

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

A AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV) COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE DO DESEMPENHO AMBIENTAL DE EDIFICAÇÕES¹

EVANGELISTA, Patricia (1); TORRES, Ednildo (2); GONÇALVES, Jardel (3)

(1) UFBA, e-mail: patriciae@fieb.org.br; (2) UFBA, e-mail: ednildo@ufba.br; (3) UFBA, e-mail: jardelpg@ufba.br

RESUMO

No ciclo de vida dos edifícios, vários recursos naturais são consumidos, assim como diversos poluentes são lançados ao meio ambiente trazendo danos regionais e globais. Para identificação destes impactos potenciais e no sentido de melhorar o desempenho ambiental das edificações, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) se apresenta como ferramenta estratégica. Este artigo tem por objetivo identificar estudos de ACV em edificações, sinalizando suas características, principais resultados e barreiras para o desenvolvimento de pesquisas desta natureza. Assim, este trabalho resume e organiza 33 estudos de ACV aplicada em edificações, a partir de levantamento em bancos de dados técnicos /científicos e em periódicos qualificados. Os resultados mostram que os primeiros estudos aconteceram no final da década de 90, abrangem edifícios residenciais, comerciais e de serviços e com abordagens ligadas ao consumo energético e emissões de CO₂. A maioria dos estudos se concentra na Europa e identifica o uso e operação como etapa mais crítica, superando 80% dos impactos totais gerados durante o ciclo de vida dos empreendimentos. Finalmente, verifica-se que a falta de inventários nacionais, de especialistas, de políticas públicas, adesão de fornecedores, complexidade e incompatibilidade com programas e certificações são algumas barreiras para a expansão desta ferramenta na construção civil.

Palavras-chave: Avaliação do ciclo de vida. Edificações. Desempenho ambiental.

ABSTRACT

In the life cycle of buildings, various natural resources are consumed, as well as many pollutants are released to the environment bringing regional and global damage. To identify these potential impacts and to improve the environmental performance of buildings, the Life Cycle Assessment (LCA) is presented as a strategic tool. This article aims to identify LCA studies in buildings, signaling its characteristics, main results and barriers to the development of research of this nature. This paper summarizes and organizes 33 LCA studies applied to buildings, from lifting in technical/scientific databases and qualified journals. The results show that the first studies took place in the late 90's cover residential, commercial and services and approaches related to energy consumption and CO₂ emissions. Most studies focus on Europe and identifies the use and operation as more critical step, exceeding 80% of the total impacts during the life cycle of buildings. Finally, it appears that the lack of national inventories, of experts, public policy, support suppliers, complexity and incompatibility with computer programs and certifications are some barriers to the expansion of this tool in construction.

Keywords: Life Cycle Assessment. Buildings. Environmental Performance.

¹ EVANGELISTA, Patricia; TORRES, Ednildo; GONÇALVES, Jardel. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como ferramenta de análise do desempenho ambiental de edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

A importância da preservação ambiental e da identificação dos impactos potenciais associados aos produtos, da fabricação ao seu uso e disposição final, tem demandado a proposição de métodos para melhor compreensão e tratamento destes impactos. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma das técnicas desenvolvidas com esse objetivo, inclusive podendo subsidiar a seleção de indicadores de desempenho ambiental e suas técnicas de medição (ABNT, 2009).

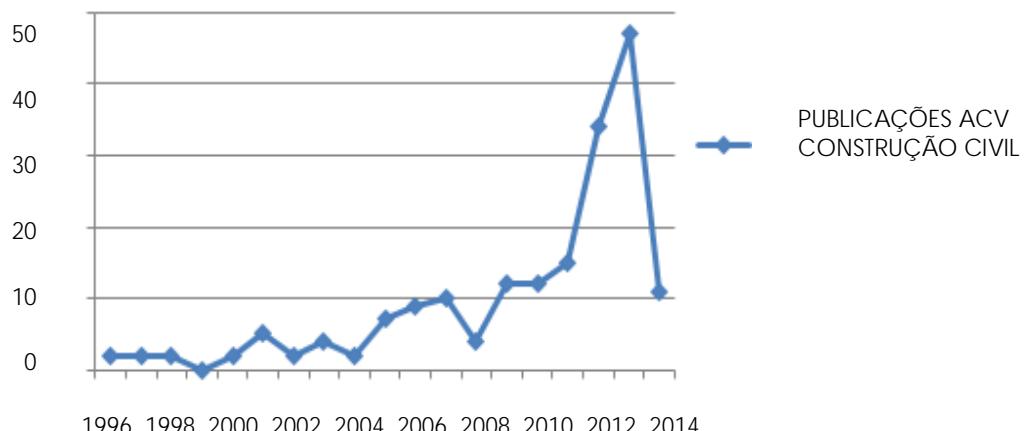
Apesar da ACV ainda não ser uma ferramenta aplicada em grande escala no setor da construção, algumas iniciativas mundiais podem ser pontuadas, notadamente no processo comparativo de materiais e sistemas e com foco predominante na análise energética. Mais pontuais ainda são os estudos de ACV que contemplam a edificação como um todo e outras categorias ambientais ligadas às mudanças climáticas, depleção de recursos abióticos, ecotoxicidade e toxicidade humana. No Brasil, não foram identificados estudos desta natureza e nesta abrangência.

Dante do exposto, a principal motivação deste trabalho é identificar estudos de aplicação da ACV em edificações como ferramenta de avaliação de desempenho ambiental e sinalizar suas características, principais resultados e barreiras para o desenvolvimento de pesquisas desta natureza.

2 METODOLOGIA

O presente artigo está baseado em estudo bibliométrico como forma de mapear trabalhos publicados na temática de ACV aplicada em edificações. Foram realizadas buscas na plataforma Science Direct (<http://www.sciencedirect.com/>) e Scopus (www.scopus.com) pela abrangência internacional e por reunirem trabalhos de maior fator de impacto. Inicialmente a busca foi realizada pelas palavras-chave “avaliação do ciclo de vida na construção civil” e identificados 182 artigos distribuídos cronologicamente (Figura 1).

Figura 1 – Publicações de ACV na construção civil



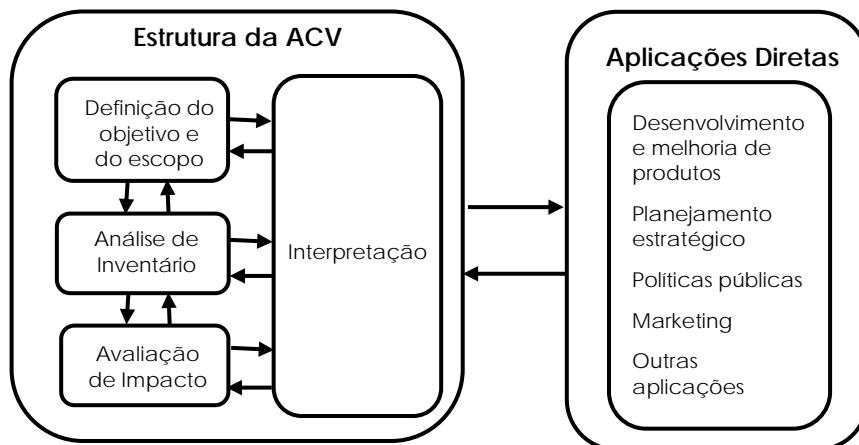
Fonte: Os autores

Na sequência foi realizado filtro por meio do termo “edificações”. Desta amostra, os resumos foram lidos e selecionados trabalhos completos, na língua portuguesa ou inglesa e disponíveis para download. Foram excluídos trabalhos de ACV de outros setores, de materiais de construção e sistemas construtivos. Não houve limitação do ano de realização da pesquisa, nem de característica da edificação (residencial, comercial e de serviço), sendo identificadas pesquisas dentro da natureza pretendida a partir de 1996. Após a coleta dos artigos, foi realizada uma seleção dos mais completos e aderentes a proposta deste trabalho. Na sequência, os 33 artigos selecionados foram organizados de forma cronológica e sintetizadas as seguintes informações: local de realização do estudo, tipo de edificação selecionada, vida útil considerada, fronteira do estudo e principais resultados.

3 ACV APLICADA A EDIFICAÇÕES

A ACV tem como objetivo identificar e quantificar impactos ambientais, além de promover a geração de parâmetros que permitam a comparação entre bens e serviços similares. A ACV é definida pela NBR ISO 14040 (ABNT, 2009) como “a compilação e avaliação das entradas e saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida” e é composta por 4 fases (Figura 2).

Figura 2 – Estrutura e Aplicações de uma ACV



Fonte: ABNT (2009)

Na ACV, os edifícios demandam atenção especial por terem uma vida relativamente longa, sofrerem alterações ao longo da vida útil, algumas vezes têm múltiplas funções, incorporam muitos componentes, são produzidos localmente e integrados à infraestrutura. Isto significa que fazer uma ACV completa de um edifício não é um processo simples como para outros produtos de consumo (BRIBIÁN; USÓN; SCARPELLINI, 2009).

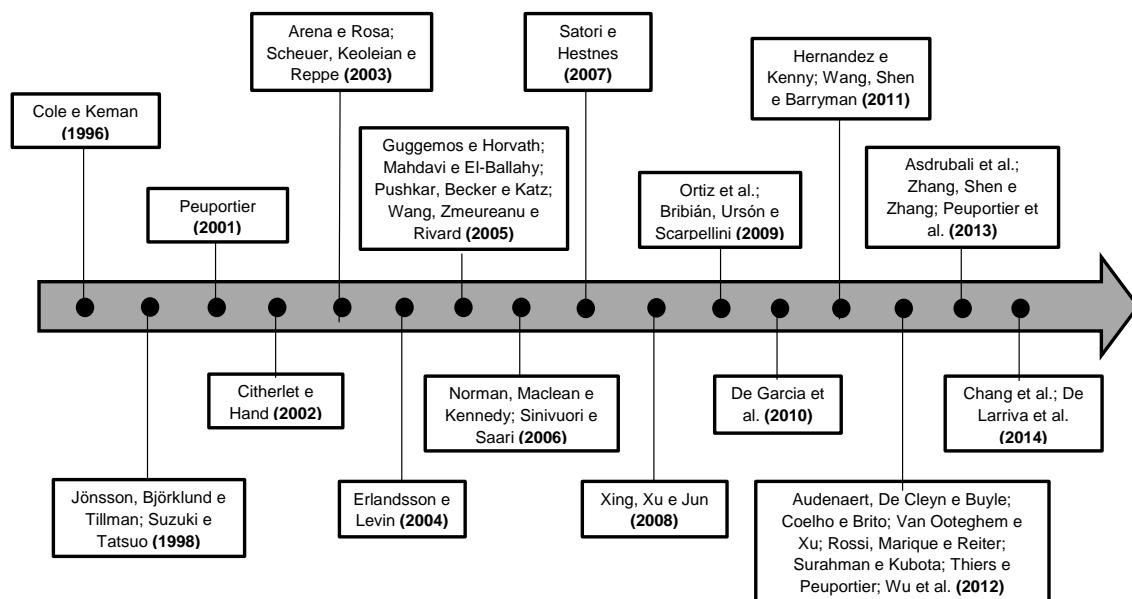
Qualquer edificação em estudo deve ser descrita o mais detalhadamente possível, a partir de fontes primárias (projetos e memoriais). São também necessários dados da construção, tais como: quantitativos dos materiais,

consumo energético, dados de emissões dos materiais e de energia que, em geral, estão incluídos nos bancos de dados das ferramentas da ACV (MALMQVIST et al., 2011).

Segundo Malmqvist et al. (2011), o tempo de vida assumido do edifício, em geral, é utilizado como valor padrão 50 anos, pela dificuldade em prever o tempo de vida real dos empreendimentos. Vários outros pesquisadores, adotaram 50 anos, uma vez que este valor está especificado no BS EN 1990:2002² para estruturas de edifícios e outras estruturas comuns.

Como resultado do levantamento bibliográfico de aplicação da ACV em edificações, foram levantados 33 estudos no período de 1996 a 2014. Para melhor visualização do desenvolvimento destes estudos, foi construída uma linha do tempo (Figura 3) que situa cronologicamente os autores selecionados.

Figura 3 – Linha do tempo dos estudos selecionados de ACV em edificações



Fonte: Os autores

Os primeiros estudos de ACV em edificações aconteceram no final da década de 90 e com foco na identificação da demanda energética. Com o passar dos anos a pesquisa avançou para outros países, notadamente da Europa, com ampliação das discussões fomentada pelo processo de normalização e passou a contemplar tipologias diferentes, metodologias para inventário e avaliação de outras categorias de impacto ambiental.

Zhang, Shen e Zhang (2013) concluíram que o principal impacto ambiental causado pelos edifícios é o aquecimento global, conhecido com Global Warming Potential (GWP) e que reflete as emissões de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq), seguido pela depleção de energia fóssil, de água e acidificação. Segundo Ortiz, Castells e Sonnemann (2009), o Green Building

² Basis of Design Estrutural. Eurocódigo que descreve os princípios e normas de segurança, facilidade de manutenção e durabilidade.

Challenge Estocolmo declarou que o GWP, uso da terra, acidificação, eutrofização, depleção da camada de ozônio, dos recursos abióticos e a toxicidade humana são os impactos mais identificados no setor da construção.

As 33 pesquisas selecionadas foram consolidadas no Quadro 1, onde foram registradas as suas principais características e resultados.

Quadro 1 – Estudos de ACV em edificações

AUTORES	LOCAL	TIPO DA EDIFICAÇÃO	VIDA ÚTIL	FRONTEIRA	RESULTADOS
Cole e Kernan	Canadá	Edifício de escritórios	25, 50 e 100 anos	Ciclo de vida completo	A fase de uso/operação representou o maior consumo de energia no ciclo de vida.
Jönsson, Björklund e Tillman	Suécia	7 estruturas de aço e concreto	50 anos	Ciclo de vida completo	A energia durante o uso foi a maior durante o ciclo de vida e as estruturas de aço apresentaram maior impacto que as de concreto.
Suzuki e Oka	Japão	10 Edifícios de escritórios	40 anos	Ciclo de vida completo	Foram definidos os impactos ambientais por etapa do ciclo de vida e por porte de edifício.
Peuportier	França	3 residências	80 anos	Ciclo de vida completo	A casa com aquecimento solar apresentou maiores impactos ambientais e os menores foram para a casa com madeira.
Citherlet e Hand	Suiça	Edifício de escritórios	80 anos	Ciclo de vida completo	Modelo para performance acústica, de conforto, iluminação, energética e ambiental.
Arena e Rosa	Argentina	Edifício escolar	50 anos	Extração de materiais, construção e uso.	Estudo de caso que identifica tecnologias de aquecimento solar que melhoraram o desempenho ambiental.
Scheuer, Keoleian e Reppe	Estados Unidos	Edifício de 6 andares	75 anos	Ciclo de vida completo	O consumo de energia primária foi distribuído: 2,2% (etapa de produção de materiais e construção), 94,3% (uso), 3,3% (consumo de água) e 0,2% (destinação final).
Erlandsson e Levin	Suécia	Edifício com 24 apartamentos	35 anos	Reconstrução	A reconstrução apresenta menor impacto ambiental potencial do que a construção de um novo edifício.
Guggemos e Horvath	Estados Unidos	Dois edifícios de escritórios	50 anos	Ciclo de vida completo	A etapa de uso foi mais impactante. O uso do concreto é significativo em demanda energética.
Mahdavi e El-Bellahy	Áustria	Edifícios escolares com áreas diferentes	Não aplicável	Materiais e construção - Do berço ao portão	Desenvolveram uma combinação de ferramentas para considerações de design/projeto.
Pushkar, Becker e Katz	Israel	Módulos construídos (12 m ²)	50 anos	Ciclo de vida completo	A etapa do ciclo de vida mais impactante depende do tipo de energia consumida durante o estágio de uso.

Wang, Zmeureanu e Rivard	Canadá	Edifício comercial	40 anos	Fabricação de materiais, construção e operação	Desenvolvimento de um modelo de otimização para apoiar designers no projeto de construção verde.
Norman, Maclean e Kennedy	Canadá	Dois edifícios (alta e baixa densidade populacional)	50 anos	Fabricação de materiais, uso e operação	As residências de baixa densidade populacional são mais impactantes em até 2,5 vezes.
AUTORES	LOCAL	TIPO DA EDIFICAÇÃO	VIDA ÚTIL	FRONTEIRA	RESULTADOS
Sinivuori e Saari	Finlândia	Edifícios universitários	100 anos	Ciclo de vida completo	Análise de sensibilidade com diversos fatores indicando melhorias no desempenho ambiental.
Sartori e Hestnes	Noruega	Diversos tipos de edifícios	de 50 a 80 anos	Ciclo de vida completo	A fase operacional demanda mais energia. Os edifícios foram classificados pelo consumo de energia.
Xing, Xu e Jun	China	Dois edifícios de escritórios	50 anos	Produção de materiais, uso e fim de vida	Definidos os impactos por etapa do ciclo de vida e tipo de edifício. A estrutura de concreto apresentou melhor desempenho que a de aço.
Ortiz et al.	Espanha	Casa típica do mediterrâneo	50 anos	Ciclo de vida completo	Os maiores impactos estão relacionados a etapa de operação e manutenção pelo alto consumo de energia.
Bribián, Usón e Scarpellini	Espanha	Casa com garagem	50 anos	Extração e transporte de materiais e energia da fase de uso	Sugere a utilização de energias renováveis, equipamentos com alta eficiência energética, além da concepção ecológica e bioclimática.
Gracia et al.	Espanha	Edificação experimental (cenários de proteção térmica)	50, 75 e 100 anos	Ciclo de vida completo	Na análise de conforto térmico os maiores impactos foram para o isolamento a base de poliuretano e parafina.
Hernandez e Kenny	Irlanda	Casa germinada	50 anos	Uso e operação	Metodologia que identifica e classifica o estágio energético durante o uso das edificações.
Wang, Shen e Barryman	Estados Unidos	Edifício universitário de três andares	50 anos	Extração e produção de materiais, construção e operação	A energia na fase operacional é a maior em todo o ciclo de vida e a da fase de construção tem menor impacto. O aço tem grande impacto energético.
Wu et al.	China	Edifício de escritórios com 13 andares	50 anos	Ciclo de vida completo	A fase de uso e operação é a principal consumidora de energia e emissora de CO ₂ . Aço e concreto são materiais mais impactantes e os cenários de fim de vida podem melhorar o desempenho ambiental.

Audenaert, De Cleyn e Buyle	Bélgica	Edifício com 19 apartamentos	50-100 anos	Ciclo de vida completo	A escolha de materiais isolantes tem reflexos ambientais significativos. A etapa de produção de materiais foi considerada impactante.
Coelho e Brito	Portugal	Aplicável a qualquer tipo de edificação	30 anos	Fim de vida	A reciclagem gerou redução de 77% nos impactos de mudança climática, 57% na acidificação e 81% para smog de verão.
AUTORES	LOCAL	TIPO DA EDIFICAÇÃO	VIDA ÚTIL	FRONTEIRA	RESULTADOS
Rossi, Marique e Reiter	Bélgica, Portugal e Suécia	Duas casas residenciais (estrutura de alvenaria e outra de aço)	10-60 anos	Ciclo de vida completo	Aumentando a camada de isolamento térmico, menor é a energia necessária para o aquecimento. A reciclagem do aço reduz os impactos com estas estruturas.
Surahman e Kubota	Indonésia	Edifícios residenciais de portes simples, mediano e luxuoso	20, 35 e 50 anos	Produção de matérias primas, operação e manutenção	A energia associada a construção das casas luxuosas é aproximadamente 10 vezes maior que a das casas simples, o cimento foi identificado como material mais impactante e identificado grande gasto energético na cocção.
Thiers e Peuportier	França	Edifício residencial multifamiliar e casa germinada	80 anos	Ciclo de vida completo	Alternativas para melhor dimensionamento dos sistemas de aquecimento. Seleção de materiais/sistemas depende dos aspectos locais e estratégicos.
Van Ooteghem e Xu	Canadá	5 edifícios de um andar (estruturas variadas)	50 anos	Ciclo de vida completo	A cobertura foi um dos componentes com maior consumo de energia, principalmente em função do uso do aço.
Zhang, Shen e Zhang	Japão	Edifício comercial de 30 andares	50 anos	Ciclo de vida completo	Estimativa das emissões atmosféricas por etapa do ciclo de vida. A etapa de operação e manutenção foi identificada como a mais crítica.
Asdrubali et al.	Itália	Casa residencial, edifício multi- familiar e de escritórios	50 anos	Ciclo de vida completo	A fase de operação possui maior carga ambiental 77-85% e a fase de construção 14-21% dos impactos totais, variando em função do tipo de edifício.
Peuportier, Thiers e Guivarch	França	Duas residências	50 e 100 anos	Ciclo de vida completo	O desempenho ambiental varia de acordo com os ocupantes, praticamente dobrando para o alto padrão de consumo.
Chang et al.	China	Treze edifícios características diferentes	Não aplicável	Produção de materiais e construção - Do berço ao portão	Edifícios públicos e urbanos são mais impactantes que edifícios rurais, em função dos materiais utilizados.
Larriva et al.	Espanha	Edifício de 3 andares	50 anos	Ciclo de vida completo	Análise do perfil das edificações com diminuição de até 9% do consumo de energia e 4% da geração de potencial de aquecimento global.

Fonte: Os autores

2.1 Barreiras para aplicação da ACV em edificações

Apesar de considerada uma ferramenta estratégica, a ACV encontra diversas barreiras de aplicação no setor da construção civil e mais especificamente em edificações, como observado nos estudos selecionados.

Dentre as limitações identificadas é possível citar a falta de bancos de dados em muitos países, limitando a realização dos inventários locais, pois a maioria dos bancos disponíveis trazem informações de processos produtivos internacionais e podem causar distorções quando aplicados por outros países, promovendo questionamento de seus resultados. Aliado a este fator os estudos de ACV em edifícios têm demonstrado grande variabilidade nos resultados, muitas vezes decorrentes da falta de homogeneidade metodológica (OCHSENDORF et al., 2011).

A escassez de especialistas, falta de incentivos fiscais e políticas públicas, além da baixa adesão de fornecedores de materiais e sistemas que têm restrições em divulgar informações de seus produtos, são outras dificuldades no processo de disseminação da ACV na construção civil.

Outras limitações podem ser citadas para aplicação da ACV em edificações (Malmqvist et al., 2011; Bribián; Usón; Scarpellini, 2009):

- Complexidade da ferramenta;
- desconhecimento dos profissionais ligados ao setor quanto a devida interpretação dos estudos e aplicação dos resultados;
- ausência ou escassez de parâmetros ambientais ligados a produção de materiais de construção ou sistemas construtivos;
- existência de diversas ferramentas e métodos de avaliação que geram resultados diferentes para um mesmo estudo;
- softwares de simulação de ACV não tem interface com os programas computacionais usados no setor da construção.

4 CONCLUSÕES

A ACV se apresenta como ferramenta estratégica e instrumento reconhecido mundialmente na avaliação do desempenho ambiental de empreendimentos de diversas naturezas, permitindo identificar oportunidades de melhoria do perfil ambiental de edifícios nas diversas fases do ciclo de vida.

Dos estudos levantados neste artigo, percebe-se que as pesquisas abrangem edifícios residenciais, comerciais e de serviços e que as abordagens estão prioritariamente ligadas ao conforto e consumo energético, identificação das fases mais críticas na geração de impactos e comparação de sistemas estruturais/construtivos, em sua maioria, com o propósito de gerar estratégias de melhoria de desempenho ambiental.

Nota-se que a grande maioria contempla o ciclo de vida completo, sendo que alguns estudos fazem recortes em etapas específicas. De uma forma geral, a etapa de uso e operação se revela como a mais impactante, notadamente pelo consumo energético.

A maior parte dos estudos se concentra na Europa com aplicação de metodologias e inventários locais e priorizando basicamente o consumo energético e emissão de gases de efeito estufa. Não foram identificados na América Latina avanços significativos nos estudos de ACV em edificações, nem movimentos de alinhamento metodológico, geração de padrões e de disseminação da ferramenta.

Os dados levantados também sinalizam que a falta de padrão metodológico, de inventários nacionais; escassez de profissionais especializados; baixa adesão de fornecedores, complexidade da ferramenta e falta de interface com os programas computacionais e sistemas de certificação utilizados na construção civil, constituem barreiras para o fortalecimento e consolidação da ACV como ferramenta de avaliação de desempenho ambiental de edificações.

REFERÊNCIAS

ARENA, A.P.; ROSA, C. Life cycle assessment of energy and environmental implications of the implementation of conservation technologies in school buildings in Mendoza—Argentina. **Building and Environment**, v. 38, p. 359-368, 2003.

ASDRUBALI, F. et al. Life cycle analysis in the construction sector: Guiding the optimization of conventional Italian buildings. **Energy and Buildings**, v. 64, p. 73–89, 2013.

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

AUDENAERT, A.; DE CLEYN, S. H.; BUYLE, M. LCA of low-energy flats using the Eco-indicator 99 method: Impact of insulation materials. **Energy and Buildings**, v. 47, p. 68–73, 2012.

BRIBIÁN, I. Z.; USÓN, A. A.; SCARPELLINI, S. Life cycle assessment in buildings: state-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. **Building and Environment**, v. 44, n. 12, p. 2510-2520, 2009.

CHANG, Y. et al. Disaggregated I-O LCA model for building product chain energy quantification: a case from China. **Energy and Buildings**, v. 72, p. 212–221, 2014.

CITHERLET, S.; HAND, J. Assessing energy, lighting, room acoustics, occupant comfort and environmental impacts performance of building with a single simulation program. **Building and Environment**, v. 37, p. 845 – 856, 2002.

COELHO, A.; BRITO, J. Influence of construction and demolition waste management on the environmental impact of buildings. **Waste Management**, v. 32, p. 532–541, 2012.

COLE, R. J.; KERNAN, P. C. Life-cycle energy use in office buildings. **Building and Environment**, v. 31, n. 4, p. 307-317, 1996.

DE GRACIA, A. et al. Life Cycle Assessment of the inclusion of phase change materials (PCM) in experimental buildings. **Energy and Buildings**, v. 42, p. 1517–1523, 2010.

DE LARRIVA, R. A. et al. A decision-making LCA for energy refurbishment of buildings: Conditions of comfort. **Energy and Buildings**, v. 70, p. 333–342, 2014.

ERLANDSSON, M.; LEVIN, P. Environmental assessment of rebuilding and possible performance improvements effect on a national scale. **Building and Environment**, v. 39, p. 1453–1465, 2004.

GUGGEMOS, A.; HORVATH, A. Comparison of Environmental Effects of Steel- and Concrete-Framed Buildings. **Journal of infrastructure systems**, v. 11, p. 93-101, 2005.

HERNANDEZ, P.; KENNY, P. Development of a methodology for life cycle building energy ratings. **Energy Policy**, v. 39, p. 3779–3788, 2011.

JÖNSSON, A.; BJÖRKLUND, T.; TILLMAN, A. LCA of concrete and steel building frames. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 3, n. 4, p. 216-224, 1998.

MAHDAVI, A.; EL-BELLAHY, S. Effort and effectiveness considerations in computational design evaluation: a case study. **Building and Environment**, v. 40, p. 1651–1664, 2005.

MALMQVIST T. et al. Life cycle assessment in buildings: The ENSLIC simplified method and guidelines. **Energy**. v. 36, p. 1900 – 1907, 2011.

NORMAN, J.; MACLEAN, H. L.; KENNEDY, C. A. Comparing high and low residential density: life-cycle analysis of energy use and greenhouse gas emissions. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 132, p. 10-21, 2006.

OCHSENDORF, J. et al. **Methods, Impacts, and Opportunities in the Concrete Building Life Cycle**. Department of Civil and Environmental Engineering. Concrete Sustainability Hub and Massachusetts Institute of Technology. Research Report R11-01. Cambridge, 2011.

ORTIZ, O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. **Construction and Building Materials**. v 23, p. 28 – 39, 2009.

ORTIZ, O. et al. Sustainability based on LCM of residential dwellings: a case study in Catalonia, Spain. **Building and Environment**, v. 44, p. 584– 594, 2009.

PEUPORTIER, B. L. P. Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the French context. **Energy and Buildings**, Paris, n. 33, p. 443-450, 2001.

PEUPORTIER, B.; THIERS, S.; GUIAVARCH, A. Eco-design of buildings using thermal simulation and life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, n. 39, p. 73-78, 2013.

PUSHKAR, S.; BECKER, R.; KATZ, A. A methodology for design of environmentally optimal buildings by variable grouping. **Building and Environment**, v.40, p. 1126–1139, 2005.

ROSSI, B.; MARIQUE, A.; REITER, S. Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, case study. **Building and Environment**, v. 51, p. 402-407, 2012.

SARTORI, I.; HESTNES, A.G. Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: a review article. **Energy and Buildings**, v. 39, p. 249 –257, 2007.

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

SINIVUORI, P.; SAARI, A. MIPS analysis of natural resource consumption in two university buildings. **Building and Environment**, v. 41, p. 657–668, 2006.

SURAHMAN, U.; KUBOTA, T. Life Cycle Energy and CO₂ Emissions in Unplanned Residential Buildings of Indonesia: A case study in Bandung. In: **28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture**, Peru, 2012.

SUZUKI, M.; OKA, T.. Estimation of life cycle energy consumption and CO₂ emission of office buildings in Japan. **Energy and buildings**, v. 28, p. 33-41, 1998.

THIERS, S.; PEUPORTIER, B. Energy and environmental assessment of two high energy performance residential buildings. **Building and Environment**, v. 51, p. 276-284, 2012.

VAN OOTEGHEM, K.; XU, L. The life-cycle assessment of a single-storey retail building in Canada. **Building and Environment**, v. 49, p. 212-226, 2012.

WANG, E.; SHEN, Z.; BARRYMAN, C. A Building LCA Case Study Using Autodesk Ecotect and BIM Model. In: **47th ASC Annual International Conference Proceedings**, 2011.

WANG, W.; ZMEUREANU, R.; RIVARD, H. Applying multi-objective genetic algorithms in green building design optimization. **Building and Environment**, v. 40, p. 1512–1525, 2005.

WU, H. J et al. . **International Journal Life Cycle Assessment**, v. 17, p. 105–118, 2012.

XING, S.; XU, Z.; JUN, G. Inventory analysis of LCA on steel and concrete construction office buildings. **Energy and Buildings**, v. 40, p. 1188–1193, 2008.

ZHANG, X.; SHEN, L.; ZHANG, L. Life cycle assessment of the air emissions during building construction process: A case study in Hong Kong. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 17, p. 160–169, 2013.