma publicação no PB. A quarta etapa buscou as palavras-chave mais utilizadas nos artigos, onde a única encontrada em todos os estudos foi “*life cycle assessment*”.

Crítica bibliográfica

Nessa etapa foi realizada a leitura do PB para conhecer os estudos existentes nessa área, verificar as melhores práticas e deficiências, tendo como referência as normas ISO e identificar lacunas existentes no tema. Para isso, os estudos foram separados e comparados seguindo a estrutura das fases da ACV, identificadas como: definição do objetivo e escopo, análise do inventário do ciclo de vida (ICV), avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) e interpretação. Estas etapas estão evidenciadas na figura 4.

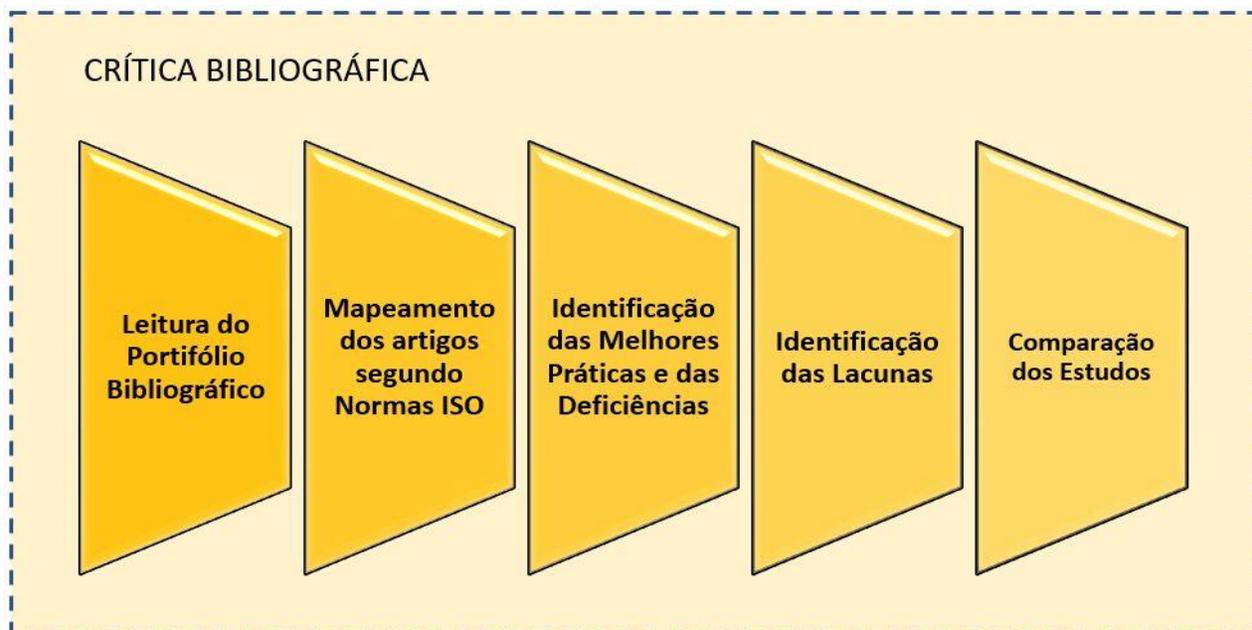


Figura 4. Etapas percorridas para a construção da crítica bibliográfica. Fonte: Autores (2021).

Definição do objetivo e escopo

Os objetivos dos estudos analisados podem ser separados em pesquisas comparativas entre métodos construtivos, onde o contêiner foi comparado com habitações pré-fabricadas, habitações em madeira ou em concreto (Olivares, 2010; Atmaca e Atmaca, 2016; Atmaca, 2017; Kuittnen e Takano, 2017; Dara *et al.*, 2019; Bertolini e Guardigli, 2020), análises comparativas entre habitações em contêiner com diferentes envoltórias e características (Schiavoni *et al.*, 2017; Dara e Hachem-Vermette, 2019; Caldas *et al.*, 2020; Satola *et al.*, 2020) e estudos voltados para avaliar apenas a construção em contêiner (Islam *et al.*, 2016; Perfeito, 2017; Atmaca, 2018).

A vida útil variou de 3 a 100 anos, baseada na função da habitação, podendo ser uma habitação temporária ou uma residência unifamiliar permanente, que foram os principais objetos de estudos das pesquisas. Os módulos avaliados nas pesquisas apresentam diferentes padronizações e tamanhos, o que leva a distinções nas unidades funcionais. A Tabela 2 resume as informações das unidades funcionais, vida útil, ocupação e uso das habitações.

A ACV pode ter uma abordagem atribucional, considerando os fluxos físicos imediatos como recursos, materiais, energia e emissões, ou pode ser consequencial, tendo como meta descrever como os fluxos físicos podem ser alterados como consequência da ampliação ou redução da demanda pelo sistema de produto analisado (Earles e Halog, 2011). Observou-se que nos artigos do PB apenas Caldas *et al.* (2020) e Satola *et al.* (2020) especificaram o tipo adotado, sendo ambos uma abordagem atribucional.

As fases do ciclo de vida são comumente divididas em pré-uso, que consiste na etapa de fabricação, construção e transporte de materiais; uso ou operação, onde a habitação de fato desempenha seu papel como moradia, podendo incluir reformas, adaptações e manutenções; e pós-uso, etapa de fim de vida que engloba a demolição, transporte, aterro ou reciclagem dos resíduos. Desse modo, as fronteiras do sistema podem ser consideradas de diferentes formas, como: “do berço ao túmulo”, que avalia do pré-uso ao pós uso; “do berço ao portão”, que considera o portão da fábrica e foca nos materiais de construção; “de portão a portão”, que considera do portão da fábrica ao do canteiro de obras e avalia os processos de construção; “do berço ao berço”, que avalia todas as fases e considera a possibilidade de desmontagem e remontagem ou reutilização ao fim da vida (Sauer e Calmon, 2019), além de outras possibilidades.

Na maioria dos casos do PB, foram avaliadas todas as fases do ciclo de vida das habitações, sendo considerada a fronteira “do berço ao túmulo”. Porém, alguns estudos realizaram a análise “do berço ao berço” (Bertolini e Guardigli, 2020; Satola *et al.*, 2020), e alguns deram maior enfoque a fase de construção e operação (Atmaca, 2018; Perfeito, 2017).

Tabela 2. Unidade funcional, vida útil, ocupação e uso das habitações.

Estudo	Unidade funcional	Vida útil	Ocupação	Uso
A1	4 caixas pré-fabricadas: 5×10m; 6×10m; 7×10m; 8×10, 1 piso, altura: 2.8m / 4 caixas contêiner: 5×2m, 5×4m, 6×4m e 6×5m, 1 piso, altura: 2.6m	15 anos	4 pessoas por unidade	Habitação temporária
A2	Edifício com 2 andares composto por 4 contêineres padrão ISO (40'): 12.2x2.4m com altura: 2.6m. Dimensão total de 12.2x4.9m	60 e 100 anos	4 pessoas	Residência unifamiliar
A3	Habitação pré-fabricada (P), área bruta: 70m ² , 1 piso, altura: 2.8m / Casa contêiner (C), área bruta: 21m ² , 1 piso, altura: 2.6m	P: 25 anos / C: 15 anos	P: 5 Pessoas / C: 4 pessoas	Habitação temporária
A4	Grupo de 189 casas temporárias feito de 2 ou 3 contêineres (área útil variável: 27.47 a 32.27m ² por abrigo) / Abrigo de madeira com quatro apartamentos / Abrigo pré-fabricado composto por quatro	3 anos	variável	Habitação temporária
A5	Construção com um contêiner padrão ISO (20'): 15.8m ² (6.10x2.59m), altura: 2.44m	10 anos	1 pessoa	Habitação temporária e/ou de baixo custo
A6	Casa com um contêiner: área bruta: 21m ² , 1 piso, altura: 2.6m	5 a 40 anos	4 pessoas	Habitação temporária
A7	Edifício de 2 andares: área bruta: 238m ² , altura total: 7.6m. Andar principal composto por 4 módulos padrão ISO High Cube (40'), dimensões totais: 12.2x9.75m, altura: 2.9m / Edifício em madeira com configuração e tamanho similar	50 anos	3 pessoas	Residência unifamiliar
A8	Edifício de 2 andares: área bruta: 238m ² , altura total: 7.6m. Andar principal composto por 4 módulos padrão ISO High Cube (40') com dimensões totais: 12.2x9.75m, altura: 2.9m	60 anos	3 pessoas	Residência unifamiliar
A9	Edifício com 2 andares e 6 contêineres padrão ISO (40') de 12.2x2.4m. Área útil: 206.12m ² / Edifícios com estrutura de aço e um com estrutura de madeira laminada cruzada com a mesma área e configuração	75 anos	-	Residência unifamiliar
A10	Um contêiner padrão ISO High Cube (40'): 28.15 m ² (medidas internas: 12.03x2.34m), altura: 2.71m	50 anos	3 pessoas	Comercial: Escritório
A11	Casa com um contêiner: 9x3m, altura: 2.9 m. Área bruta: 27m ² , área útil: 21m ²	25 anos	2 pessoas	Habitação temporária
Disser- tação	Habitação com um contêiner padrão ISO High Cube (40'): 12.2x2.4m, altura: 2.89m, área construída: 31.60m ² e área útil: 26.52m ²	-	2 pessoas	Habitação de interesse social
Disser- tação	Casa contêiner 3 módulos padrão ISO High Cube (40'): 148.75m ² / Casa de concreto: 160.5m ² / Casa de madeira: 153.5m ²	100 anos	4 pessoas por habitação	Residência unifamiliar

Fonte: Autores (2021).

Manutenções, reparos e adaptações também foram levados em consideração em alguns estudos (Islam *et al.*, 2016; Kuittinen e Takano, 2017; Schiavoni *et al.*, 2017; Dara e Hachem-Vermette, 2019; Caldas *et al.*, 2020; Satola *et al.*, 2020). Demolições e descartes foram avaliados na maioria dos casos, considerando o uso de equipamentos pesados para demolição (Atmaca; Atmaca, 2016; Atmaca, 2017), a disposição dos materiais em aterros, exceto o aço, ou incineração (Islam *et al.*, 2016; Schiavoni *et al.*, 2017; Dara *et al.*, 2019; Caldas *et al.*, 2020) e a reciclagem dos materiais como compensados, vidro e aço (Schiavoni *et al.*, 2017; Dara *et al.*, 2019).

Relacionado a isso, Bertolini e Guardigli (2020) trataram dos benefícios e cargas relacionadas à reutilização, recuperação e reciclagem. Por fim, para alguns estudos a fase final de vida foi baseada em literaturas existentes, que estimam a energia de demolição em 0,2% do consumo total de energia (Atmaca, 2017; Atmaca, 2018). Ressalta-se que por existir uma variedade de análises possíveis, cada estudo deve deixar claro quais etapas serão estudadas em sua ACV, adequando-se aos limites do sistema escolhido, onde são definidos critérios para serem ou não avaliados de acordo com o objetivo e escopo estabelecidos.

Os materiais mais estudados, além do módulo de aço, foram a madeira, usada em construções residências tradicionais comparadas com o contêiner (Olivares, 2010; Kuittinen e Takano, 2017; Dara *et al.*, 2019; Bertolini e Guardigli, 2020) e o concreto usado nas fundações ou aplicados em sistemas pré-fabricados. Também foram estudados materiais de isolamento externo (Schiavoni *et al.*, 2017; Caldas *et al.*, 2020; Satola *et al.*, 2020) e a influência das paredes internas de *drywall* (Perfeito, 2017). Ainda, foi estudada a incorporação de soluções mais ambientalmente amigáveis nas construções (Schiavoni *et al.*, 2017; Dara *et al.*, 2019; Satola *et al.*, 2020).

Análise de Inventário do ciclo de vida

Nessa etapa são fornecidas todas as informações sobre as entradas e saídas que de algum modo impactam no ciclo de vida. As informações podem ser obtidas in loco ou por bancos de dados variados. Também podem ser extraídas de empresas, organizações e estudos realizados. Ressalta-se que o ideal seria utilizar bancos de dados locais em cada estudo, pois os impactos identificados no ciclo de vida são fortemente ligados a realidade local da análise (Passuello, *et al.*, 2014) e o uso de dados de outras áreas geográficas pode gerar resultados distintos dessa realidade (Azevedo *et al.*, 2020).

Como usualmente são utilizados dados secundários nos trabalhos, faz-se necessário o uso de indicadores de qualidade de dados como a Matriz Pedigree, para sinalizar a sua robustez na pesquisa (Weidema e Wesnaes, 1996). A matriz Pedigree incorpora cinco indicadores: confiabilidade, completeza, correlações temporal, geográfica e tecnológica. Esses são

avaliados dentro da variação numérica de 1 a 5, sendo o valor “1” referente ao dado de melhor qualidade. O foco do trabalho geralmente irá influenciar na interpretação da matriz (Lohmann *et al.*, 2020).

Nesta revisão, somente um estudo utilizou dados primários colhidos no local (Atmaca e Atmaca, 2016). 100% das pesquisas usaram dados da literatura e o Ecoinvent foi o banco de dados mais utilizado para a coleta de dados secundários. Outros bancos de dados como o Gabi, o banco de dados australiano (AusLCI) e o banco de dados inglês *Inventory of Carbon and Energy* (ICE), também foram usados nos estudos.

Avaliação e interpretação do impacto do ciclo de vida

Essa etapa busca relacionar todos os dados coletados a impactos ambientais que eles podem causar. Depois de coletados, os dados são inseridos nos *softwares* de ACV. A Figura 5 elucida os *Softwares* identificados, onde destacam-se o SimaPro (31%) e o *Athena Impact Estimator* (15%), como os softwares mais utilizados nos estudos. Apenas 1 trabalho utilizou o software Gabi (Olivares, 2010). 46% dos estudos não informaram o software utilizado, sendo este um dado importante para a replicabilidade das pesquisas.

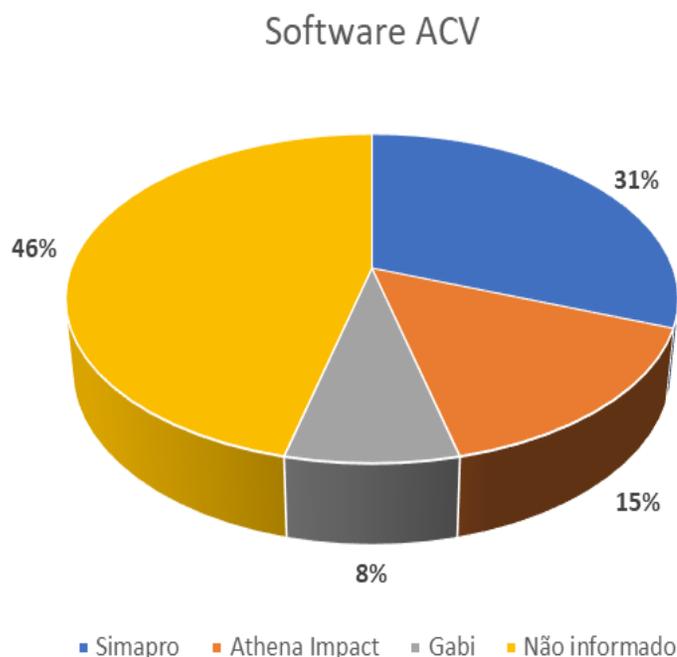


Figura 5. Softwares identificados em estudos de ACV que fazem parte do PB. *Fonte: Dados da pesquisa (2021).*

Para obter um panorama mais completo e interrelacionado, foi utilizada nesta revisão uma abordagem orientada pelo estudo de Jolliet *et al.* (2003). Embora poucos estudos tenham definido o método de avaliação de impactos usado, buscou-se aqui, com as informações disponibilizadas em cada trabalho, separar todas as categorias de impactos identificadas em *midpoints* e *endpoints*, como mostra a Figura 6.

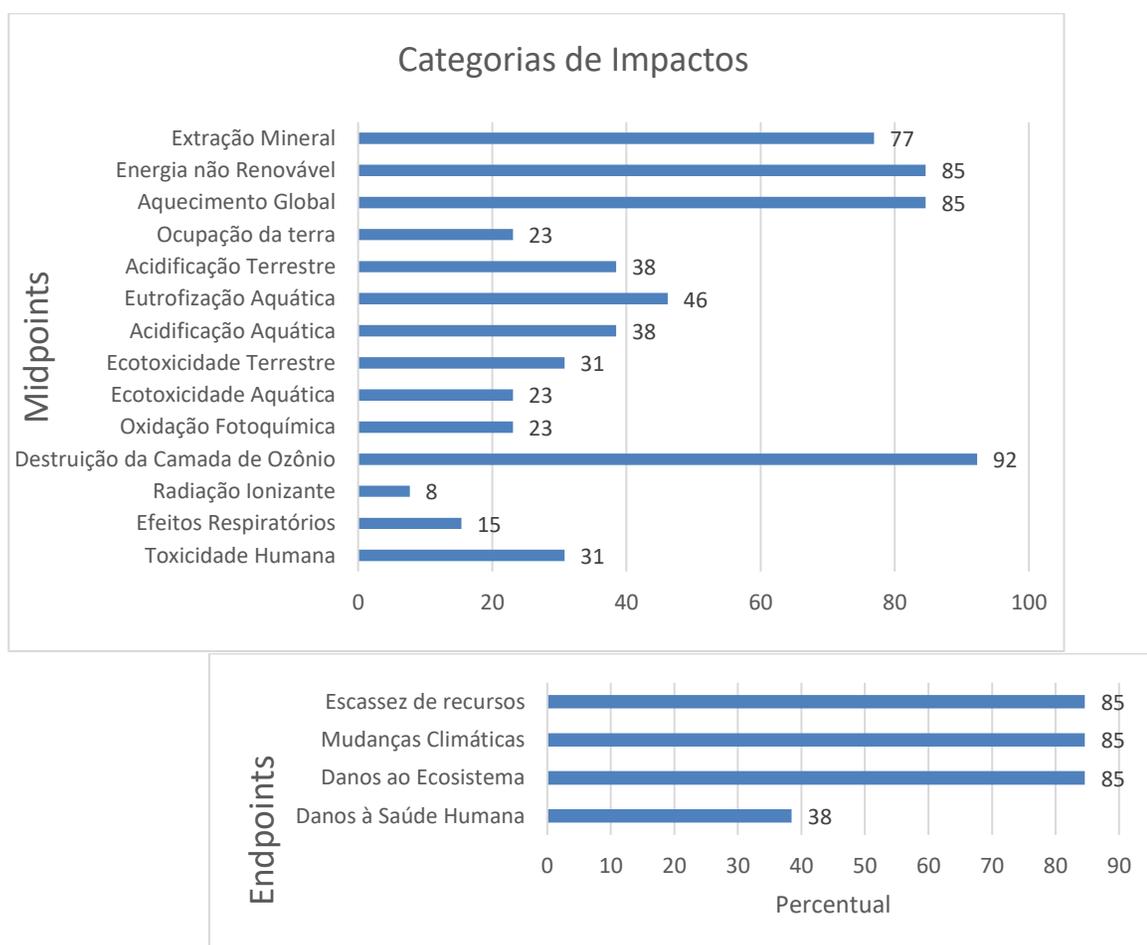


Figura 6. Categorias de impactos avaliados nos artigos do portfólio bibliográfico. Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Nos trabalhos analisados as categorias de destruição da camada de ozônio (92%), energia não renovável (85%) e aquecimento global (85%) foram as categorias de *midpoints* mais estudadas. Em relação as categorias de *endpoints*, destacaram-se escassez de recursos, mudanças climáticas e danos ao ecossistema sendo adotadas em 85% das pesquisas.

A definição da metodologia de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) foi encontrada em somente 38% das pesquisas e 62% dos estudos não informaram o método utilizado. Os trabalhos que explicitaram a metodologia de AICV, adotaram principalmente o CML 2001 (Perfeito, 2017); Impact 2002+ (Caldas et al., 2020); Traci (Dara e Hachem-Vermette, 2019) e ReCiPe (Satola *et al.*, 2020).

Contribuições de impactos

Com as análises feitas, nota-se que a fase do pré-uso (fabricação e construção) apresentou impacto ambiental expressivo, justificado pela produção e consumo do concreto empregado nas fundações das habitações (Atmaca e Atmaca, 2016; Perfeito, 2017; Atmaca, 2018). Além disso, quando considerado o impacto da fabricação do módulo de aço, a fase de pré-uso mostrou-se dominante, pois os encargos ambientais da produção do contêiner foram adicionados ao ciclo de vida da habitação, como mostram Kuittnen e Atsushi (2017). Esses autores consideraram os abrigos feitos com módulos mais eficientes em termos energéticos na fase de operação, onde o consumo anual de energia dos abrigos de contêineres foi 51% menor que os de madeira e 65% menor que os pré-fabricados. Pois, nos abrigos pré-fabricados e de madeira, o uso de energia na fase de operação foi dominante, representando 62% e 64% do balanço energético do ciclo de vida, respectivamente. Já o abrigo de contêineres mostrou um balanço energético diferente, pois a maior parte da energia (59%) foi consumida na fase de produção e a menor (14%) na fase de operação (Kuittnen e Atsushi, 2017).

Entretanto, Dara *et al.* (2019) atestam que em um cenário onde os impactos ambientais da fabricação do contêiner (pré-uso) são direcionados a sua vida passada como equipamento de transporte, não tendo nenhum impacto considerado nessa fase no ciclo de vida da habitação, o módulo apresenta um desempenho ambiental melhor do que as habitação em madeira, pois há uma redução dos encargos ambientais direcionados ao módulo como habitação.

Contudo, em um âmbito geral, a fase de operação, onde é necessário uso de energia para manter as condições de conforto em uma casa, obteve as demandas de energia e emissões de CO₂ dominantes (Atmaca e Atmaca, 2016; Islam *et al.*, 2016), justamente por ser a fase que a habitação é utilizada pelos moradores. Já a fase de pós-uso requer energia para demolição e apresenta maior impacto na geração de resíduos.

Quanto à influência do posicionamento e disposição das habitações, Kuittnen e Atsushi (2017) pontuam que o agrupamento de abrigos em edifícios lado a lado ou sobrepostos aumenta consideravelmente sua eficiência energética. Pois quando as habitações compartilham divisórias, teto e piso com vizinhos, tendo menos paredes externas expostas, as perdas de calor são menores (Kuittnen e Atsushi, 2017). Desse modo, os contêineres empilhados um sobre o outro obtiveram melhor desempenho energético em comparação com outros modelos.

Outra consideração, são as influências dos contextos climáticos nos impactos gerados. Impactos como acidificação e eutrofização foram detectados principalmente pelos estágios de produção e substituição dos materiais necessários para fornecer o conforto térmico adequado em climas quentes (Bertolini e Guardigli, 2020). Ainda, os locais com temperatura mais elevada apresentaram maior gasto de energia para climatização, e conseqüentemente, maior impacto no ciclo de vida.

Atmaca (2018), avaliando o ciclo de vida útil de abrigos para refugiados entre 4 e 50 anos, concluiu que quanto maior a vida útil das habitações temporárias, melhores serão seus valores de eficiência energética e de emissão, pois o consumo de energia do ciclo de vida e as emissões de CO₂ dos alojamentos apresentaram redução ao longo do tempo, justificada pela estabilidade dos abrigos. Foi constatada uma redução de 50% no consumo de energia e nas emissões de CO₂ dos abrigos após 10 anos de construção, mostrando que eles devem ser utilizados o maior tempo possível, para diminuir os impactos ambientais dos alojamentos. Vale destacar que nessa análise que a manutenção não foi considerada, sendo assim, devem ser empregadas melhores técnicas de isolamento e materiais de boa qualidade para contribuir com a durabilidade e com o aumento da vida útil do abrigo.

Entretanto, analisando um cenário diferente, o trabalho de Islam *et al.* (2016), voltado para edifícios residenciais, avaliando também impactos como acidificação, ecotoxicidade e uso de água, mostrou que os impactos nas fases de uso e manutenção aumentaram significativamente com o aumento da vida útil (de 60 pra 100 anos), devido a ocorrência de grandes e pequenas reformas ao longo do tempo. Também relacionado as reformas e a maior vida útil, houve um aumento do uso de água na fase de construção e dos resíduos sólidos na fase de descarte.

Ainda, o estudo de Dara e Hachem-Vermette (2019) mostrou que realizar aprimoramentos no contêiner como projeto de proteção solar, estratégias com alto isolamento e estanqueidade, possibilita uma redução de aproximadamente 79% no consumo anual de energia utilizada na operação da habitação. Portanto, embora um contêiner com essas estratégias necessite de maior gasto de energia na fase de pré-uso, ele ainda se apresenta vantajoso, pois melhora o desempenho energético e reduz os impactos ambientais e custos, a longo prazo, na fase de uso. O mesmo aplica-se ao trabalho de Schiavoni *et al.* (2017), onde a adoção de painéis fotovoltaicos cobriu totalmente a demanda de consumo de energia para aquecimento, refrigeração e iluminação durante a fase de uso. Portanto, existe potencial de integração de construções de contêineres reciclados com projetos solares passivos.

Os impactos relacionados ao consumo de energia e as emissões de CO₂ se destacaram nas análises realizadas. Porém, alguns estudos avaliaram outros possíveis impactos das construções. Perfeito (2017) pontuou sobre a acidificação, onde o processo de zincagem realizado no tratamento das superfícies dos parafusos e montantes que constituem o *drywall* representam o

maior impacto, seguido pelo transporte; a eutrofização, em que os processos de descarte de rejeitos de sulfato e rejeitos de mineração lignito obtiveram maiores impactos, sendo o descarte de sulfato integralmente relacionado ao uso das paredes de *drywall*; a formação fotoquímica de ozônio (nível do solo), que teve maior impacto causado pelo uso de energia no sistema, onde o maior gasto nessa categoria foi marcado pela soldagem; e a ecotoxicidade, onde novamente o processo de zincagem obteve maior valor de impacto.

O estudo de Perfeito (2017) permite observar que os impactos foram em sua maioria relacionados as paredes de *drywall*, quando avaliada apenas a fase de construção da edificação. Portanto, o autor recomenda a busca por soluções que garantam a estabilidade oxidativa dessas peças e que apresentem menor impacto no ciclo de vida. Entretanto, quando comparadas todas as fases do ciclo de vida, a fase operacional mostrou maior contribuição no potencial de acidificação e de eutrofização, enquanto as fases de construção e disposição foram os principais contribuintes do consumo de água e geração de resíduos sólidos (Islam *et al.*, 2016; Dara *et al.*, 2019).

Quanto aos custos, Atmaca e Atmaca (2016) constataram que o custo total do ciclo de vida da habitação em contêiner foi relativamente baixo comparado a habitação pré-fabricada, e que os gastos com projeto e contas de serviços públicos tiveram maiores contribuições para ambos os casos. No estudo de Dara *et al.* (2019), a análise com relação ao custo mostrou que o investimento inicial para casas de madeira foi mais alto do que para as casas de contêineres. O estudo apresentou ainda outros benefícios para essas habitações, como a menor geração de resíduos, seu maior potencial de reciclagem e a oportunidade de maximizar a vida útil do módulo, reutilizando-o como habitação, ao mesmo tempo que contribui para resolver um problema com moradias populares e a redução de resíduos nos portos.

Algumas incertezas surgiram principalmente relacionadas às distâncias de transporte, a vida útil de habitações temporárias, fatores de conversão de energia e a vida útil dos materiais empregados nas habitações. Além das futuras mudanças de preço quando avaliados os custos, visto que o valor do dinheiro hoje não será o mesmo do dinheiro empregado futuramente (Atmaca e Atmaca, 2016). Tais fatores, foram avaliados quanto à sensibilidade e podem influenciar e diferenciar os resultados dos estudos.

A ausência de uma padronização na realização da ACV, mostra-se como um fator limitante (Sauer e Calmon, 2019), pois cada estudo apresenta informações diferentes e conseqüentemente, a maioria dos resultados obtidos são difíceis de serem comparados. Isso evidencia a necessidade de uma diretriz comum quando houver comparações de sistemas ou produtos, para que a análise ocorra de maneira coerente, sem beneficiar ou prejudicar nenhum dos casos comparados. Ainda assim, lacunas, recomendações e conclusões puderam ser absorvidas das pesquisas, baseadas nas definições propostas por cada estudo.

Lacunas a serem resolvidas em futuros trabalhos

A ausência de um padrão nos bancos de dados usados pode ser considerada uma lacuna nas análises, evidenciando a necessidade de bancos de dados específicos para cada região de estudo. Dados de inventário divergentes geram resultados divergentes, principalmente quando consideradas ou não determinadas fases. Outra lacuna a ser pontuada é a ausência de definição do método de impacto utilizado como base nos estudos, bem como estudos comparativos entre diferentes métodos.

A maior parte dos impactos ocorrem nas fases de construção e operação. Já as fases de fim de vida, como demolição e descartes, geralmente têm baixo impacto no ciclo de vida, sendo desconsiderados em alguns dos estudos, o que mostra uma abertura para investigações que busquem entender melhor os impactos dessa fase. Além disso, os próprios limites dos sistemas definidos por cada estudo geram variações nos resultados, como a vida útil estipulada para a habitação, que influencia nos impactos causados a longo prazo, diminuindo-os ou aumentando-os.

As interpretações dos resultados são norteadas pelo conjunto da avaliação, influenciadas pelo objetivo e escopo do estudo. Vê-se que, em relação a ACV, poucos estudos investigaram a viabilidade do local para implantação da edificação em contêiner. Até que ponto a distância a percorrer com o módulo compensa seu uso em locais mais afastados de portos ou fábricas de módulos?

Grande parte dos estudos de ACV que analisaram edificações em contêineres voltaram-se ao uso de energia e emissões de CO₂, o que mostra lacunas existentes quanto a outros impactos ambientais como uso da água, acidificação, eutrofização, formação fotoquímica, ecotoxicidade, consumo de combustíveis fósseis, poluição atmosférica e aspectos relacionados a saúde humana. Além disso, as análises econômicas e sociais também devem ser incentivadas para o desenvolvimento de avaliações de sustentabilidade do ciclo de vida.

Recomendações para uma melhor prática de ACV aplicada a edificações em contêineres

Definição do Objetivo e escopo

- Considerar todos os tipos de estudo incluindo artigos, dissertações e teses para delinear o objetivo da pesquisa de forma consistente, visto que existem poucas pesquisas que abordam este tema;
- Explicitar de forma detalhada a unidade funcional adotada porque os módulos avaliados nas pesquisas apresentaram diferentes padronizações e tamanhos. O módulo mais utilizado nos estudos foi o padrão ISO High Cube (40');
- Caracterizar o módulo em relação ao tipo de uso (residencial, comercial, temporário ou definitivo), ocupação (número de habitantes) e vida útil;
- Informar o tipo de condução, se abordagem atribucional ou consequential, porque influencia diretamente nos resultados do estudo;

- Delimitar as fronteiras do sistema de forma clara, justificando os critérios definidos para adicionar ou excluir uma etapa. Nesta revisão, o limite “do berço ao túmulo”, que avalia do pré-uso ao pós-uso foi o mais adotado nas pesquisas.

Análise de Inventário do ciclo de vida

- Coletar dados primários representativos da edificação em estudo;
- Utilizar banco de dados diretamente ligados a região em estudo. Por exemplo alguns autores destacam que o emprego da habitação em contêiner em climas mais frios apresenta-se menos impactante, do que em climas mais quentes, onde exige-se uma escolha mais cuidadosa de materiais que preservem o conforto térmico;
- Construir um inventário fidedigno com as realidades locais da edificação em contêiner analisada;
- Buscar fontes de dados seguras para os fluxos que, segundo a literatura, geram maiores impactos;
- Os dados de primeiro e segundo plano devem ser apresentados de forma clara, se possível, dentro de uma tabela geral.

Avaliação e interpretação do impacto do ciclo de vida

- Informar explicitamente todos os softwares utilizados, bem como suas versões. Esta é uma informação essencial para que as pesquisas possam ser replicadas;
- Definir claramente a metodologia AICV e, para reduzir as incertezas relativas a alguns tipos de impacto, adotar mais de um método;
- Considerar ou não o impacto ambiental da fabricação do contêiner (pré-uso), leva a diferentes resultados nas análises. Um cenário onde os impactos ambientais da fabricação do contêiner (pré-uso) são direcionados a sua vida passada como equipamento de transporte, não tendo nenhum impacto considerado nessa fase no ciclo de vida da habitação, o módulo tende a apresentar um desempenho ambiental melhor em comparação com outros sistemas, pois há uma redução dos encargos ambientais direcionados ao módulo como habitação. Além disso, o novo ciclo para o contêiner evita o descarte e o transporte de volta ao País de origem, o que mostra os impactos ambientais que podem ser evitados ao reutilizar o módulo descartado;
- Realizar análises de sensibilidade e incertezas para uma maior consistência das pesquisas;
- Analisar os efeitos de escolhas diferentes relacionadas aos métodos utilizados e aos dados considerados, nos resultados da ACV, através de verificações de sensibilidade. Combinar análise de sensibilidade e propagação de incerteza para identificar pontos críticos da análise realizada. Análises recorrentes encontradas nos artigos: análise comparativa entre cenários considerando ou não o impacto da fabricação do módulo, efeitos da alteração da vida útil e da realização de reformas e manutenções, as distâncias para transportes, e outros fatores gerados conforme cada estudo.

Conclusão

Os resultados dos estudos do PB mostraram que, numa perspectiva ambiental, o sistema construtivo contêiner apresenta-se como promissor, principalmente com módulos reutilizados, sendo mais interessante redirecionar um módulo existente e em desuso para um novo uso como habitação. Vale lembrar que ao fabricar um novo contêiner para ser usado especificamente como moradia, todos os impactos ambientais de fabricação serão direcionados à habitação. Contudo, quando se permite uma segunda vida a um módulo existente, esses impactos podem ser divididos entre os dois ciclos de vida, reduzindo os encargos ambientais sobre a edificação. Ainda, existem os impactos ambientais que podem ser neutralizados ao reutilizar um contêiner, evitando seu descarte e a produção de novos materiais.

A maioria dos estudos realizaram comparação do sistema construtivo contêiner com sistemas tradicionais de suas regiões, buscando identificar os que apresentam melhor desempenho ambiental e os que mais se adequam ao local. Os fatores definidos inicialmente podem gerar diferentes resultados na ACV, como questões locais (clima, fontes energéticas, hábitos culturais) e questões projetuais (revestimentos, fundação, unidade funcional, disposição no terreno, número de ocupantes, vida útil), entre outros fatores.

Os estudos mostram pontos positivos e negativos quanto ao uso do contêiner, porém, vale ressaltar que se deve fazer distinção quanto aos impactos causados em diferentes contextos. Bem como priorizar o que é de maior relevância para cada situação, se são os custos, as emissões causadas no transporte, a menor geração de resíduos ao fim da obra e fim de vida ou os impactos evitados da produção de novos materiais. Os impactos sempre vão existir. Cabe, ao analisar os resultados da ACV, optar pelos que melhor se aplicam à situação e minimizam os danos ambientais.

Entretanto, a sustentabilidade do ciclo de vida é amparada por três pilares distintos, mas relacionados: os aspectos ambientais, econômicos e sociais. Foi possível observar que ainda existem poucos estudos de ACV para edificações em contêiner, e as pesquisas já realizadas se dedicaram majoritariamente para questões ambientais. Poucos estudos voltaram-se para questões econômicas, ressaltando ainda, a lacuna existente no âmbito social.

Por fim, a revisão crítica realizada, tendo como referência as normas ISO, permitiu identificar nos trabalhos uma série de pontos que necessitam de maior clareza ou serem explicitados. Dessa forma, fica latente a necessidade de padronização dos estudos, para uma melhor prática de ACV aplicada a edificações em contêineres. Com a adoção de um protocolo único, será possível obter resultados mais robustos e que possam ser facilmente comparados com outras pesquisas.

Agradecimientos

Os autores deste estudo agradecem o apoio financeiro concedido pela Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), projeto 107/2019.

Referências bibliográficas

- Afonso, M. H. F. (2011). Como construir conhecimento sobre o tema de pesquisa? Aplicação do processo Proknow-C na busca de literatura sobre avaliação do desenvolvimento sustentável, *Revista de Gestão Social e Ambiental*, São Paulo, **5**(2), 47-62. Acesso em 10 de junho de 2019, disponível em: <https://rgsa.emnuvens.com.br/rgsa/article/view/424>.
- Atmaca, A., Atmaca, N. (2016). Comparative life cycle energy and cost analysis of post-disaster temporary housings. *Applied energy*, **171**, 429-443. Acesso em: 13 de março de 2021, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261916303786>.
- Atmaca, A. (2018). Sustainable life span prediction of shelters constructed in refugee camps in Turkey, *Energy, Ecology and Environment*, **3**(1), 5-12. Acesso em: 13 de março de 2021, disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40974-017-0053-z>.
- Atmaca, N. (2017). Life-cycle assessment of post-disaster temporary housing, *Building Research & Information*, **45**(5), 524-538. Acesso em: 13 de março de 2021, disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09613218.2015.1127116>.
- Azevedo, L. D., Geraldi, M. S., Ghisi, E. (2020). Avaliação do Ciclo de Vida de diferentes envoltórias para habitações de interesse social em Florianópolis, *Ambiente Construído*, **20**(4), 123-141. Acesso em: 19 de março de 2021, disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/45679/32563>.
- Bertolini, M., Guardigli, L. (2020). Upcycling shipping containers as building components: an environmental impact assessment, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, **25**(6), 947-963. Acesso em: 13 de março de 2021, disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-020-01747-3>.
- Caldas, L. R., Abreu-Harbach, L. V. De, Hora, K. E. R. (2020). Avaliação ambiental de alternativas construtivas de um edifício contêiner, *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, **11**, e020008. Acesso em: 13 de março de 2021, disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8654887>.
- Dara, C., Hachem-Vermette, C., Assefa, G. (2019). Life cycle assessment and life cycle costing of container-based single-family housing in Canada: A case study, *Building and Environment*, **163**, 106332. Acesso em: 13 de março de 2021, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306132319305426>.
- Dara, C., Hachem-Vermette, C. (2019). Evaluation of low-impact modular housing using energy optimization and life cycle analysis, *Energy, Ecology and Environment*, **4**(6), 286-299. Acesso em: 13 de março de 2021, disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40974-019-00135-4>.
- Earles, J. M., Halog, A. (2011). Consequential life cycle assessment: a review, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, **16**(5), 445-453. Acesso em: 19 de Março de 2021, disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-011-0275-9>.
- ISO, International Organization for Standardization (2006) ISO 14040. *Environmental Management. Life Cycle Assessment. Principles and Framework*. European Committee for Standardization. Brussels, Belgium.
- ISO, International Organization for Standardization (2006) ISO 14044. *Environmental Management. Life Cycle Assessment. Requirements and Guidelines*. European Committee for Standardization. Brussels, Belgium.
- Islam, H. (2016). Life cycle assessment of shipping container home: A sustainable construction, *Energy and Buildings*, **128**, 673-685. Acesso em: 13 de março de 2021, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778816305989>.

- Jolliet, O. (2003). IMPACT 2002+: a new life cycle impact assessment methodology, *The international journal of life cycle assessment*, **8**(6), 324-330. Acesso em: 15 de maio 2020, disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02978505>.
- Kuittinen, M., Takano, A. (2017). The energy efficiency and carbon footprint of temporary homes: a case study from Japan, *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, **8**(4), 326-343. Acesso em: 13 de março de 2021, disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJDRBE-08-2015-0039/full/html>.
- Lacerda, R. T. O., Ensslin, L., Ensslin, S. R. (2012). Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho, *Gestão & Produção*, **19**(1), 59-78. Acesso em: 19 de março de 2021, disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-530X2012000100005&script=sci_arttext&tlng=pt.
- Lohmann, G., Gehling, G. R., Cybis, L. F. de A (2021). Uso de Matriz Pedigree modificada na escolha de dados de composição elementar de resíduos sólidos urbanos, *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica*, **14**(1), 279-294. Acesso em: 20 de maio de 2022, disponível em: <http://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/70403>.
- Occhi, T., Almeida, C. C. O (2016). Uso de Containers na Construção Civil: Viabilidade Construtiva e Percepção dos Moradores de Passo Fundo-RS, *Revista de Arquitetura IMED*, **5** (1), 16–27. Acesso em: 02 abr.2019, disponível em: <https://seer.imed.edu.br/index.php/argimed/article/view/1282/858>.
- Olivares, A. A. P. A (2010) *Sustainability in prefabricated architecture: A comparative life cycle analysis of container architecture for residential structures*, Tese (mestrado em arquitetura), Faculty of Architecture and Design School of Architecture, Victoria University of Wellington, Wellington, Nova Zelândia, 226p.
- Onat, N.C., Kucukvar, M., Tatari, O. (2014). Integrating triple bottom line input–Output analysis into life cycle sustainability assessment framework: The case for US buildings, *International Journal of Life Cycle Assessment*, **1**, 1488–1505. Acesso em: 15 de maio de 2020, disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-014-0753-y>.
- Passuello, A. C. B., Oliveira, A. F. D., Costa, E. B. D., Kirchheim, A. P. (2014). Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de clínqueres alternativos, *Ambiente construído*, **14**(4), 7-20. Acesso em: 19 mar. 2021, disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/45679/32563>.
- Perfeito, P. A. (2017) *Avaliação do ciclo de vida de uma habitação de interesse social construída a partir de contêineres marítimos reciclados*. Tese (Mestrado em engenharia e tecnologia de materiais), Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 90p.
- Reina, D. R. M. (2014). Seleção e Análise do Perfil da Produção Científica sobre o tema Seleção de Projetos, *REGE-Revista de Gestão*, São Paulo, **21**(1), 3-25. Acesso em: 10 de junho de 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1809227616301540>.
- Satola, D. (2020). Comparative life cycle assessment of various energy efficiency designs of a container-based housing unit in China: A case study, *Building and Environment*, **186**, 107358. Acesso em: 13 de março de 2021, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132320307277>.
- Sauer, A. S., Calmon, J. L. (2019). Life-cycle assessment applied to buildings: gaps in knowledge, *International Journal of Environmental Studies*, **77** (5), 767-785. Acesso em: 15 de maio de 2020, disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207233.2019.1704036>.
- Schiavoni, S., Sambuco, S., Rotili, A., D'Alessandro, F., Fantauzzi, F. (2017). A nZEB housing structure derived from end of life containers: Energy, lighting and life cycle assessment, *Building Simulation*, **10** (2), Tsinghua University Press. p. 165-181. Acesso em: 13 março de 2021, disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12273-016-0329-9>.



- Weidema, B. P., Wesnaes, M. S. (1996) Data quality management for life cycle inventories-an example of using data quality indicators*. *Journal of Cleaner Production*, **4**(3-4), 167-174. Acesso em 15 de maio de 2022, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652696000431>.
- Willers, C. D., Rodrigues, L. B., Silva, C. A. (2013). Avaliação do ciclo de vida no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais, *Produção*, São Paulo, **23**(2), 436-447. Acesso em: 15 de maio de 2020, disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-65132012005000037&script=sci_arttext&lng=pt.