



## ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DE ESTUDOS COMPARATIVOS ENTRE A CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL E A PRÉ-FABRICADA POR MEIO DA ACV

Valéria Mayumi Kushima Ramos<sup>1</sup>  
Adriana de Paula Lacerda Santos<sup>2</sup>  
Marcell Mariano Corrêa Maceno<sup>3</sup>

### RESUMO

**Objetivo:** O artigo tem como objetivo identificar e caracterizar estudos comparativos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) entre sistemas construtivos convencionais e pré-fabricados.

**Metodologia:** Foi realizada uma análise bibliométrica com as etapas de formulação da pergunta, definição de estratégia, seleção de estudos, coleta e análise de dados, resultados e conclusões.

**Relevância:** A indústria da construção civil é responsável por consideráveis impactos ambientais desde a extração das matérias-primas até a demolição. Com o uso da ACV, é possível identificar os principais causadores e mitigar suas consequências ambientais.

**Resultados:** Os estudos concentram-se na Europa e na Ásia, predominando avaliações de aquecimento global (emissões de CO<sub>2</sub>) e de consumo energético pré-operacionais da construção. Quanto aos maiores usos no desenvolvimento da ACV se destacaram: o *software* SimaPro, a base de dados Ecoinvent e os métodos IPCC, IMPACT 2002+ e TRACI. Verificou-se a vantagem da pré-fabricação, no entanto, não é possível generalizar devido à grande variabilidade entre os valores encontrados.

**Contribuições:** Este artigo permitiu identificar lacunas de estudo a serem exploradas, o panorama atual de pesquisa na área e as principais definições relacionadas a estudos de ACV para construção civil (ex. *software*, base de dados, método).

**Conclusão:** O termo “construção convencional” possui um significado diferente para cada país, portanto, cabe descrever detalhadamente a composição dos processos construtivos. Ainda, ressalta-se a importância de um escopo estruturado para estudos comparativos de ACV, com a declaração dos critérios adotados, a descrição do cenário em que está inserido e o uso de parâmetros consistentes para resultados confiáveis.

**Palavras-chave:** Comparativo. Construção convencional. Pré-fabricada. Avaliação do Ciclo de Vida. Impacto ambiental.

---

<sup>1</sup> Discente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, UFPR. Curitiba, PR (Brasil). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4635-697X>. E-mail: [valeria.mayumi@yahoo.com](mailto:valeria.mayumi@yahoo.com)

<sup>2</sup> Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, UFPR, Curitiba, PR (Brasil). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6762-8236>. E-mail: [marcell.maceno@gmail.com](mailto:marcell.maceno@gmail.com)

<sup>3</sup> Doutorado em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, SC (Brasil). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7240-1143>. E-mail: [adrianapls1@gmail.com](mailto:adrianapls1@gmail.com)



## BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF COMPARATIVE STUDIES BETWEEN A CONVENTIONAL AND A PREFABRICATED CONSTRUCTION USING LCA

### ABSTRACT

**Aim:** The article aims to identify and characterize comparative studies of Life Cycle Assessment (LCA) between conventional and prefabricated building systems.

**Methodology:** A bibliometric analysis was performed with the steps of formulating the question, defining strategy, selecting studies, collecting and analyzing data, results and conclusions.

**Relevance:** The construction industry is responsible for considerable environmental impacts from the extraction of raw materials to demolition. With the use of LCA, it is possible to identify the main causers and mitigate their environmental consequences.

**Results:** The studies are concentrated in Europe and Asia, with pre-operational assessments of global warming (CO<sub>2</sub> emissions) and pre-operational energy consumption of construction. The most significant uses in the development of LCA were: SimaPro software, Ecoinvent database and IPCC, IMPACT 2002+ and TRACI methods. The advantage of prefabrication has been verified, however, it is not possible to generalize due to the great variability between the values found.

**Contributions:** This article allowed to identify the study gaps to be explored, the current research scenario in the area and the main definitions related to LCA studies for civil construction (e.g. software, database, method).

**Conclusion:** The term "conventional construction" has a different meaning for each country, so it is worth describing in detail the composition of the construction processes. Also, the importance of a structured scope for comparative studies of LCA, with the declaration of the adopted criteria, the description of the scenario in which it is inserted and the use of consistent parameters for reliable results is emphasized.

**Keywords:** Comparative. Conventional construction. Prefabricated. Life Cycle Assessment. Environmental impact.

## ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO DE ESTUDIOS COMPARATIVOS ENTRE LA CONSTRUCCIÓN CONVENCIONAL Y LA PREFABRICADA POR MEDIO DE LA ACV

### RESUMEN

**Objetivo:** El artículo tiene como objetivo identificar y caracterizar estudios comparativos de Evaluación del Ciclo de Vida (ACV) entre sistemas constructivos convencionales y prefabricados.

**Metodología:** Se realizó un análisis bibliométrico con las etapas de formulación de la pregunta, definición de estrategia, selección de estudios, recolección y análisis de datos, resultados y conclusiones.



**Pertinencia:** La industria de la construcción civil es responsable de considerables impactos ambientales desde la extracción de las materias primas hasta la demolición. Con el uso de la ACV, es posible identificar los principales causantes y mitigar sus consecuencias ambientales.

**Resultados:** Los estudios se concentran en Europa y Asia, predominando evaluaciones de calentamiento global (emisiones de CO<sub>2</sub>) y de consumo energético preoperativo de la construcción. En cuanto a los mayores usos en el desarrollo de la ACV se destacaron: el software SimaPro, la base de datos Ecoinvent y los métodos IPCC, IMPACT 2002+ y TRACI. Se verificó la ventaja de la pre-fabricación, sin embargo, no es posible generalizar debido a la gran variabilidad entre los valores encontrados.

**Contribución:** Este artículo permitió identificar lagunas de estudio a ser exploradas, el panorama actual de investigación en el área y las principales definiciones relacionadas a estudios de ACV para la construcción civil (por ejemplo, software, base de datos, método).

**Conclusión:** El término "construcción convencional" tiene un significado diferente para cada país, por lo que cabe describir detalladamente la composición de los procesos constructivos. Además, se resalta la importancia de un ámbito estructurado para estudios comparativos de ACV, con la declaración de los criterios adoptados, la descripción del escenario en que está inserto y el uso de parámetros consistentes para resultados confiables.

**Palabras-clave:** Comparativo. Construcción convencional. Prefabricada. Evaluación del ciclo de vida. Impacto ambiental

## 1 INTRODUÇÃO

É reconhecido que a indústria da construção civil possui relevância em seu local de atuação, seja em nível nacional, em que é responsável pela contribuição média de 6% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil (Câmara Brasileira da Indústria da Construção [CBIC], 2017), seja em nível global, pelos impactos ambientais causados por suas atividades. O consumo mundial chega a 14% de água, 40% da energia gerada e 30% das emissões de dióxido de carbono, com estimativa de alcançar 50% em 2050 (Nações Unidas, 2009; New Zealand Green Building Council [NZGB], 2016). Quanto ao resíduo sólido urbano, a construção e demolição são responsáveis por até 61% do total gerado por município brasileiro (BRASIL, 2010).

Nesse contexto, entende-se que há a necessidade de avaliar a forma tradicional de construção e buscar meios para melhoria de seu desempenho. Verificou-se a existência de artigos que comparam, em termos de impacto ambiental, a construção convencional à pré-fabricada, levando em consideração critérios particulares definidos para cada estudo de caso.

A definição de construção convencional pode ser descrita como aquela realizada de acordo com as práticas comuns de um país em um determinado período, portanto, com variações das técnicas e materiais empregados (Sartori & Hestnes, 2007). Observou-se que cada país descreve a construção convencional de maneira distinta, levando em consideração aspectos e disponibilidade locais, com a característica em comum de ser realizada *in loco* ou *in situ*, ou seja, sua execução realizada no canteiro de obras. (Meseguer, 1991)

Características como a fabricação de produtos únicos, mão de obra desqualificada com alta rotatividade, estar sujeito à interferência das condições climáticas e a existência de um sistema construtivo já bem estabelecido e aceito (Calmon & Vieira, 2014; Meseguer, 1991; Ribeiro, 2002) levam o setor, e em particular o sistema convencional, a apresentar baixos índices de produtividade, de controle de materiais e dos processos construtivos, com consequentes desperdícios (Baldwin, Poon, Shen, Austin, & Wong, 2009; Nunes & Junges, 2008; Vasques & Pizzo, 2014).



Como forma de reverter os pontos negativos ligados à construção convencional, a industrialização apresenta o processo de pré-fabricação (Jaillon, Poon, & Chiang, 2009), em que elementos, componentes ou módulos são fabricados antecipadamente, com a transferência dessa atividade para uma instalação externa ao canteiro (Goodier & Gibb, 2007; Mao, Shen, Shen, & Tang, 2013).

Características como a padronização, sua aplicação na fase inicial do projeto e construção em massa (Goodier & Gibb, 2007; Shen, Tam, Chan, & Kong, 2002), tem o potencial de reduzir o tempo de construção e elevar a qualidade do produto final (Goodier & Gibb, 2007; Tam, Tam, & Ng, 2007). Já a predefinição antecipada do sistema leva à inflexibilidade de alterações e custo inicial maior em comparação à técnica tradicional (Tam, Tam, Zeng, & Ng, 2007).

Nesse contexto, o presente estudo tem como problema a geração de impactos ambientais oriundos da construção civil. O objetivo é levantar estudos de caso comparativos dos impactos ambientais de uma construção realizada em sistema convencional e em pré-fabricado, coletar informações sobre os métodos construtivos e a ferramenta ACV, identificar os principais impactos avaliados e compará-los, em termos percentuais. Para avaliação dos sistemas construtivos, os estudos aplicaram a ferramenta de gestão ambiental Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que qualifica e quantifica os impactos dos processos e materiais de interesse ao longo do seu ciclo de vida (ABNT ISO 14040, 2014).

Inicialmente, é apresentado o referencial teórico, composto pelo estado-da-arte de estudos de ACV na construção civil e pelos artigos objeto da pesquisa, seguido da descrição do método, resultados e discussão final.

## 2 ACV E IMPACTOS AMBIENTAIS

A ACV possui quatro fases: 1) Definição de objetivo e escopo, em que são apresentadas informações iniciais e básicas para o estudo; 2) Análise de inventário, para coleta e registro de dados que servirão de base para o cálculo dos impactos, atribuição pertinente à fase; 3) Avaliação de Impacto. A última e quarta fase, 4) Interpretação, que deve ser iterativa e contínua ao longo do processo, para assegurar que as informações sejam consistentes entre todas as fases e os resultados sejam de fato úteis para o estudo proposto (ABNT ISO 14040, 2014).

Cabe ao desenvolvedor da ACV definir as informações de entrada para inserção no Inventário do Ciclo de Vida (ICV) e posterior cálculo dos impactos, os quais também devem ser definidos conforme o propósito do estudo.

São utilizadas as categorias de impacto e níveis de avaliação do impacto, os indicadores de categorias e os modelos de caracterização como possíveis formas para apresentação dos resultados da ACV.

As categorias de impacto são descritas, segundo a ABNT ISO 14040 (2014), como aspectos ambientais relevantes baseados nos resultados encontrados na fase de Análise do Inventário do Ciclo de Vida. Elas podem ser classificadas conforme dois níveis de impacto: de ponto médio (*midpoint*), em que as saídas no ICV são agrupadas segundo características de causa e efeito no meio ambiente, como potenciais indicadores de impacto. E de ponto final (*endpoint*), em que são consideradas as consequências finais das categorias de impacto de ponto médio, chamadas então de danos, que são basicamente: saúde humana, ecossistema e recursos naturais (Cavalett, Chagas, Seabra, & Bonomi, 2013).

Além dessa classificação, também é possível avaliar se a categoria pode impactar global (como potencial de aquecimento global), local (ex. disposição de resíduos) ou internamente (ex. reação alérgica em humanos).

Já os indicadores de categoria estão atrelados ao mecanismo ambiental de causa, ou seja, como será medida a categoria de impacto, devendo também ser ambientalmente relevante. Por



exemplo, a categoria de impacto Mudança Climática pode ter como indicador de categoria o Forçamento Radiativo Infravermelho ( $W/m^2$ ) (ABNT ISO 14040, 2014).

Dos modelos de caracterização derivam os fatores de caracterização, em que os impactos são agrupados de acordo com uma unidade comum e considerados na mesma categoria de impacto, que, no exemplo anterior, o forçamento radiativo infravermelho pode ser mensurado equivalentemente em termos de kg de  $CO_2$  (ABNT ISO 14040, 2014).

### 3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NA CONSTRUÇÃO

Impactos de grande escala provenientes do setor da construção e a singularidade dos seus produtos levam à resultados de ACV distintos e úteis ao embasamento de tomada de decisões e à criação de um banco de dados.

Diferentes *stakeholders* têm interesses particulares sobre os resultados encontrados: Zabalza Bribián, Aranda Usón, & Scarpellini (2009) apresentam, por exemplo, que profissionais a serviço de um município podem se embasar na ACV para definir e incentivar o desenvolvimento de áreas residenciais e comerciais. Já arquitetos e engenheiros tem a possibilidade de comparar questões de ordem técnica como a definição de materiais e métodos.

Ao ser aplicada ainda no planejamento de uma obra, possibilita simular os impactos e fazer alterações no projeto a fim de mitigá-los (Li, Zhu, & Zhang, 2010). No entanto, os resultados devem ser interpretados com ressalva, uma vez que o autor possui autonomia para tomar uma série de decisões que influenciarão o resultado final. Isso possibilita a manipulação dos impactos, como a atenuação de efeitos nocivos provenientes de certos materiais e processos, o chamado *greenwashing* (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada [IPEA], 2016)

A utilização da ACV no Brasil, principalmente na construção civil, é limitada à escassez de dados nacionais e ao acesso aos dados de entrada na ACV (Castro, Silva, Arduin, Oliveira, & Becere, 2015; Miyazato & Oliveira, 2009).

Já internacionalmente, foi verificada uma quantidade de estudos comparativos de sistemas construtivos para uma edificação. Foram localizados casos na China (Cao, Li, Zhu, & Zhang, 2015; Liu, Guo, Sun, & Chang, 2016; Mao et al., 2013), Malásia (Marsono & Balasbaneh, 2015; Omar, Doh, Panuwatwanich, & Miller, 2014; Wen, Siong, & Noor, 2015), Estados Unidos (Alshamrani, 2015; Memari, Solnosky, Tufano, & Dillen, 2014; Quale, Eckelman, Williams, Sloditskie, & Zimmerman, 2012), Austrália (Aye, Ngo, Crawford, Gammampila, & Mendis, 2012), Espanha (González & García Navarro, 2006; Pons & Wadel, 2011), Portugal (Konig et al., 2007; Monteiro & Freire, 2012), Países Baixos (Ottelé, Perini, Fraaij, Haas, & Raiteri, 2011), Hong Kong (Chau, Hui, Ng, & Powell, 2012; Dong, Jaillon, Chu, & Poon, 2015), Alemanha, Canadá, Estados Unidos, Suécia (Eriksson, 2001), Itália e Alemanha (Takano & Pittau, 2013), Itália (Guardigli, 2014), Polônia (Pajchrowski, Noskowiak, Lewandowska, & Strykowski, 2014a, 2014b), Luxemburgo (Iribarren et al., 2015), Taiwan (Chou & Yeh, 2015), Lituânia (Motuzienė, Rogoża, Lapinskienė, & Vilitienė, 2016), Sérvia (Maodus, Agarski, Misulic, Budak, & Radeka, 2016) e um estudo brasileiro (Caldas, Lira, Melo, & Sposto, 2017).

Para analisar a grande quantidade de trabalho acerca da aplicação da ACV em construções, têm sido realizados trabalhos como os de Chastas, Theodosiou, & Bika (2016), que levantaram estudos de avaliação do ciclo energético de edificações residenciais. Kamali & Hewage (2016) analisaram publicações de estudos de ACV em construções modulares. Sänäjoki, Heinonen, Junnila, & Horvath (2017) analisaram a variação de resultados de 116 ACVs de edificações em sua fase pré-operacional. Geng et al. (2017) realizou uma revisão bibliométrica de artigos de ACV publicados entre os anos de 2000 e 2014. Anand & Amor (2017) revisaram estudos de ACV na construção em geral, apresentando desafios e oportunidades de pesquisa futuras.



Devido à ausência de estudos que reunissem as ACVs comparativas entre construção convencional e pré-fabricada, informações como as categorias de impacto mais utilizadas, assim como os *softwares* e bancos de dados e o sistema construtivo que apresentou os melhores resultados em termos de impacto ambiental, o presente trabalho analisou os estudos publicados nos últimos cinco anos e após tratamento dos dados extraídos chegou-se aos resultados descritos a seguir.

#### 4 MÉTODO

Nesta análise bibliométrica de estudos comparativos de construção executada em sistema convencional e em pré-fabricado, foram realizadas as etapas descritas na Figura 1 como estratégia para a seleção dos artigos e posterior análise de conteúdo.

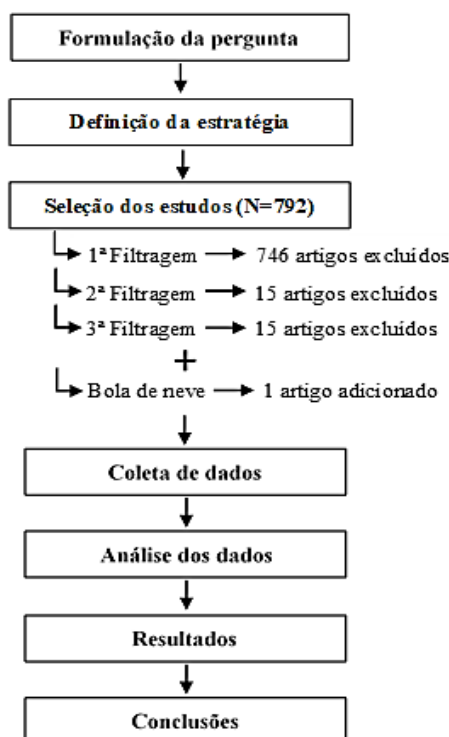


Figura 1 – Etapas aplicadas à revisão

Fonte: A autora (2017).

Inicialmente, fez-se o questionamento quanto a uma possível tendência à construção pré-fabricada apresentar menores impactos ambientais comparativamente à convencional, de forma que essa comparação somente seria possível em estudos de caso iguais ou equivalentes. Dessa forma, optou-se pela seleção de estudos comparativos que utilizaram a ferramenta ACV, frequentemente encontrada em artigos voltados para questões ambientais. Também se questionou o perfil desses estudos comparativos, em termos de ferramenta aplicada e características dos estudos.

Tabela 1 – Seleção de artigos para a revisão

Base de dados	Resultados	1ª Filtragem	2ª Filtragem	3ª Filtragem	Bola de neve	Filtragem final
Artigos Google Acadêmico	557	25				
Artigos ScienceDirect	81	5	31	16	1	17
Artigos Web of Science	79	4				
Artigos Periódicos CAPES	75	12				

Fonte: A autora (2017).



Para a seleção dos artigos, a estratégia definida compreendeu o uso de quatro bases de dados: Google Acadêmico, *Science Direct*, *Web of Science* e Periódicos CAPES, utilizando as palavras-chave *LCA building construction conventional prefabricated "life cycle assessment"*, a fim de selecionar artigos que tratassem de ACV aplicadas comparativamente a edificações ou elementos pré-fabricados e convencionais. Como critérios foram considerados apenas artigos publicados entre os anos de 2013 e 2017, em que as palavras-chave foram aplicadas em todos os campos.

Autor, ano e país	Título	Publicação	Descrição materiais: sistema convencional	Descrição materiais: pré-fabricado
(Mao et al., 2013) China	<i>Comparative study of greenhouse gas emissions between off-site prefabrication and conventional construction methods: Two case studies of residential projects</i>	<i>Energy and Buildings</i>	Estrutura e paredes em concreto armado <i>in-situ</i> ( <i>frame shear-wall structure e reinforced concrete, cast in situ</i> )	Elementos em concreto pré-moldado (semi-pré-fabricação: fachada, escada e lajes pré-fabricadas – 10,5%) (restante é igual ao convencional)
(Takano & Pittau, 2013) Itália Alemanha	<i>Greenhouse gas emission from construction process of multi-story wooden buildings</i>	<i>Proceedings of Sustainable Building Conference</i>	Estrutura e paredes em madeira (painéis de CLT com baixo nível de pré-fabricação – apenas cortes, perfurações e fixação de metais)	Estrutura e paredes em madeira (painéis de madeira serrada – basicamente todos os elementos pré-fabricados)
(Memari et al., 2014) Estados Unidos	<i>Comparative study on multi-hazard resistance and embodied energy of different residential building wall systems</i>	<i>J. Civil Eng. Architect</i>	Paredes estruturais de alvenaria com blocos de concreto	Paredes estruturais de concreto pré-moldado com camada central de isolamento
(Guardigli, 2014) Itália	<i>Comparing the environmental impact of reinforced concrete and wooden structures</i>	<i>Eco-efficient Construction and Building Materials</i>	Edificação com paredes compostas de: acabamento de estuque, isolante ROFIX <i>minopor</i> , blocos cerâmicos <i>Wienerberger porotherm</i> , estuque de cal hidratada, pintura de interior; laje: piso, contrapiso, camada para aquecimento do piso, camada isolante, concreto celular, tela soldada, laje treliçada	Edificação com paredes compostas de: painel de fibra de madeira, TYVEK <sup>1</sup> , shingle, pré-isolante de steico, painel OSB <sup>2</sup> , barreira de vapor, camada de estuque; laje: piso, membrana estabilizante, painel OSB, pré-isolante de steico, TYVEK
(Omar et al., 2014) Malásia	<i>Assessment of the embodied carbon in precast concrete wall panels using a hybrid life cycle assessment approach in Malaysia</i>	<i>Sustainable Cities and Society</i>	Edificação com elementos estruturais em concreto armado (vigas, pilares, lajes) e vedação das paredes com tijolo cerâmico (este último não foi considerado no estudo)	Edificação com elementos estruturais de concreto armado pré-moldado (lajes e paredes)
(Pajchrowski, Noskowiak, Lewandowska & Strykowski, 2014a) Polônia	<i>Materials composition or energy characteristic – What is more important in environmental life cycle of buildings?</i>	<i>Building and Environment</i>	Edificação em alvenaria com blocos de concreto (apenas a estrutura do telhado em madeira)	Edificação em madeira (OSB, MDF <sup>3</sup> , HDF <sup>4</sup> e celulose – telhado, paredes, piso, janelas) (paredes e telhado pré-fabricados)
(Cao et al., 2015) China	<i>A comparative study of environmental performance between prefabricated and traditional residential buildings in China</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	Edificação em concreto armado <i>in-situ</i> (estrutura em <i>reinforced concrete shear wall system</i> ) (paredes moldadas <i>in loco</i> com painel de poliestireno)	Edificação em concreto pré-moldado (montagem integrada da estrutura em <i>precast concrete shear wall system</i> ) (paredes pré-fabricadas compostas de poliestireno) (38% do volume de concreto é pré-fabricado: paredes externas, piso, lajes, sacadas, escadas, <i>bay windows</i> e lajes técnica do ar condicionado)
(Wen et al., 2015) Malásia	<i>Assessment of Embodied Energy and Global Warming Potential of Building Construction using Life Cycle Analysis Approach: Case Studies of Residential Buildings in Iskandar Malaysia</i>	<i>Energy and Buildings</i>	Edificação em concreto <i>in-situ</i> (composto por concreto, tijolos, barras de aço, madeira, placas de gesso, vidro, alumínio, argamassa, pintura e azulejos)	Edificação em concreto pré-moldado (composto por concreto pré-moldado, concreto, barras de aço, madeira, placas de gesso, vidro, alumínio, argamassa, pintura e azulejos cerâmicos)



## Análise Bibliométrica de Estudos Comparativos entre a Construção Convencional e a Pré-fabricada por meio da ACV

Autor, ano e país	Título	Publicação	Descrição materiais: sistema convencional	Descrição materiais: pré-fabricado
(Marsono & Balasbaneh, 2015) Malásia	<i>Combinations of building construction material for residential building for the global warming mitigation for Malaysia</i>	<i>Construction and Building Materials</i>	Edificação com e paredes em concreto <i>in-situ</i> e tijolos (composto por concreto, tijolos e argamassa)	Estrutura e paredes em concreto pré-moldado (composto de concreto)
(Dong et al., 2015) Hong Kong	<i>Comparing carbon emissions of precast and cast-in-situ construction methods - A case study of high-rise private building</i>	<i>Construction and Building Materials</i>	Fachadas em concreto armado <i>in-situ</i> (concreto, ferragem, fôrmas de madeira)	Fachadas em concreto pré-moldado (concreto pré-moldado, ferragem e molde de aço)
(Iribarren et al., 2015) Luxemburgo	<i>Life cycle assessment and data envelopment analysis approach for the selection of building components according to their environmental impact efficiency: a case study for external walls</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	Paredes externas com blocos de concreto (camadas: massa de gesso, blocos de concreto, lâ mineral, painel de gesso e reboco de cal e cimento)	Paredes externas em concreto armado pré-moldado (camadas: massa de gesso, concreto pré-fabricado reforçado, lâ mineral, painel de gesso e reboco de cal e cimento)
(Alshamrani, 2015) Estados Unidos	<i>Life cycle assessment of low-rise office building with different structure-envelope configurations</i>	<i>Canadian Journal of Civil Engineering</i>	Estrutura e paredes em concreto armado <i>in-situ</i> de alvenaria com blocos de concreto e tijolos	Estrutura e paredes em painel de concreto pré-moldado
(Chou & Yeh, 2015) Taiwan	<i>Life cycle carbon dioxide emissions simulation and environmental cost analysis for building construction</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	Edificação em concreto armado <i>in-situ</i> (simulação em substituição ao concreto pré-moldado das vigas e pilares – os demais materiais foram considerados os mesmos)	Edificação em concreto pré-moldado (vigas e pilares – demais elementos são iguais no método convencional)
(Liu et al., 2016) China	<i>Assessing Cross Laminated Timber (CLT) as an Alternative Material for Mid-Rise Residential Buildings in Cold Regions in China-A Life-Cycle Assessment Approach</i>	<i>Sustainability</i>	Edificação com estrutura e paredes com cimento, tijolos, isolamento e acabamento; laje com isolamento, concreto, cimento e acabamento	Edificação com estrutura (e laje) e paredes com placa de gesso, painel de CLT <sup>5</sup> , isolamento e acabamento
(Motuzienė et al., 2016) Lituânia	<i>Construction solutions for energy efficient single-family house based on its life cycle multi-criteria analysis: a case study</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>	Edificação com paredes externas com: painel de cimento, blocos de silicato, espuma de poliestireno e argamassa de cimento; telhado: betume, lâ de rocha, poliestireno expandido, laje de concreto aerado, argamassa de cimento; piso térreo: brita, poliestireno expandido, concreto, assoalho (demais materiais iguais)	Edificação com paredes externas com: painel de cimento, placas OSB, <i>timber frame</i> , lâ de rocha e argamassa de cimento; telhado: chapa metálica de cobertura, lâ de rocha e <i>timber frame</i> ; piso térreo: brita, poliestireno expandido, concreto e azulejos cerâmicos (demais materiais iguais)
(Maodus et al., 2016) Sérvia	<i>Life cycle and energy performance assessment of three wall types in south-eastern Europe region</i>	<i>Energy and Buildings</i>	Paredes compostas de: argamassa de cal e cimento, alvenaria de tijolos, poliestireno expandido, acabamento externo	Paredes compostas de: painel de gesso, placa OSB, retardador de vapor de água de PVC, montante de madeira, lâ mineral, placa OSB, poliestireno expandido, acabamento externo
(Caldas et al., 2017) Brasil	<i>Life cycle carbon emissions inventory of brick masonry and light steel framing houses in Brasilia: proposal of design guidelines for low-carbon social housing</i>	<i>Ambiente Construído</i>	Paredes de alvenaria com tijolos	Paredes em <i>light steel framing</i>

**Figura 2 – Características dos estudos de caso por artigo**

Fonte: A autora (2017).

Notas:

<sup>1</sup> TYVEK: funciona como barreira contra água e ar

<sup>2</sup> OSB: *oriented strand board* (painel de tiras de madeira orientadas)

<sup>3</sup> MDF: *medium-density fiberboard* (placa de fibra de madeira de média densidade)

<sup>4</sup> HDF: *high density fiberboard* (placa de fibra de madeira de alta densidade)

<sup>5</sup> CLT: *cross laminated timber* (madeira laminada colada cruzada)





Com o total de 792 artigos, procedeu-se à primeira filtragem para refinar os resultados quanto ao assunto de interesse, por meio de avaliação do título, resumo e verificação superficial do conteúdo. Em seguida, foram excluídos artigos repetidos que apareceram em mais de uma base de dados e como terceira filtragem realizou-se a análise detalhada dos estudos.

Autor e ano	Objeto de estudo	Banco de dados ICV	Software para ACV	Método AICV
(Mao et al., 2013)	Edificação	“Embodied Energy and CO2 Coefficients for NZ Building Materials” - Centre for Building Performance Research in New Zealand “The Inventory of Carbon and Energy” - University of Bath	-	IPCC 2007
(Takano & Pittau, 2013)	Área unitária	Ecoinvent v. 2.2	-	-
(Memari et al., 2014)	Edificação	Athena Impact Estimator for Buildings 2011	Athena Impact Estimator for Buildings 2011	TRACI
(Guardigli, 2014)	Edificação	Ecoinvent, Swiss database, NREL, free US database by NREL, ELCD, database of the Joint Research Center of the European community	openLCA (GreeDeltaTD)	Eco-indicator 99
(Omar et al., 2014)	Edificação	Inventory of (embodied) carbon & energy (ICE) v 2.0. UK: University of Bath (emissões de carbono), Department of Climate Change and Energy Efficiency, International Energy Agency (2005), Malaysia Energy Centre and Malaysia Energy Commission	-	calculou indicador de categoria
(Pajchrowski, Noskowiak, Lewandowska & Strykowski, 2014a)	Edificação	Ecoinvent v. 2.2, ELCD	SimaPro Analyst 7.3	IMPACT 2002+, Ecoindicator 99/E, CML e IPCC
(Cao et al., 2015)	Edificação	Athena	Athena 2004	TRACI
(Wen et al., 2015)	Área unitária	GaBi 6.0	GaBi 6.0	calculou indicador de categoria
(Marsono & Balasbaneh, 2015)	Área unitária	-	Simapro 7.3.3	IPCC 2001
(Dong et al., 2015)	Volume unitário	Ecoinvent	SimaPro 8	calculou indicador de categoria
(Iribarren et al., 2015)	Área unitária	Okobau.dat database	-	Okobau.dat database
(Alshamrani, 2015)	Edificação	Athena 2011	Athena 2011	TRACI
(Chou & Yeh, 2015)	Edificação	-	-	IPCC (calculou indicador de categoria)
(Liu et al., 2016)	Edificação	IKE (Chinese Life Cycle Database - CLCD 2016)	Athena 2013	TRACI (calculou indicador de categoria)
(Motuzienė et al., 2016)	Área unitária	-	SimaPro 7.2	IMPACT 2002+V2.10
(Maodus et al., 2016)	Edificação	Ecoinvent 3	Simapro 8	IMPACT 2002+
(Caldas et al., 2017)	Edificação	-	DesignBuilder	calculou indicador de categoria

**Figura 3 – Características dos estudos de caso por artigo**

Fonte: A autora (2017).

Nessa etapa houve a necessidade de buscar em literatura especializada estrangeira o que é considerado como técnica convencional no país. Aqueles que não se encaixaram no comparativo entre sistema contrutivo convencional e pré-fabricado foram descartados.

Foram selecionados artigos que compararam, além de edificações como um todo, sistemas estruturais e áreas unitárias, como paredes de diferentes composições de materiais. Ainda, alguns estudos realizaram comparações entre mais de duas variáveis, foi também



convencionado que a escolha se daria pelos materiais mais recorrentes entre os artigos analisados.

Com resultado final de 16 artigos a serem revisados, aplicou-se a técnica conhecida como bola de neve para buscar em suas referências outros possíveis estudos que se encaixassem na proposta da revisão. Por fim, foram avaliados 17 artigos (Tabela 1).

Na Figura 2 estão os artigos revisados, dispostos conforme o ano de publicação, com os respectivos autores, ano, país e descrição dos materiais (composição dos sistemas construtivos) utilizados no comparativo dos impactos ambientais. Na Figura 3, há a definição do objeto de estudo, o banco de dados utilizado no Inventário do Ciclo de Vida, o *software* usado e o método de avaliação de impacto escolhido.

Para análise comparativa entre os artigos, foram coletados todos os impactos ambientais calculados pelos autores, tanto para o sistema convencional como para o pré-fabricado, transformando a soma deles em 100%. Em seguida, foi calculada a percentagem relativa ao impacto de cada sistema para verificar qual deles foi predominante.

Na interpretação dos resultados, foi apresentada a percentagem relativa à construção convencional e à pré-fabricada para cada impacto considerado.

Por fim, são apresentadas as conclusões, com a verificação do atendimento ao objetivo inicial da revisão, discussões acerca dos resultados apresentados e sugestão de estudos futuros.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Verificou-se a concentração de estudos comparativos no continente asiático e europeu, com oito e sete artigos, respectivamente. Quanto aos limites do sistema nos ciclos de vida, na Tabela 2 estão divididos em três etapas gerais: pré-operacional, que corresponde às subetapas: extração de matérias-primas, fabricação de materiais de construção, transporte de materiais, equipamentos e uso de energia na obra, desperdício (resíduos) e transporte dos resíduos; operacional: manutenção, renovação e energia consumida durante o uso; pós-operacional: reciclagem, demolição (geração de resíduos) e transporte de resíduos.

Houve predominância de estudo de impactos referentes à etapa pré-operacional. Sobre a subetapa “extração da matéria-prima”, onze dos dezessete artigos analisaram os impactos ambientais advindos da atividade, ou seja, 65% dos artigos. Somente a subetapa “fabricação de materiais de construção” foi avaliada em todos os artigos.

Já os processos relacionados ao transporte de resíduos e reciclagem foram as menos avaliadas. Ao realizar o mesmo procedimento para as etapas, concluiu-se que 100% dos artigos analisaram impactos pré-operacionais, 53% operacionais e 41% operacionais.

Com relação às bases de dados utilizadas, o Ecoinvent foi o mais utilizado, com 23,5%, suportado por diferentes aplicativos. Quanto ao *software* mais recorrente, o SimaPro, um dos mais utilizados no mundo, esteve presente em 29,4% dos estudos. Em seguida está o Athena com 23,5%, específico para a indústria da construção. Os métodos IPCC (pegada de carbono), IMPACT 2002+ e TRACI (único método disponível no *software* Athena) foram aplicados em 58,8% dos artigos.

Foi também realizado o levantamento dos resultados apresentados por cada artigo (

Quadro 1), em que foram identificadas 26 unidades diferentes de medida ligadas a impactos ambientais, das quais são: categorias de impacto *midpoint* (19), *endpoint* (4), indicador de categoria (1) ou fluxo de entrada na AICV (2).



**Tabela 2 – Limites do sistema no ciclo de vida por artigo**

% de artigos que calcularam impacto de subetapa	65%	100%	88%	88%	24%	18%	35%	24%	47%	12%	41%	18%
Quantidade de artigos que calcularam impacto de subetapa	11	17	15	15	4	3	6	4	8	2	7	3
1 (Mao et al., 2013)	x	x	x	x								
2 (Takano & Pittau, 2013)	x	x	x	x					x			
3 (Memari et al., 2014)	x	x	x	x			x	x			x	x
4 (Guardigli, 2014)		x	x	x								
5 (Omar et al., 2014)	x	x	x	x								
6 (Pajchrowski, Noskowiak, Lewandowska & Strykowski, 2014a)		x	x	x	x	x						
7 (Cao et al., 2015)	x	x	x	x	x							
8 (Wen et al., 2015)	x	x	x	x								
9 (Marsono & Balasbaneh, 2015)	x	x	x	x	x	x	x		x			
10 (Dong et al., 2015)	x	x		x	x							
11 (Iribarren et al., 2015)	x	x										
12 (Alshamrani, 2015)		x	x	x		x	x		x		x	
13 (Chou & Yeh, 2015)		x	x	x				x	x		x	
14 (Liu et al., 2016)		x	x	x					x	x	x	
15 (Motuzienė et al., 2016)		x	x	x			x	x	x	x	x	x
16 (Maodus et al., 2016)	x	x	x	x			x		x		x	
17 (Caldas et al., 2017)	x	x	x				x	x	x		x	x
Autores do artigo												
	Extração de matérias-primas	Fabricação de materiais de construção	Transporte de materiais	Equipamentos e uso de energia na obra	Desperdício (resíduos)	Transporte dos resíduos	Manutenção	Renovação	Energia consumida durante o uso	Reciclagem	Demolição (geração de resíduos)	Transporte de resíduos
	Pré-operacional						Operacional			Pós-operacional		
% de artigos que calcularam impacto de etapa	100%						53%			41%		

Fonte: A autora (2017).

Dessas, potencial de aquecimento global, emissão de CO<sub>2</sub> equivalente e consumo energético tiveram a maior recorrência, seguidas da depleção da camada de ozônio, saúde humana, qualidade do ecossistema e recursos.

A Figura 4<sup>Erro! Fonte de referência não encontrada.</sup> apresenta os impactos calculados para cada sistema, convertidos em percentagem relativa ao impacto total gerado pela soma dos sistemas construtivos pré-fabricado e convencional, a fim de verificar as respectivas contribuições.

Por exemplo, o artigo de numeração 1, dos autores Mao et al. (2013), calculou que a construção pré-fabricada gerou menor quantidade de gases de efeito estufa, uma vez que do total produzido pelos sistemas, 49,2% foi proveniente da construção pré-fabricada, contra 50,8% da convencional.

Já o artigo 4, de Guardigli (2014), avaliou os impactos na saúde humana, na qualidade do ecossistema e nos recursos naturais, que são categorias de impacto *endpoint*. A construção pré-fabricada impactou em 32%, 52,6% e 28,6%, nesta mesma ordem, apresentando melhores resultados na primeira e última categorias.



Ao calcular a média geral das porcentagens dos impactos para cada sistema, verificou-se que os impactos na edificação pré-fabricada foram de 47,2%, enquanto na convencional 52,8%, com desvio padrão de 9%.

Quanto à escolha dos impactos a serem calculados, o consumo energético, a emissão de CO<sub>2</sub> equivalente e o potencial de aquecimento global tiveram as maiores incidências de avaliação nos estudos.

Nome	Classificação
Energia incorporada	Fluxo de entrada
Consumo energético	Fluxo de entrada
Emissão de CO <sub>2</sub> equivalente	Indicador de categoria
Gases de efeito estufa	Categoria de impacto – <i>midpoint</i>
Potencial de aquecimento global	Categoria de impacto – <i>midpoint</i>
Extração de minerais	Categoria de impacto – <i>midpoint</i>
Ocupação de terra	Categoria de impacto – <i>midpoint</i>
Acid./nutrificação terrestre	Categoria de impacto – <i>midpoint</i>
Ecotoxicidade terrestre	Categoria de impacto – <i>midpoint</i>
Ecotoxicidade aquática	Categoria de impacto – <i>midpoint</i>
Depleção da camada de ozônio	Categoria de impacto – <i>midpoint</i>
Radiação ionizante	Categoria de impacto – <i>midpoint</i>
Inaláveis orgânicos	Categoria de impacto – <i>midpoint</i>
Inaláveis inorgânicos	Categoria de impacto – <i>midpoint</i>
Não carcinogênicos	Categoria de impacto – <i>midpoint</i>
Carcinogênicos	Categoria de impacto – <i>midpoint</i>
Formação de oxidantes fotoquímicos	Categoria de impacto – <i>midpoint</i>
Acidificação	Categoria de impacto – <i>midpoint</i>
Eutrofização	Categoria de impacto – <i>midpoint</i>
Índice de emissão - água	Categoria de impacto – <i>midpoint</i>
Índice de emissão - ar	Categoria de impacto – <i>midpoint</i>
Índice de emissão - terra	Categoria de impacto – <i>midpoint</i>
Saúde humana	Categoria de impacto - <i>endpoint</i>
Qualidade do ecossistema	Categoria de impacto - <i>endpoint</i>
Mudanças climáticas	Categoria de impacto - <i>endpoint</i>
Recursos	Categoria de impacto - <i>endpoint</i>

**Quadro 1 – Classificação das unidades apresentadas como resultados nos artigos**

Fonte: A autora (2017).



Impacto/ artigo*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>SISTEMA PRÉ-FABRICADO</b>	Energia incorporada			29,7				41,0									
	Consumo energético					48,8					56,6	49,4		37,7	47,9		
	Emissão de CO <sub>2</sub> equivalente					42,4				47,3		49,5	50,3	35,1			51,3
	Gases de efeito estufa	49,2	49,0														
	Potencial de aquecimento global					48,2		46,4	52,0		54,7	49,4			47,1		
	Extração de minerais					36,1											
	Ocupação de terra					51,4											
	Acid./nutrifica-ção terrestre					47,3											
	Ecotoxicidade terrestre					48,9											
	Ecotoxicidade aquática					49,7											
	Depleção da camada de ozônio					49,0					49,7				46,6		
	Radiação ionizante					44,5											
	Inaláveis orgânicos					51,7											
	Inaláveis inorgânicos					44,6											
	Não carcinogênicos					51,3											
	Carcinogênicos					49,3											
	Formação de oxidantes fotoquímicos											60,6					
	Acidificação											56,7					
	Eutrofização											54,1					
	Índice de emissão - água												49,0				
Índice de emissão - ar												49,4					
Índice de emissão - terra												48,5					
Saúde humana				32,0					48,3							60,7	
Qualidade do ecossistema				52,6					49,1							77,7	
Mudanças climáticas																20,5	
Recursos				28,6					39,1							26,9	
<b>SISTEMA CONVENCIONAL</b>	Energia incorporada			70,3				59,0									
	Consumo energético					51,1					43,4	50,6		62,3	52,0		
	Emissão de CO <sub>2</sub> equivalente					57,6				52,7		50,5	49,7	64,9		48,7	
	Gases de efeito estufa	50,8	51,0														
	Potencial de aquecimento global					51,8		53,6	48,0		45,2	50,5			52,8		
	Extração de minerais					63,9											
	Ocupação de terra					48,6											
	Acid./nutrifica-ção terrestre					52,7											
	Ecotoxicidade terrestre					51,1											
	Ecotoxicidade aquática					50,3											
	Depleção da camada de ozônio					51,0					50,3				53,4		
	Radiação ionizante					55,5											
	Inaláveis orgânicos					48,3											
	Inaláveis inorgânicos					55,5											
	Não carcinogênicos					48,7											
	Carcinogênicos					50,7											
Formação de oxidantes fotoquímicos											39,4						
Acidificação											43,3						



Impacto/ artigo*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Eutrofização											45,9						
Índice de emissão - água												51,0					
Índice de emissão - ar												50,6					
Índice de emissão - terra												51,5					
Saúde humana				68,0			51,7									39,3	
Qualidade do ecossistema				47,4			50,9									22,3	
Mudanças climáticas																79,5	
Recursos				71,4			61,0									73,1	

Figura 5 – Percentagens relativas por impacto para os sistemas pré-fabricado e convencional

Fonte: A autora (2017).

Notas:

\*Numeração dos artigos conforme Tabela 3 em: Autores do artigo

## 6 CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos sobre a geração de impactos ambientais na construção civil tiveram crescimento expressivo nesta última década, o que evidencia a necessidade de encontrar soluções ambientalmente mais sustentáveis.

Ao levantar os estudos comparativos de impactos ambientais em construções convencionais e pré-fabricadas realizados nos últimos cinco anos, foram encontrados artigos realizados em diferentes países. Isso evidenciou a variabilidade de materiais e técnicas empregados conforme as características regionais, que em sua maioria por não fornecerem maiores informações, exigiu a busca em literatura especializada sobre a execução para entendimento do método construtivo e aplicação dos materiais para posterior classificação em sistema convencional, pré-fabricado ou exclusão do artigo caso não se encaixasse no comparativo.

Dessa forma, recomenda-se a descrição do método construtivo e os materiais empregados em estudos futuros para auxiliar pesquisas internacionais no entendimento dos sistemas construtivos nacionais.

Sobre os impactos levantados para cada sistema, o pré-fabricado apresentou melhores resultados em relação ao convencional na maioria das categorias. No entanto, devido ao valor encontrado para o desvio padrão não é possível afirmar como uma conclusão generalizada, que demonstra a variabilidade no valor dos impactos.

Cada ACV possui características únicas que influenciam o cálculo do impacto, como o local da obra, a distância de transporte e os materiais e suas quantidades empregados. As bases de dados utilizadas na fase de inventário do ciclo de vida ainda são escassas no Brasil e se baseiam em valores internacionais para se adaptarem à realidade brasileira.

Além disso, no desenvolvimento de uma ACV são tomadas decisões que gerarão um resultado singular, por isso a importância de descrever todas as etapas em sua realização e as escolhas feitas, o que não foi verificado em diversos dos estudos revisados, impossibilitando a sua reprodução e avaliação da qualidade.

Por fim, a realização de uma ACV é uma atividade complexa, de forma que simplificá-la, considerando apenas as atividades e processos relevantes pode reduzir esforço e tempo dispendidos.

Somado a isso, ACVs comparativas devem ser realizadas de forma consistente para uma comparação correta e equivalente, uma vez que no atual cenário em que a sustentabilidade ambiental tem sido foco de discussão, a afirmação de um item ser mais sustentável que outro deve ser avaliada com critério, para evitar a prática do *greenwashing* e a manipulação de informações de forma a distorcê-las.



Como sugestão para pesquisas futuras, pode-se analisar a diferença entre os impactos dos sistemas construtivos, que apesar de pequena em porcentagem, não é conclusiva sobre a sua relevância. Ainda, incentiva-se o desenvolvimento de estudos comparativos com a aplicação da ferramenta ACV na área da construção civil, dada a importância do setor para as questões ambientais em níveis local e global.

## REFERÊNCIAS

- ABNT ISO 14040. (2014). *Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura*. Rio de Janeiro.
- Alshamrani, O. S. (2015). Life cycle assessment of low-rise office building with different structure-envelope configurations. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 43(3), 193–200.
- Anand, C., & Amor, B. (2017). Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 408–416.
- Aye, L., Ngo, T., Crawford, R. H., Gammampila, R., & Mendis, P. (2012). Life cycle greenhouse gas emissions and energy analysis of prefabricated reusable building modules. *Energy and Buildings*, 47, 159–168. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.11.049>
- Baldwin, A., Poon, C. S., Shen, L. Y., Austin, S., & Wong, I. (2009). Designing out waste in high-rise residential buildings: Analysis of precasting methods and traditional construction. *Renewable Energy*, 34(9), 2067–2073. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.02.008>
- BRASIL. (2010). Manual para implantação de sistema de gestão de resíduos de construção civil em consórcios públicos. Recuperado em 15 julho, 2017, de [http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu\\_urbano/\\_arquivos/4\\_manual\\_implantao\\_sistema\\_gest\\_o\\_resduos\\_construo\\_civil\\_cp\\_125.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/4_manual_implantao_sistema_gest_o_resduos_construo_civil_cp_125.pdf)
- Caldas, L. R., Lira, J. S. de M. M., Melo, P. C. de, & Sposto, R. M. (2017). Life cycle carbon emissions inventory of brick masonry and light steel framing houses in Brasília: proposal of design guidelines for low-carbon social housing. *Ambiente Construído*, 17(3), 71–85.
- Calmon, J. L., & Vieira, D. R. (2014). Perceptions of sustainability in civil construction projects: analysis of brazilian construction sites. *The Journal of Modern Project Management*, 2(1), 70–81.
- Câmara Brasileira da Indústria da Construção [CBIC]. (2017). Participação (%) no Valor Adicionado Bruto (a preços básicos) - Segundo as Classes e Atividades. Recuperado em 15 Julho 2017, de [http://www.cbicdados.com.br/media/anexos/tabela\\_02.D.05\\_6.xlsx](http://www.cbicdados.com.br/media/anexos/tabela_02.D.05_6.xlsx)
- Cao, X., Li, X., Zhu, Y., & Zhang, Z. (2015). A comparative study of environmental performance between prefabricated and traditional residential buildings in China. *Journal of Cleaner Production*, 109, 131–143.
- Castro, A. L., Silva, F. B., Arduin, R. H., Oliveira, L. A., & Becere, O. H. (2015). Análise da viabilidade técnica da adaptação de dados internacionais de inventário de ciclo de vida para o contexto brasileiro : um estudo de caso do concreto para paredes moldadas no local. *Anais Do 57º Congresso Brasileiro Do Concreto*, 1–16.



Cavalett, O., Chagas, M. F., Seabra, J. E. A., & Bonomi, A. (2013). Comparative LCA of ethanol versus gasoline in Brazil using different LCIA methods. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(3), 647–658. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0465-0>

Chastas, P., Theodosiou, T., & Bikas, D. (2016). Embodied energy in residential buildings-towards the nearly zero energy building: A literature review. *Building and Environment*, 105, 267–282. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.05.040>

Chau, C. K., Hui, W. K., Ng, W. Y., & Powell, G. (2012). Assessment of CO<sub>2</sub> emissions reduction in high-rise concrete office buildings using different material use options. *Resources, Conservation and Recycling*, 61, 22–34. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.01.001>

Chou, J.-S., & Yeh, K.-C. (2015). Life cycle carbon dioxide emissions simulation and environmental cost analysis for building construction. *Journal of Cleaner Production*, 101, 137–147. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.001>

Dong, Y. H., Jaillon, L., Chu, P., & Poon, C. S. (2015). Comparing carbon emissions of precast and cast-in-situ construction methods - A case study of high-rise private building. *Construction and Building Materials*, 99, 39–53. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.145>

Eriksson, P. (2001). Comparative LCA's for Wood and Other Construction Methods. In *Proceedings of the World Conference on Timber Engineering*. Lahti, Finlândia (Vol. 1417).

Geng, S., Wang, Y., Zuo, J., Zhou, Z., Du, H., & Mao, G. (2017). Building life cycle assessment research: A review by bibliometric analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 176–184. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.068>

González, M. J., & García Navarro, J. (2006). Assessment of the decrease of CO<sub>2</sub> emissions in the construction field through the selection of materials: Practical case study of three houses of low environmental impact. *Building and Environment*, 41(7), 902–909. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.04.006>

Goodier, C., & Gibb, A. (2007). Future opportunities for offsite in the UK. *Construction Management and Economics*, 25(6), 585–595. <https://doi.org/10.1080/01446190601071821>

Guardigli, L. (2014). Comparing the environmental impact of reinforced concrete and wooden structures. In *Eco-efficient Construction and Building Materials: Life Cycle Assessment (LCA), Eco-Labeling and Case Studies*, 407.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada [IPEA]. (2016). a Avaliação De Ciclo De Vida Como Ferramenta Para a Formulação De Políticas Públicas No Brasil. Recuperado em 15 julho, 2017, de [https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi5hNK7gKXVAhVIIpAKHQeCCocQFggoMAE&url=http%3A%2F%2Frepository.ipea.gov.br%2Fbitstream%2F11058%2F6685%2F1%2Ftd\\_2205.pdf&usg=AFQjCN GVIHyjH3E-nU0dR0VaXUL-6v8F5Q](https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi5hNK7gKXVAhVIIpAKHQeCCocQFggoMAE&url=http%3A%2F%2Frepository.ipea.gov.br%2Fbitstream%2F11058%2F6685%2F1%2Ftd_2205.pdf&usg=AFQjCN GVIHyjH3E-nU0dR0VaXUL-6v8F5Q)

Iribarren, D., Marvuglia, A., Hild, P., Guiton, M., Popovici, E., & Benetto, E. (2015). Life cycle assessment and data envelopment analysis approach for the selection of building components according to their environmental impact efficiency: a case study for external





walls. *Journal of Cleaner Production*, 87, 707–716. Recuperado em 15 julho, 2017, de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.073>

Jaillon, L., Poon, C. S., & Chiang, Y. H. (2009). Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong. *Waste Management*, 29(1), 309–320. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.02.015>

Kamali, M., & Hewage, K. (2016). Life cycle performance of modular buildings: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1171–1183. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.031>

Konig, H., Schmidberger, E., De Cristofaro, L., Braganca, L., Pinheiro, M., Jalali, S., ... Guedes, M. C. (2007). Life Cycle Assessment of a tourism resort with renewable materials and traditional construction techniques. *Portugal SB07, Sustainable Construction, Materials and Practices*. IOS Press, Amsterdam, 1043–1050.

Li, X., Zhu, Y., & Zhang, Z. (2010). An LCA-based environmental impact assessment model for construction processes. *Building and Environment*, 45(3), 766–775. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.010>

Liu, Y., Guo, H., Sun, C., & Chang, W.-S. (2016). Assessing Cross Laminated Timber (CLT) as an Alternative Material for Mid-Rise Residential Buildings in Cold Regions in China-A Life-Cycle Assessment Approach. *Sustainability*, 8(10). <https://doi.org/10.3390/su8101047>

Mao, C., Shen, Q., Shen, L., & Tang, L. (2013). Comparative study of greenhouse gas emissions between off-site prefabrication and conventional construction methods: Two case studies of residential projects. *Energy and Buildings*, 66, 165–176. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.033>

Maodus, N., Agarski, B., Misulic, T. K., Budak, I., & Radeka, M. (2016). Life cycle and energy performance assessment of three wall types in south-eastern Europe region. *Energy and Buildings*, 133, 605–614. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.014>

Marsono, A., & Balasbaneh, A. T. (2015). Combinations of building construction material for residential building for the global warming mitigation for Malaysia. *Construction and Building Materials*. Recuperado em 15 julho, 2017, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815003414>

Memari, A., Solnosky, R., Tufano, J., & Dillen, M. (2014). Comparative study on multi-hazard resistance and embodied energy of different residential building wall systems. *J. Civil Eng. Architect.*, 1(6), 367–387. Recuperado em 15 julho, 2017, de <http://www.ethanpublishing.com/uploadfile/2014/1225/20141225040553347.pdf>

Meseguer, A. G. (1991). *Controle e Garantia da Qualidade na Construção*. São Paulo: Sinduscon – SP/Projeto/PW.

Miyazato, T., & Oliveira, C. T. A. (2009). Avaliação do Ciclo de Vida (ACV): aplicações e limitações no setor da construção civil. In *V ENCONTRO NACIONAL E III ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS*, V, III. Recife.

Monteiro, H., & Freire, F. (2012). Life-cycle assessment of a house with alternative exterior



- walls: Comparison of three impact assessment methods. *Energy and Buildings*, 47, 572–583. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.12.032>
- Motuzienė, V., Rogoža, A., Lapinskienė, V., & Vilutienė, T. (2016). Construction solutions for energy efficient single-family house based on its life cycle multi-criteria analysis: a case study. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.103>
- Nações Unidas. (2009). Buildings and Climate Change: Summary for Decision Makers. *Buildings and Climate Change: Summary for Decision-Makers*, 1–62. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- New Zealand Green Building Council [NZGB]. (2016). Green Star, Manual v3.1. Recuperado em 15 julho, 2017, de [https://www.nzgbc.org.nz/Attachment?Action=Download&Attachment\\_id=694](https://www.nzgbc.org.nz/Attachment?Action=Download&Attachment_id=694)
- Nunes, C. C., & Junges, E. (2008). Comparação de custo entre estrutura convencional em concreto armado e alvenaria estrutural de blocos de concreto para edifício residencial em Cuiabá-MT. In *XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído* (p. 10). Fortaleza, Ceará.
- Omar, W. M. S. W., Doh, J.-H., Panuwatwanich, K., & Miller, D. (2014). Assessment of the embodied carbon in precast concrete wall panels using a hybrid life cycle assessment approach in Malaysia. *Sustainable Cities and Society*, 10, 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2013.06.002>
- Ottelé, M., Perini, K., Fraaij, A. L. A., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems. *Energy and Buildings*, 43(12), 3419–3429. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.010>
- Pajchrowski, G., Noskowiak, A., Lewandowska, A., & Strykowski, W. (2014a). Materials composition or energy characteristic—What is more important in environmental life cycle of buildings? *Building and Environment*, 72, 15–27. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.10.012>
- Pajchrowski, G., Noskowiak, A., Lewandowska, A., & Strykowski, W. (2014b). Wood as a building material in the light of environmental assessment of full life cycle of four buildings. *Construction and Building Materials*, 52, 428–436. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.066>
- Pons, O., & Wadel, G. (2011). Environmental impacts of prefabricated school buildings in Catalonia. *Habitat International*, 35(4), 553–563. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2011.03.005>
- Quale, J., Eckelman, M. J., Williams, K. W., Sloditskie, G., & Zimmerman, J. B. (2012). Construction Matters: Comparing Environmental Impacts of Building Modular and Conventional Homes in the United States. *Journal of Industrial Ecology*, 16(2), 243–253. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00424.x>
- Ribeiro, M. S. (2002). *A Industrialização como Requisito para a Racionalização da Construção*. Rio de Janeiro: UFRJ/PROARQ/FAU.
- Sartori, I., & Hestnes, A. G. (2007). Energy use in the life cycle of conventional and low-



energy buildings: A review article. *Energy and Buildings*, 39(3), 249–257.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.07.001>

Säynäjoki, A., Heinonen, J., Junnila, S., & Horvath, A. (2017). Can life-cycle assessment produce reliable policy guidelines in the building sector? *Environmental Research Letters*, 12(1). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa54ee>

Shen, L., Tam, W., Chan, C., & Kong, S. (2002). An examination on the waste management practice in the local construction site. *Hong Kong Surveyor*. Recuperado em 21 julho, 2017, de [https://scholar.google.com/scholar?cluster=5102146205066149633&hl=pt-BR&as\\_sdt=2005&scioldt=0,5](https://scholar.google.com/scholar?cluster=5102146205066149633&hl=pt-BR&as_sdt=2005&scioldt=0,5)

Takano, A., & Pittau, F. (2013). Greenhouse gas emission from construction process of multi-story wooden buildings. *Proceedings of Sustainable Building Conference*, 27. Recuperado em 15 julho, 2017, de [http://www.academia.edu/download/39449006/Greenhouse\\_gas\\_emission\\_from\\_constructio20151027-24605-skaow8.pdf](http://www.academia.edu/download/39449006/Greenhouse_gas_emission_from_constructio20151027-24605-skaow8.pdf)

Tam, V. W. Y., Tam, C. M., & Ng, W. C. Y. (2007). On prefabrication implementation for different project types and procurement methods in Hong Kong. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 5, 68–80. <https://doi.org/10.1108/17260530710746614>

Tam, V. W. Y., Tam, C. M., Zeng, S. X., & Ng, W. C. Y. (2007). Towards adoption of prefabrication in construction. *Building and Environment*, 42(10), 3642–3654.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.003>

Vasques, C. C. P. C. F., & Pizzo, L. M. B. F. (2014). Comparativo de sistemas construtivos, convencional e wood frame em residências unifamiliares 1. São Paulo: Unilins.

Wen, T. J., Siong, H. C., & Noor, Z. Z. (2015). Assessment of Embodied Energy and Global Warming Potential of Building Construction using Life Cycle Analysis Approach: Case Studies of Residential Buildings in Iskandar Malaysia. *Energy and Buildings*, 93, 295–302.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.002>

Zabalza Bribián, I., Aranda Usón, A., & Scarpellini, S. (2009). Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment*, 44(12), 2510–2520.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.05.001>