

Área: Sustentabilidade | **Tema:** Temas Emergentes em Sustentabilidade

Avaliação do Ciclo de Vida em Edificações Residenciais no Brasil: Uma Revisão de Literatura

Life Cycle Assessment in Residential Buildings in Brazil: A Literature Review

Marianne Di Domênico, Lauro André Ribeiro e Thaísa Leal Da Silva

RESUMO

Atualmente, com o aumento da preocupação ambiental e a crescente participação do setor de Construção Civil na geração de impactos ambientais, percebe-se a importância da adoção de novas ferramentas que auxiliem na busca pelo desenvolvimento sustentável. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta de análise ambiental que identifica a origem dos impactos gerados por determinado produto e os quantifica. Nesse contexto, este artigo tem como objetivo investigar o desenvolvimento de estudos sobre ACV em edificações residenciais no Brasil, analisando o cenário nacional em relação a produção científica sobre o tema. A metodologia utilizada neste artigo foi a revisão de literatura, delimitando para a busca o recorte temporal de 2013 e 2018. A partir da pesquisa realizada foi possível perceber a importância da ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida para a mensuração dos impactos ambientais gerados nos processos construtivos, no uso e no pós-uso de habitações. Os estudos analisados na revisão de literatura permitiram identificar em qual fase do ciclo de vida de determinado produto são gerados os maiores impactos ambientais e, dessa forma, é possível propor soluções e estratégias visando a mitigação desses impactos. Além disso, com base na revisão de literatura pode-se concluir que o número de pesquisas sobre Avaliação do Ciclo de Vida aplicada em edificações residenciais no Brasil ainda é escasso, porém a perspectiva sobre o tema no país demonstra-se amplamente positiva.

Palavras-Chave: Avaliação do Ciclo de Vida; Edificações Residenciais; Impacto ambiental.

ABSTRACT

Nowadays, with the increasing environmental concern and the increasing participation of the Civil Construction sector in the generation of environmental impacts, we realize the importance of adopting new tools that help in the search for sustainable development. Life Cycle Assessment (LCA) is an environmental analysis tool that identifies the source of impacts generated by a given product and quantifies them. In this context, this article aims to investigate the development of studies on LCA in residential buildings in Brazil, analyzing the national scenario in relation to scientific production on the subject. The methodology used in this article was the literature review, delimiting for the search the timeframe of 2013 and 2018. From the research conducted, it was possible to realize the importance of the Life Cycle Assessment tool for the measurement of environmental impacts generated in the processes. Construction, use and post-use of housing. The studies analyzed in the literature review allow us to identify in which phase of the determined product life cycle the greatest environmental impacts are generated and, thus, it is possible to propose solutions and use the necessary tools. In addition, based on the literature review, it can be concluded that the number of researches on Life Cycle Assessment applied in residential editions in Brazil is still scarce, but a perspective on the topic in the country is positive.

Keywords: Life cycle assessment; Residential Buildings; Environmental impact.

Avaliação do Ciclo de Vida em Edificações Residenciais no Brasil: Uma Revisão de Literatura

Life Cycle Assessment in Residential Buildings in Brazil: A Literature Review

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a discussão sobre os impactos ambientais gerados pelas atividades exercidas na construção civil tem crescido consideravelmente. O alto consumo energético, o uso de matérias-primas não renováveis, a geração de resíduos, efluentes e emissões que poluem o meio ambiente e potencializam o efeito estufa são alguns dos principais impactos ambientais gerados por esse setor. Entre as recomendações para a diminuição desses impactos, surge atualmente a necessidade de gestão do ambiente construído na perspectiva do ciclo de vida (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2018).

A sustentabilidade ambiental é um tema recorrente no setor da construção civil. Cada vez mais buscam-se alternativas e estratégias que possibilitem a construção de edificações mais eficientes e sustentáveis. Nessa busca pelo desenvolvimento sustentável é importante gerenciar e avaliar os impactos da fabricação e do uso dos produtos e sistemas empregados na construção civil, pois grande parte das matérias utilizadas provêm da natureza e conseqüentemente voltarão a ela.

Na atual conjuntura, percebe-se a importância da adoção de novas ferramentas e tecnologias para analisar os materiais empregados em edificações, visando subsidiar a busca por estratégias de mitigação dos impactos ambientais. Uma forma de mensurar os impactos ambientais de um determinado produto ou processo é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Conhecida pelo termo “do berço ao túmulo”, ela é definida pela NBR ISO 14040 (2009) como uma ferramenta de análise ambiental que identifica a origem dos impactos gerados por determinado produto e os quantifica.

Responsável por quantificar os impactos causados sobre o meio ambiente, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é um método que analisa todo o ciclo de vida de um produto ou serviço, desde a extração da matéria prima, passando por sua fabricação e uso até o descarte final e/ou reciclagem. De acordo com o Manual do Sistema ILCD (2014), o método de ACV é utilizado para apoiar decisões e, uma vez que sua metodologia permite a compreensão de todas as fases de um produto, tal método pode complementar outras ferramentas de análises bioclimáticas, evitando que algumas alternativas propostas para solução de problemas ambientais possam criar novos problemas e prejudicar uma produção mais sustentável.

Por se tratar de uma ferramenta sistêmica, o método de ACV possibilita desenvolver pesquisas com inúmeros produtos, que são definidas a partir do impacto a ser avaliado. Os tipos de pesquisas relacionadas à ACV mais aplicadas no setor de construção civil são: A Avaliação do Ciclo de Vida completa, que consiste na multianálise de impactos ambientais gerados por determinado produto; a Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE), utilizado para a quantificação do consumo energético dos processos de um determinado produto; e a Avaliação das Emissões de Gás Carbônico (ACVCO₂), que consiste em quantificar as emissões de CO₂ ao longo do ciclo de vida de um determinado produto (CHAU et.al, 2015).

Quando aplicada no setor da construção civil, o ciclo de vida de uma edificação geralmente é dividido em etapas para viabilizar o levantamento necessário para aplicar a ACV. A subdivisão do ciclo de vida de edificações é definida em três fases: pré-operacional, operacional e pós-operacional.

A fase pré-operacional de uma edificação, como é descrita por Sposto e Paulsen (2014), compreende os impactos gerados até a fase de execução da edificação, incluindo as etapas de extração da matéria-prima, fabricação dos materiais e componentes, transporte desses materiais e insumos até o canteiro de obras incluindo a geração de resíduos e desperdícios durante a fase

de execução. A fase operacional é composta pelas etapas de reposição de materiais, manutenção e pelos impactos resultantes do uso da edificação. A fase pós-operacional, é o fim do ciclo de vida de uma edificação, leva em consideração os impactos ambientais produzidos nas etapas de demolição e transporte dos resíduos gerados nesse processo (TAVARES, 2006).

Muitos países estão desenvolvendo estratégias para implantação da ferramenta de ACV. A utilização desta técnica é cada vez mais aceita, tanto no setor público quanto privado. Por tratar-se de um conceito relativamente novo, a Avaliação do Ciclo de Vida ainda está em desenvolvimento no Brasil. Entretanto, o interesse por esta ferramenta aumentou nos últimos dez anos, notando-se o aumento de instituições interessadas pelo desenvolvimento da ACV no país. Porém, a comunidade brasileira de ACV reconhece que ainda há um número pequeno de pesquisas desenvolvidas e que há um longo caminho a seguir para a sua efetivação prática (SOUZA et al., 2016).

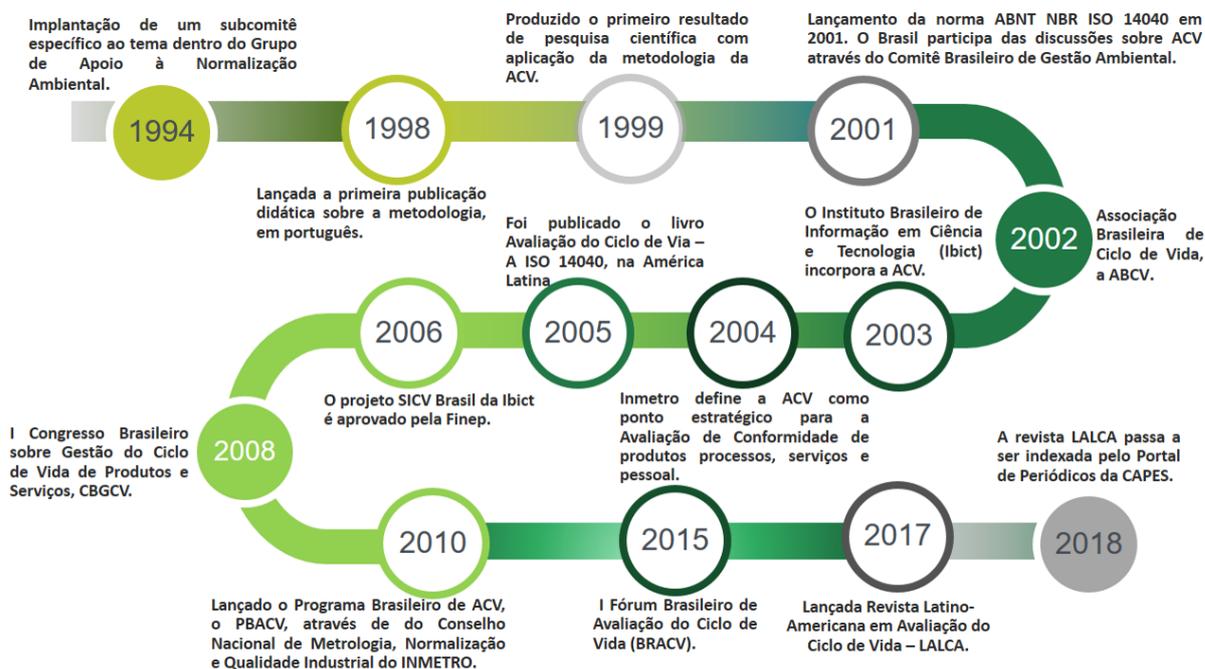
Nesse contexto, o objetivo deste artigo é investigar o desenvolvimento de estudos sobre a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) em edificações residenciais no Brasil, analisando a situação do cenário nacional em relação a produção científica sobre o tema.

O presente artigo está estruturado em cinco seções, apresentando inicialmente uma breve introdução sobre o tema estudado e objetivo proposto. Na segunda seção é demonstrado o histórico da Avaliação do Ciclo de Vida no Brasil, de forma a compreender a sua evolução no país. A seguir, a terceira seção apresenta a metodologia utilizada no desenvolvimento da pesquisa e obtenção dos resultados. A quarta seção compreende a etapa de discussão dos resultados e, por fim, na quinta seção, são apresentadas as conclusões obtidas a partir da pesquisa desenvolvida neste trabalho.

2 HISTÓRICO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NO BRASIL

No Brasil, como é representado na Figura 1, os primeiros estudos sobre Avaliação do Ciclo de Vida, de acordo com o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT, 2012), iniciaram no ano de 1994 com a implantação do subcomitê do Grupo de Apoio à Normalização Ambiental, desenvolvendo análises sobre as normas ISO 14000 sobre gestão ambiental. Em 1998, foi lançado o livro “Análise do Ciclo de Vida de Produtos”, escrito pelo professor José Ribamar Brasil Chehebe. No ano de 1999, a partir da iniciativa do Centro de Tecnologia de Embalagens do Instituto de Tecnologia de Alimentos, foi realizada a pesquisa de Avaliação do Ciclo de Vida de Embalagens para o Mercado Brasileiro, primeira pesquisa científica aplicando a metodologia da ACV no Brasil (SEO e KULAY, 2006) (CHEHEBE, 1997) (GARCIA et al, 1999).

Figura 1 - Linha do tempo da avaliação do ciclo de vida no Brasil



Fonte: Os autores

No ano de 2001 foi lançada a versão traduzida da ISO 14040 sobre gestão ambiental. No mesmo ano é estabelecido o Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental (CB – 38) com vínculo à Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que passa a participar de importantes discussões sobre a ACV. No ano seguinte foi criada a Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV), tornando-se um importante agente para a promoção e capacitação da ferramenta no país. Em 2003, o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT) passa a adotar a ACV como uma de suas linhas temáticas, impulsionando o desenvolvimento da ferramenta, através de parcerias com o intuito de promover a capacitação na área e desenvolver uma base de dados consistente (IBICT, 2012).

No ano de 2004, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) adotou a ferramenta como um ponto estratégico para suas avaliações. Dessa forma, a ACV passou a ser um dos critérios para atestar o desempenho ambiental de um produto ou processo. Em 2006, de acordo com dados do IBICT (2012), foi aprovado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) o projeto de Inventário do Ciclo de Vida para a Competitividade Ambiental da Indústria Brasileira (SICV Brasil), promovendo capacitações técnicas e desenvolvimento de informações para elaboração de base de dados nacionais.

A partir do ano de 2008 passou a acontecer no Brasil, no intervalo de tempo de dois em dois anos, o Congresso Brasileiro sobre Gestão e Ciclo de Vida de Produtos e Serviços (CBGCV). Analisando os Anais de cada ano do evento pode-se perceber o aumento gradativo de publicações. No primeiro Congresso (CBGCV) realizado foram apresentados quarenta e quatro artigos completos, na edição seguinte do evento o número de trabalhos passou para cinquenta e cinco. No ano de 2014, em sua quarta edição o evento registrou noventa e quatro trabalhos completos. Para o V Congresso Brasileiro sobre Gestão e Ciclo de Vida de Produtos e Serviços foram submetidos duzentos e trinta trabalhos para avaliação, desses cento e setenta foram selecionados para apresentação em formato de artigo completo no evento. Constatando assim o crescimento do interesse pelo tema e o aumento no número de pesquisadores envolvidos com a ACV no país.

Em 2015 aconteceu o I Fórum Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (BRACV), ocorrendo a partir desse momento o crescimento de pesquisas relacionadas ao tema. Em 2017 foi lançada pela IBICT, a Revista Latino Americana em Avaliação do Ciclo de Vida – LALCA, passo importante para a disseminação do tema no país.

Analisando a trajetória da ferramenta de ACV no Brasil, pode-se perceber o avanço nos investimentos para disseminá-la no país, tais como congressos e fóruns sobre o tema, a incorporação da ferramenta por empresas e instituições e o lançamento da revista sobre Avaliação do Ciclo de Vida. Uma vez que a ferramenta ainda é relativamente nova, essas iniciativas trazem perspectivas promissoras para que o número de pesquisas referentes à Análise do Ciclo de Vida siga aumentando.

3 METODOLOGIA

Para atender objetivo proposto neste artigo foi realizada uma extensa revisão de literatura, através de pesquisa em artigos, teses e dissertações publicados no período de 2013 a 2018, recorte temporal em que ocorreu o maior crescimento no número de pesquisas relacionadas ao tema. As bases de dados Scielo, Directory of Open Access Journals (DOAJ), Catálogo de Teses e Dissertações CAPES, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e os Anais do Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida, foram definidas como base de buscas para a revisão de literatura desenvolvida.

A pesquisa foi realizada utilizando as palavras-chave: avaliação do ciclo de vida, ciclo de vida em edificações residenciais, *life cycle assessment* e *life cycle building*. Na primeira etapa foi realizado um processo de seleção, descartando os estudos que não aplicavam a ferramenta em edificações residenciais. Posteriormente, foram avaliados os resumos dos trabalhos para assim selecionar os estudos relevantes para a pesquisa em questão.

A partir dessa seleção foram incluídos no artigo estudos que aplicaram a metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida em edificações residenciais por meio de estudo de caso. Assim, foram selecionados quinze trabalhos, entre teses, dissertações e artigos. Em seguida, foi realizada a descrição de cada um deles e posteriormente análises para identificar quais os impactos foram avaliados, o objetivo e escopo da ACV e se foram utilizados softwares específicos para a obtenção dos resultados de cada pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com objetivo de investigar o cenário nacional da produção científica sobre Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) aplicada a edificações residenciais, as pesquisas incluídas neste artigo, apresentadas no Quadro 1, foram analisada para, assim, entender o que cada autor estava propondo em seus estudos e quais os principais resultados encontrados.

Quadro 1 - Estudos selecionados para a pesquisa (aplicação de ACV em edificações residenciais)

| TÍTULO | ESCOPO | IMPACTOS AMBIENTAIS | SOFTWARE | REFERÊNCIA | ANO |
|--|------------------|---|---------------------------|---|------|
| Potencial de aquecimento global de paredes de concreto a partir da Avaliação do Ciclo de Vida | Berço ao túmulo | Emissões do Gases de Efeito Estufa (GEE) | Gabi | BRAGA, N. K. M | 2018 |
| Avaliação do Ciclo de Vida do pós-uso da construção civil: Um estudo de caso da demolição no Rio de Janeiro | Túmulo | Resíduos gerados pela demolição dos edifícios | Gabi | LIMA, F. M; LOVÓN, G.A; ALVARADO, L. M. T. | 2018 |
| Emissões de CO ₂ de sistemas de revestimento de argamassa: estudo de caso de aplicação de argamassa projetada comparativamente à aplicação convencional CO ₂ | Portão ao Portão | Emissões de CO ₂ | - | ALBUQUERQUE, H. R.; LIRA, J.; SPOSTO, R. M. | 2018 |
| Forros de Gesso e PVC comparativamente ao Forro de Madeira: Avaliação do Ciclo de Vida de emissões de CO ₂ | Berço ao túmulo | Emissões de CO ₂ | - | ARAUJO, L.G; LIRA, J.S.M; SPOSTO, R.M. | 2018 |
| Avaliação do Ciclo de Vida e simulação termoenergética em unidade habitacional unifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida | Berço ao túmulo | Consumo energético Emissões do Gases de Efeito Estufa (GEE) | Open Studio Energy Plus | MORAGA, G. L. | 2017 |
| Inventário de emissões de carbono no ciclo de vida de habitações e light steel framing em Brasília: proposição de diretrizes de projeto para habitações de interesse social de baixo carbono | Berço ao túmulo | Emissões de CO ₂ | DesignBuilder | CALDAS, L. R.; LIRA, J. S. de M. M.; MELO, P. C. de; SPOSTO, R. M. | 2017 |
| Avaliação do Ciclo de Vida Energético na fase de pré – uso de telhas termoacústicas com poliestireno expandido para edificação habitacional no DF | Berço ao túmulo | Energia Incorporada | DesignBuilder | CALDEIRA, D. M. | 2016 |
| Avaliação do Ciclo de Vida Energético e de Emissões de CO ₂ de uma edificação habitacional unifamiliar de light steel framing | Berço ao túmulo | Consumo energético e emissões de CO ₂ | Energy Plus DesignBuilder | CALDAS, L. R. | 2016 |
| Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE) e do desempenho térmico de uma habitação de light steel framing com o uso de diferentes tipos isolantes térmicos | Berço ao portão | Consumo energético | DesignBuilder | CALDAS, L. R; SPOSTO, R. M; LOPES, A.M.S; TAVARES, W.C. | 2016 |
| Sustentabilidade na construção civil: Avaliação do Ciclo de Vida Energético e de Emissões de CO ₂ de fachadas para habitações sociais. | Berço ao portão | Consumo energético e emissões de CO ₂ | - | CALDAS, L.R; SPOSTO, R.M; PIRES, A.C; PAULSEN J.S. | 2016 |

| | | | | | |
|--|-----------------|---|---------|--|------|
| Avaliação ambiental do Ciclo de Vida de telhas de fibrocimento com fibras de amianto ou com fibras de polipropileno | Berço ao túmulo | Emissões de GEE; Impactos relacionadas à chuva ácida; Consumo de água e energia. | - | MARQUES, V. M; GOMES, L.P; KEM, A.P. | 2016 |
| Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE) de sistemas de vedação de habitações | Berço ao túmulo | Energia Incorporada | Minitab | PEDROSO, G. M. | 2015 |
| Avaliação do Ciclo de Vida de Painéis de Blocos Cerâmicos e Concreto Armado: Um exercício de aplicação do Manual do ILCD | Berço ao túmulo | Potencial de Aquecimento Global; Consumo de recursos abióticos e fósseis; Consumo de energia. | Gabi | SOMBRIO, C. M. O. | 2015 |
| Energia Incorporada em Habitações de Interesse Social na Fase de Pré-Uso: O caso do Programa Minha Casa Minha Vida | Berço ao portão | Energia Incorporada | - | SPOSTO, R. M; PAULSEN, J. S | 2014 |
| Exploring life cycle-based sustainability indicators for building structural frames in concrete | Berço ao túmulo | Emissões de CO ₂ Incorporado; Energia Incorporada; Consumo de recursos naturais não renováveis | SimaPRO | OLIVEIRA, F.R.M; SILVA, M.G; GOMES, V. | 2013 |

Fonte: Os autores

Nos estudos analisados neste artigo os escopos definidos pelos autores foram: Berço ao túmulo, berço ao portão, portão ao portão e túmulo.

O escopo “berço ao túmulo” significa que serão levantados dados em todas as fases do ciclo de vida de um produto, desde a extração da matéria prima até a sua disposição final ou reciclagem, ou seja, a etapa de fabricação do material avaliado, sua utilização em obra (etapa operacional), e a fase de pós-uso e demolição. Quando o escopo é definido por “berço ao portão”, a ferramenta é aplicada até a etapa operacional, analisando desde extração da matéria prima e fabricação do produto até o seu uso na construção. O escopo “portão ao portão”, considera somente os impactos referentes ao transporte do produto já fabricado até a obra e sua aplicação. O estudo que definiu seu escopo como “túmulo” fez levantamentos na fase de pós-uso da edificação, aplicando a ferramenta na etapa de demolição até a destinação final dos seus resíduos.

No estudo de Oliveira e Silva (2013), tem-se como objetivo principal analisar indicadores de sustentabilidade utilizando a ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida para validar seus resultados, tendo como objeto de estudo sistemas de laje e superestrutura de um pavimento – tipo de edificação habitacional. Para tanto, os autores realizaram estudos de caso em três edificações residenciais. As análises foram realizadas com apoio do software SimaPro (SIMAPRO, 2019) e com resultados obtidos pode-se comparar a viabilidade ambiental entre lajes nervuradas em concreto armado e lajes pretendidas. A partir das análises foi constatado que as lajes pretendidas, em relação a gastos energéticos, emissões de CO₂ incorporado e ao consumo de recursos naturais não renováveis, apresentaram melhores resultados quando comparadas às lajes nervuradas em concreto armado.

Spoto e Paulsen (2014), Pedroso (2015) e Caldeira (2016) utilizaram a ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida para quantificar e analisar o consumo de energia incorporada (EI) em determinados materiais utilizados em edificações residenciais. O estudo de Spoto e Paulsen (2014) definiu o escopo de berço ao portão para sua pesquisa fazendo assim a análise da fase pré-operacional de uma habitação de interesse social. Pedroso (2015) e Caldeira (2016) utilizaram o escopo de ACV do berço ao túmulo. O primeiro analisou a fase pré-operacional de uma Habitação de Interesse Social construída com um sistema convencional, quantificando a energia incorporada dos materiais nessa etapa. Chegando à conclusão de que cerca de 60% desta energia é concentrada na construção de vedações verticais.

Na pesquisa de Caldeira (2016), a Avaliação do Ciclo de Vida foi aplicada por meio de estudo de caso em edificações habitacionais, comparando sistemas de telha termoacústica de poliestireno expandindo, com e sem laje de concreto e, sistemas de telha cerâmica Plan, com e sem laje de concreto. Com o objetivo de analisar o consumo de energia incorporada em cada sistema. Os resultados obtidos pela ferramenta puderam constatar que a tipologia da telha não interferiu de forma significativa no consumo de energia embutida, porém, a laje de concreto em ambas tipologias acresceu o consumo de energia.

Na dissertação de Sombrio (2015), a ferramenta de ACV é aplicada em painéis de blocos cerâmicos e concreto armado, comparando os dois sistemas com o objetivo de quantificar o potencial de aquecimento global, o consumo de recursos naturais e energia de ambos. Com a aplicação da ferramenta, a autora concluiu que o sistema composto por concreto armado possui maior impacto ambiental.

Caldas, Spoto, Pires e Paulsen (2016) avaliaram o ciclo de vida energético, e o ciclo de vida de emissões de CO₂ em sua pesquisa. Nesse estudo, os autores aplicaram a ferramenta em quatro sistemas de fachadas para habitações de interesse social, sendo elas: *light steel framing*, parede de concreto moldada *in loco*, blocos de concreto estruturais e blocos cerâmicos estruturais. Por meio da ferramenta puderam constatar que o sistema de parede de concreto apresentou menor consumo energético e índice de emissões de CO₂ durante seus processos. Além de estudar as emissões de CO₂ no ciclo de vida de duas habitações de interesse social,

Caldas, Lira, Correa e Sposto (2017) avaliaram os sistemas compostos por blocos cerâmicos e *light steel framing*. A partir dos resultados obtidos pela comparação de ambos os sistemas propuseram diretrizes para auxiliar no projeto de edificações de interesse social de baixo carbono.

Em sua dissertação, Caldas (2016) comparou dois sistemas de vedação vertical externa e interna: *light steel framing* (LSF) e blocos cerâmicos, realizando a ACVE e ACVCO₂ por meio da aplicação de estudo de caso em edificações unifamiliares. Com o auxílio de planilhas eletrônicas e software para simulação energética chegou-se à conclusão de que, em relação aos impactos avaliados, o sistema de LSF apresentou menores danos ambientais.

Moraga (2017) utilizou a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida, para analisar o consumo energético e emissões de gases de efeito estufa (GEE) de uma edificação unifamiliar do programa Minha Casa Minha Vida, com o objetivo de quantificar tais impactos em cada etapa da construção e comprovar a importância da ferramenta de ACV para auxiliar na tomada de decisões de projeto. Braga (2018) também analisa uma habitação de interesse social, avaliando de forma comparativa as emissões de gases de efeito estufa do sistema de vedação vertical, com função estrutural, em concreto armado e, o sistema de vedação convencional em blocos cerâmicos. A avaliação mostrou que o sistema em concreto armado é mais vantajoso em relação ao sistema de vedação convencional em blocos cerâmicos.

A pesquisa de Araújo, Lira e Sposto (2018) teve como objetivo quantificar as emissões de CO₂ dos sistemas de vedação interna, compostos de forro de gesso acartonado, de PVC e forro de madeira e fazer análise comparativa das emissões geradas por cada sistema. Com a Avaliação do Ciclo de Vida de Emissões de CO₂ (ACVCO₂), os autores concluíram que o sistema de forro de madeira apresentou uma quantidade maior de emissões em relação aos outros dois sistemas analisados. Abulquerque, Lira e Sposto (2018) também utilizaram a ACVCO₂ para obter os resultados de sua pesquisa, porém o método foi aplicado em sistemas de revestimento de argamassa, onde foram comparadas, a partir de estudo de caso, as emissões geradas pela aplicação convencional e aplicação de argamassa projetada em edificações. Os autores concluíram que o sistema de argamassa projetada possui menor índice de emissões de CO₂.

Lima, Lovón, Alvarado e Rangel (2018) utilizaram a ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida, na fase pós-operacional de habitações, com o objetivo de quantificar os impactos ambientais relacionados a geração de resíduos pela construção civil. A partir da pesquisa concluiu-se que os maiores impactos estão relacionados aos combustíveis fósseis, à emissão de gases nocivos ao ser humano e à relação com as mudanças climáticas ocasionadas pelo consumo de combustíveis utilizados no transporte dos resíduos de demolição.

A partir da análise dos estudos selecionados no desenvolvimento deste artigo, referente aos impactos considerados para a ACV, foi possível observar a predominância de pesquisas com o foco em Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE) e Avaliação do Ciclo de Vida de Emissões de CO₂ (ACV CO₂) e outros gases de efeito estufa.

A definição dos impactos levados em consideração nas pesquisas está relacionada à importância dos mesmos na degradação do meio ambiente. De acordo com relatórios da ONU, o gás carbônico (CO₂) - produto da queima de combustíveis fósseis e relacionado a geração de energia - é considerado um dos gases de emissões de efeito estufa mais abundante (ONU BR, 2019).

Por se tratar de um conceito novo e emergente no Brasil, a aplicação da ACV completa torna-se um estudo complexo e exige maiores investimentos. Porém, no setor da construção civil, de acordo com Caldas (2016), estudos simplificados como a ACVE e a ACVCO₂ possuem grande importância para o desenvolvimento de pesquisas utilizando a Avaliação do Ciclo de Vida em habitações no Brasil. Dessa forma, a escolha por estudos simplificados é justificada devido à carência da base de dados nacional em trabalhos relacionados a esta temática.

Conforme apresentado no Quadro 1, uma parte das pesquisas encontradas faz uso de softwares para auxiliar nas análises e para obter uma base de dados para a quantificação dos impactos. As pesquisas que não utilizaram softwares executaram suas análises de forma manual ou com o auxílio de planilhas eletrônicas para as quantificações e cálculos dos impactos. Porém, ao analisar as pesquisas, foi possível observar que, em determinado momento, todas elas tiveram a necessidade de utilizar bases de dados encontradas na literatura ou em bancos de dados.

As pesquisas seguiram a estrutura de Avaliação do Ciclo de Vida definida pela NBR ISO 14040 (2009). Sendo elas: Estrutura da avaliação do ciclo de vida; Definição de objetivo e escopo; Análise de inventário e Avaliação de impacto. De acordo com a NBR ISO 14040 (2009), o escopo deve estar bem definido pois este assegura até onde será aplicada a ferramenta, garantindo que o grau de detalhes do estudo seja suficiente para atender os resultados esperados.

A partir da análise das pesquisas incluídas neste artigo pode-se perceber a importância da ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida para a mensuração dos impactos ambientais gerados nos processos construtivos, no uso e no pós-uso de habitações. Grande parte das pesquisas aplicou a ferramenta de forma simplificada, porém, essa se mostrou eficiente e com perspectiva positiva para a avaliação de impactos ambientais na construção civil. Tais estudos permitem identificar em qual fase do ciclo de vida de determinado produto são gerados maiores impactos ambientais, dessa forma, é possível propor soluções e estratégias que possibilitem a minimização dos mesmos.

Outra característica comum nos trabalhos analisados foi a necessidade em buscar bases de dados internacionais para a obtenção dos resultados. Esse tópico, mostrou ser a maior fragilidade encontrada nas pesquisas incluídas no artigo pois esses dados muitas vezes estão distantes da realidade brasileira o que pode alterar os resultados da aplicação da ferramenta. Porém, com o aumento dos estudos sobre o tema, acredita-se que essa realidade tende a mudar.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Avaliação do Ciclo de Vida aplicada na construção civil identifica quais os principais fatores que geram impactos ambientais, sendo capaz de contribuir com soluções para diminuir os impactos negativos gerados pela construção civil ao meio ambiente. No entanto, ainda existem alguns desafios a serem enfrentados para sua aplicação no contexto brasileiro.

Apesar de apresentar um crescimento nos últimos anos, o número de pesquisas científicas utilizando o conceito de Avaliação do Ciclo de Vida nas áreas de conhecimento em Arquitetura e Construção Civil ainda é consideravelmente pequeno. A partir da revisão de literatura desenvolvida neste trabalho foi possível observar que as pesquisas ainda são concentradas por alguns autores pioneiros e que os estudos, em sua maioria, aplicam a ferramenta de modo simplificado. Constatou-se também a necessidade do uso de bases de dados internacionais pelos autores, devido à carência de bases de dados nacionais.

No entanto, com a crescente preocupação com os impactos gerados pelas atividades humanas ao meio ambiente, e com a implementação de programas para promover e impulsionar o desenvolvimento da ferramenta de ACV, através de parcerias com o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), é possível inferir que a Avaliação do Ciclo de Vida possui perspectiva amplamente positiva no país.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, H. R.; LIRA, J.; SPOSTO, R. M. **Emissões de CO₂ de sistemas de revestimento de argamassa: estudo de caso de aplicação de argamassa projetada comparativamente à aplicação convencional.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 377-393, out./dez. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.
- ARAUJO, L.G; LIRA, J.S.M; SPOSTO, R.M. Forros de gesso e PVC comparativamente ao forro de madeira: Avaliação do Ciclo de Vida de Emissões de CO₂. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil.** Goiânia, v.14, n.2, p. 1-17, 2018.
- BRAGA, N. K. M. **Potencial de aquecimento global de paredes de concreto a partir da avaliação do ciclo de vida.** 2018. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.
- CALDAS, L. R. **Avaliação Do Ciclo de Vida Energético e de Emissões de CO₂ de Uma Edificação Habitacional Unifamiliar de Light Steel Framing.** 2016. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- CALDAS, L. R; SPOSTO, R. M; LOPES, A.M.S; TAVARES, W.C. Avaliação do ciclo de vida energético (ACVE) e do desempenho térmico de uma habitação de light steel framing com o uso de diferentes tipos de isolantes térmicos. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil.** Goiânia, v.11, n.2, p. 1-14, 2016.
- CALDAS, L.R; SPOSTO, R.M; PIRES, A.C; PAULSEN J.S. Sustentabilidade na construção civil: Avaliação do Ciclo de Vida Energético e de Emissões de CO₂ de fachadas para habitações sociais. **Sustentabilidade em Debate.** Brasília, v.7, n.2, p. 238-256, 2016.
- CALDAS, L. R.; LIRA, J. S. de M. M.; MELO, P. C. de; SPOSTO, R. M. **Inventário de emissões de carbono no ciclo de vida de habitações de alvenaria e light steel framing em Brasília: propostas de diretrizes de projeto para habitações de interesse social de baixo carbono.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 71-85, jul./set. 2017.
- CALDEIRA, D. M. **Avaliação do ciclo de vida Energético na fase de pré-uso de telhas termoacústicas com poliestireno expandido para edificação habitacional no DF.** 2016. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, 2016.
- CHAU, C. K.; LEUNG, T. M.; NG, W. Y. A review on life cycle assessment, life cycle energy assessment and life cycle carbon emissions assessment on buildings. **Applied Energy,** v. 143, n. 1, p. 395–413, 2015.
- CHEHEBE, J. R. Análise do Ciclo de Vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., CNI, 1997. 120 p.

GARCIA, E. E. C. et al. – “Análise de ciclo de vida de embalagens para o mercado brasileiro”. Relatório Final Confidencial do Projeto FAPESP, 1999.

IBICT. INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Histórico da ACV**. Brasília, 2012.

LIMA, F. M; LOVÓN, G.A; ALVARADO, L. M. T. Avaliação do ciclo de vida do pós-uso da construção civil: Um estudo de caso da demolição no Rio de Janeiro. *In: Anais do VI Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida (GCV 2018)*.

MARQUES, V. M; GOMES, L.P; KEM, A.P. Avaliação ambiental do Ciclo de Vida de telhas de fibrocimento com fibras de amianto ou com fibras de polipropileno. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v.16, n.1, p.187-201, 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Construção Sustentável. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel.html>. Acesso em: 15/07/2019

MORAGA, G. L. **Avaliação do ciclo de vida e simulação termo energética em unidade habitacional unifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

OLIVEIRA, F.R.M; SILVA, M.G; GOMES, V. Exploring life cycle-based sustainability indicators for building structural frames in concrete. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**. São Paulo, v.6, n.5, p.833-843, 2013.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL (ONU BR). 2019. Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/agencia-ambiental-da-onu-da-exemplo-em-neutralizar-emissoes-de-carbono/amp/>. Acesso em: 18/07/2019.

PEDROSO, G. M. **Avaliação de ciclo de vida energético (ACVE) de sistemas de vedação de habitações**. Tese – Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

SOMBRIO, C. M. O. **ACV de Painéis de Blocos Cerâmicos e Concreto Armado: Um Exercício de Aplicação Do Manual Do ILCD. ACV de Painéis de Blocos Cerâmicos e Concreto Armado: Um Exercício de Aplicação Do Manual Do ILCD**. Dissertação. Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

SEO, E.S.M; KULAY, L. A. Avaliação do ciclo de vida: Ferramenta gerencial para tomada de decisão. *InterfaceHS. Revista de gestão integrada em saúde do trabalho e meio ambiente*, 2006.

SIMAPRO. Disponível em <[http:// https://simapro.com/](http://https://simapro.com/)>. Acesso em 30 de julho de 2019.

SOUZA, D. M; BRAGA, T; FIGUEIRÊDO, M.C; FOLEGATTI, M.M; TEIXEIRA, D.F.R; UGAYA, C.M.L. Life cycle thinking in Brazil: challenges and advances towards a more comprehensive practice. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. v. 22, p. 462-465, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/journal/11367>. Acesso em: 10/07/2019.

SPOSTO, R. M; PAULSEN, J. S. Energia Incorporada em Habitações de Interesse Social na fase de pré-uso: O caso do programa minha casa minha vida no Brasil. **Oculum Ensaios**. Revista de Arquitetura e Urbanismo, Campinas, v.11, n.2, p. 39-50, 2014.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residências brasileiras**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

VASCONCELOS, L. M. Manual do Sistema ILCD. Guia Geral para Avaliações do Ciclo de Vida Orientações Detalhadas. Brasília – DF, 2014.