

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/311615737>

Estado da arte sobre Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) aplicada a Telhados Verdes

Conference Paper · November 2016

CITATION

1

READS

933

3 authors:



Júlia Lira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI)

19 PUBLICATIONS 41 CITATIONS

SEE PROFILE



Lucas Caldas

Federal University of Rio de Janeiro

117 PUBLICATIONS 677 CITATIONS

SEE PROFILE



R. M. Sposto

University of Brasília

56 PUBLICATIONS 331 CITATIONS

SEE PROFILE



Estado da arte sobre Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) aplicada a Telhados Verdes

Júlia Lira^{1, a}, Lucas Caldas^{2, b}, Rosa Sposto^{1, c}

¹Universidade de Brasília, Brasil

²Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

^ajuliasanttiago@gmail.com, ^blrc.ambiental@gmail.com, ^crmsposto@unb.br

Palavras-chave: Telhado Verde, Estado da arte, ACV.

Resumo. As edificações, sejam elas comerciais ou habitacionais, são responsáveis por uma parcela expressiva do consumo de energia e emissões de CO₂. Desta forma, medidas para o aumento da eficiência energética vêm sendo buscadas em novos projetos ou reabilitação de edificações já existentes e, assim, os telhados verdes têm sido uma das tecnologias difundidas principalmente no contexto internacional. Existem estudos que caracterizam o desempenho térmico superior deste sistema, especialmente pela redução do efeito de ilha de calor urbano. No entanto, há uma carência de uma avaliação mais aprofundada e detalhada dos reais benefícios ambientais de coberturas verdes ao longo de seu ciclo de vida. Neste sentido, uma ferramenta importante é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) relacionada a um determinado produto ou processo. O objetivo deste trabalho foi apresentar uma avaliação qualitativa e quantitativa, por meio de um estado da arte, de estudos de ACV relacionados a telhados verdes no âmbito nacional e internacional. A pesquisa foi realizada a partir do levantamento de artigos científicos publicados no Brasil e no mundo e os dados extraídos foram tabulados em planilhas eletrônicas. Foi realizada uma delimitação temporal, com artigos publicados entre 2006 e 2016, em periódicos nacionais e internacionais de relevância. Buscou-se nos artigos informações relacionadas: ao ano de publicação, ao país da pesquisa, à fase do ciclo de vida pesquisada, às categorias de impacto, aos tipos de telhados verdes utilizados, à vida útil do sistema de telhado verde adotado e aos softwares empregados. Observou-se que a maioria dos estudos apontaram benefícios ao longo do ciclo de vida das edificações com telhado verde em relação a coberturas convencionais, já que muitos trabalhos envolveram a comparação com outros sistemas de cobertura. Por fim comprovou-se a necessidade de padronizar as diferentes metodologias existentes e continuar o estudo de telhados verdes com base na ACV, principalmente no Brasil.

1. Introdução

O cenário de urbanização frequente nas cidades torna visível e iminente o aumento da tecnologia empregada em sistemas construtivos. Buscando uma maior racionalização e aumento de produtividade, o aspecto ambiental de processos construtivos por vezes é coadjuvante. Com a preocupação mundial em mitigar emissões favoráveis ao aquecimento global, ferramentas de análise de impacto ambiental estão sendo difundidas e construções com menor consumo energético estão se popularizando.

De acordo com Sainz et al. [1], os telhados verdes estão entre as várias tecnologias para o desenvolvimento de mais edifícios ambientalmente sustentáveis e para a criação de ambientes urbanos visualmente atraentes. Assim, são geralmente construídos para melhorar a eficiência energética de um edifício e com diversos benefícios, incluindo o aumento da retenção de água, contribuindo para reaproveitamento e drenagem das águas pluviais, a redução da ilha de calor urbana, a redução da concentração de CO₂, a absorção

acústica, o melhoramento estético das cidades, o aumento da biodiversidade e a redução da perda de habitat [2,3].

Apesar dessas vantagens, o real potencial em relação à sustentabilidade ambiental deve ser mensurado, já que os impactos dos materiais também são importantes por causa das emissões e do uso de matérias-primas durante a produção e eliminação de resíduos [4].

Como medida de mensuração do desempenho ambiental total de um edifício e a quantificação dos impactos, considerando uma larga faixa de categorias de danos, a ferramenta mais apropriada é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que segundo ABNT NBR ISO 14040 [5] é um método no qual o produto ou processo é avaliado em todo o seu ciclo de vida: extração de matérias-primas, etapa de produção, fase de utilização, manutenção e a eliminação de resíduos.

Um telhado verde difere de um telhado convencional por possuir um substrato (solo ou meio de cultura) com vegetação [6]. As pesquisas que apresentam este sistema de cobertura não seguem um padrão sobre os materiais constituintes das camadas que o compõem, pois há muito espaço para diferentes escolhas [7].

Existem dois tipos de telhado verde: os extensivos e os intensivos. Os telhados extensivos são mais leves e são ideais para vegetação de pequeno porte, pois possuem espessura entre 50 e 150 mm [2]. Segundo Céron-Palma et al. [8], requerem baixa manutenção e precisam de uma camada de retenção de água ou filtro. Os telhados intensivos são também conhecidos como jardins verticais por possuírem plantas de maior porte. Possuem espessura de substrato entre 150 e 1200 mm [2] para abrigar as extensas raízes e não podem ser executados em coberturas inclinadas. Existem conflitos na literatura sobre a partir de qual espessura já se configura um telhado verde intensivo, por exemplo, Cubi et al. [9] admite que apenas é intensivo um telhado com espessura de substrato a partir de 20 mm.

Um telhado verde possui comumente as seguintes camadas: suporte estrutural, membrana impermeável, barreira antirraiz, drenagem, filtro, substrato e vegetação. A análise ambiental é necessária porque ele é tratado como uma prática sustentável, mas é composto por materiais em que o processo de produção é altamente poluente [3].

O objetivo deste trabalho é fazer um estado da arte agrupando todos os artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais entre os anos de 2006 e 2016 que utilizaram a ferramenta de ACV para avaliar os impactos ambientais de telhados verdes. A análise será feita a partir de tabelas contendo as categorias de ACV avaliadas, o tipo de material utilizado nas camadas do telhado, a vida útil da edificação, unidade funcional e a utilização ou não de software. Dessa forma, o objetivo inclui o diagnóstico quantitativo do cenário de telhado verde estudado no Brasil e no mundo buscando observar um padrão tão necessário para o melhoramento dos estudos de ACV neste sistema [10].

O trabalho de Belussi e Barozzi [11] traz um objetivo e metodologia semelhantes aos utilizados nesta pesquisa. Os autores selecionaram trabalhos que contivessem diferentes medidas de mitigação, relacionados com o ambiente construído, de acordo com a abordagem do ciclo de vida e, assim, conseguiram determinar qual categoria de impacto, ferramenta de avaliação e abordagem de ciclo de vida estavam mais em pauta. Vê-se que a referência recente é um parâmetro consolidado para embasar esta pesquisa.

2. Metodologia

A pesquisa foi realizada a partir do levantamento de artigos científicos publicados no Brasil e no mundo e os dados extraídos foram tabulados em planilhas eletrônicas. Foi realizada uma delimitação temporal, com artigos publicados entre 2006 e 2016, em periódicos nacionais e internacionais de relevância.

Buscou-se nos artigos informações relacionadas aos autores, ao ano de publicação e ao país da pesquisa. Em relação ao telhado verde: ao tipo de membrana impermeável, barreira antirraiz, drenagem, filtro, substrato e vegetação utilizados, ao tipo (se intensivo ou extensivo).

Os dados foram agrupados em uma planilha eletrônica, parte dela apresentada na Tabela 1. Com esse preenchimento, foi possível organizar o tipo de material constituinte e o tipo de telhado verde mais utilizados nas pesquisas a fim de encontrar um padrão. A partir disso, pode-se conhecer o que se vem trabalhando na literatura para uma aplicação do sistema em pesquisas futuras e comparação com trabalhos já consagrados.

Tabela 1: Composição da planilha para descrição do telhado verde. Fonte: Autores (2016)

| Camadas constituintes | | | | | | Tipo | |
|-----------------------|--------------------|----------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Membrana impermeável | Barreira Antirraiz | Drenagem | Filtro | Substrato | Vegetação | Intensivo | Extensivo |

Em relação à ACV, foram agrupados os dados referentes às fases analisadas: extração e processamento de matérias-primas, transporte, execução, operação, manutenção e fim de vida. As categorias de impacto avaliadas foram: depleção abiótica, aquecimento global (foi considerado emissões de gases de efeito estufa ou CO₂eq), oxidação fotoquímica, saúde do homem (subgrupo: agentes cancerígenos, mudança no clima, radiação, depleção da camada de ozônio toxicidade humana), qualidade do ecossistema (subgrupo: acidificação, eutrofização, ecotoxicidade de água doce, ecotoxicidade marinha, ecotoxicidade terrestre, uso da terra), uso de energia, drenagem de águas pluviais e recursos (extração mineral e combustíveis fósseis). O uso de software para auxílio da quantificação dos impactos também foi levantado.

3. Resultados e discussão

O único trabalho brasileiro que trata de ACV em telhado verde foi elaborado por Tavares et al. [12] no XV ENTAC e que fez uma análise comparativa de telhados convencionais com telhados verdes tanto em módulos plásticos como o vernacular. Os autores analisaram a emissão de CO₂ e energia incorporada na fase de extração e processamento sem detalhamento sobre os materiais escolhidos para compor as camadas dos telhados verdes.

Já em relação ao panorama internacional, vários trabalhos publicados em periódicos relevantes como *Building and Environment*, *Journal of Cleaner Production* e *Energy and Buildings* foram avaliados. Todos os periódicos, e a respectiva quantidade de publicações do tema, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Quantidade de publicação por periódico internacional

| Periódico internacional | Quantidade de publicação |
|---|--------------------------|
| Smart and Sustainable Built Environment | 1 |
| Journal of Industrial Ecology | 1 |
| Journal of Architectural Engineering | 1 |
| Materiales de Construcción | 1 |
| Journal of Cleaner Production | 3 |
| Building and Environment | 4 |
| Environmental Science & Technology | 2 |
| Energy and Buildings | 1 |

Uma análise inicial extraída do compilamento dos dados foi a frequência anual de publicações internacionais, apresentada na Tabela 2.

Tabela 3: Quantidade anual de publicação

| Ano | Quantidade |
|-------|------------|
| 2006 | 1 |
| 2007 | 1 |
| 2010 | 1 |
| 2012 | 4 |
| 2013 | 1 |
| 2014 | 2 |
| 2015 | 4 |
| Total | 14 |

Os anos com mais publicações são o ano de 2012 e de 2015. Observa-se a não existência de uma sequência crescente de publicações. A Espanha foi o país que mais estudou a ACV em telhados verdes, totalizando quatro publicações (uma em 2013, duas em 2014 e uma em 2015). É o país que mantém a evolução de pesquisa, se preocupando com a substituição ou a inclusão de itens reciclados ou autossuficientes, por exemplo, o uso de placa fotovoltaica no telhado e o uso de borracha reciclada para drenagem. O Canadá foi o segundo país que mais publicou no assunto (três publicações). Os outros países foram: Estados Unidos, Coreia, Itália, Finlândia e Países Baixos.

A segunda análise relevante foi sobre o tipo de camadas constituintes. A camada de impermeabilização do suporte estrutural foi sempre feita por polímeros (PVC, StressPly EUV, EPDM, e outros). A barreira antirraiz é a camada que garante a proteção da impermeabilização contra a perfuração pelas raízes das plantas. 57% dos trabalhos não mencionaram essa camada e nos restantes ela é feita por PVC, polietileno ou polipropileno.

A camada de drenagem feita por poliestireno ou polipropileno de baixa e alta densidade ocupou a maioria dos trabalhos. Apenas o artigo de Rivela et al. [13] da Espanha tratou de concreto poroso com poliestireno extrudido, Rincon et al. [14] da Espanha trabalhou com fragmentos de borracha reciclada e Contarini e Meijer [4] dos Países Baixos usaram pedra pomes para drenar a água da chuva. A camada de filtro tanto foi composta de fibras têxteis, de vidro e poliméricas, polietileno, lã e argila expandida.

A espessura da camada de substrato teve muita variação, entre 5 cm e 15 cm nos telhados extensivos por exemplo. Esse tipo de telhado verde esteve em todas as pesquisas, excluindo o de Contarini e Meijer [4] que não adotaram um tipo específico para análise. O telhado verde intensivo esteve presente em 43% dos trabalhos, aproximadamente, já que muitos autores o incluíram na comparação. A vegetação mais utilizada foi do gênero *sedum* que possui boa cobertura tanto para o inverno quanto para o verão e são plantas suculentas caracterizadas pela sua cor verde e carnuda de espessura luz caules ou folhas [1].

Não foi apenas o telhado verde como um sistema completo que foi avaliado. Uma característica da análise foi que muitos autores estudaram as camadas isoladas do telhado verde ou apenas a camada de substrato ou de drenagem. O resumo está apresentado na Figura 1. Um sistema diferenciado é mostrado na introdução de placas fotovoltaicas no sistema de telhado verde feito pelos mesmos autores Lamnatou e Chemisana da Espanha que iniciaram um estudo no ano de 2014 [15] e deram continuidade em um de 2015 [16]. Os autores fazem uma comparação com outros tipos de cobertura e confirmam a hipótese que seu sistema é mais "amigo do ambiente" baseado em ACV. Os únicos trabalhos da Coreia do Sul publicados em 2012, inclusive dos mesmos autores: Kim, Hong e Woo [17] e Hong,

Kim e Woo [18] tratam apenas de substrato e vegetação, negligenciando as outras camadas.

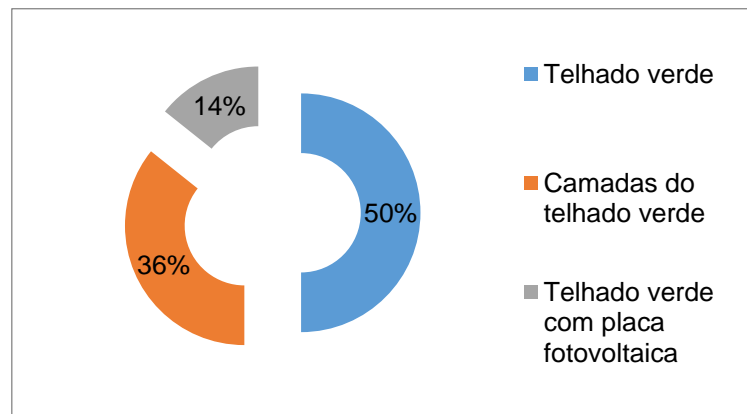


Figura 1: Variação das análises de telhado verde

Em relação à avaliação de ciclo de vida, muitas informações puderam ser extraídas. A primeira trata das fases do ciclo de vidas analisadas. Apenas um estudo, de Kosareo e Ries [2] dos EUA, fez a análise de berço ao túmulo, que envolve todas as fases do ciclo de vida. O uso de telhado verde para o melhoramento de desempenho de edificações existentes, o retrofit, foi muito mencionado nos estudos como vantagem do sistema. Porém, efetivamente, nenhum autor incluiu coberturas verdes em processo de retrofit. O quantitativo em percentagem das fases de ACV estudadas está apresentado na Figura 2.

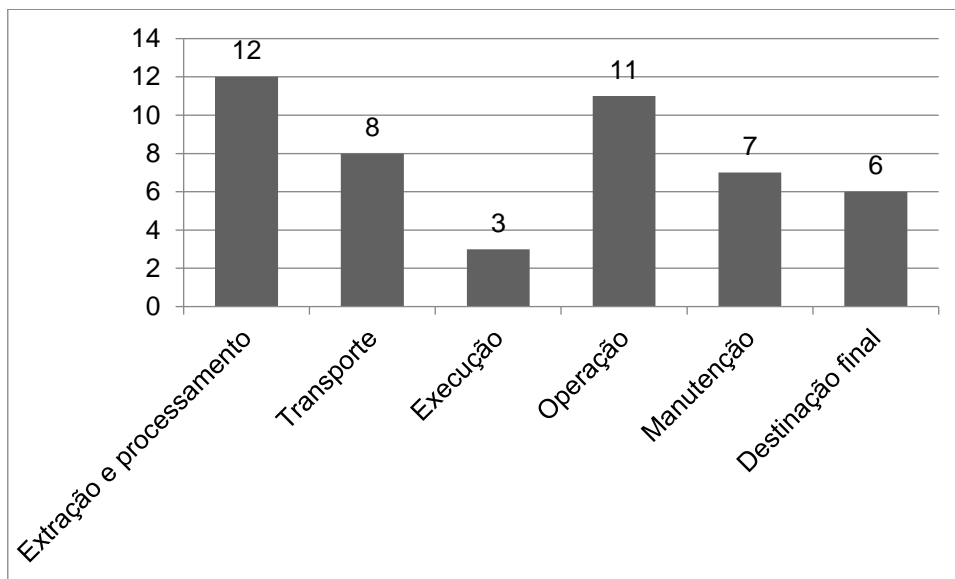


Figura 2: Fases da ACV incluídas nos estudos avaliados

Observa-se na figura acima a incidência da fase de extração e processamento de matérias-primas, estudada na maioria dos artigos. O cuidado por essa fase talvez seja pela grande quantidade de plástico utilizada nas camadas do telhado verde e possui alta energia incorporada. A fase de operação também foi incluída em muitos trabalhos, especialmente pelo fato da quantidade de anos de vida útil do sistema, possuindo elevado consumo energético, por exemplo.

A respeito de vida útil, os trabalhos variaram de 30 a 50 anos, sendo que dois dos artigos pesquisados não especificaram, já que analisaram apenas a fase pré-uso. A quantidade para cada valor de vida útil está representada na Figura 3.

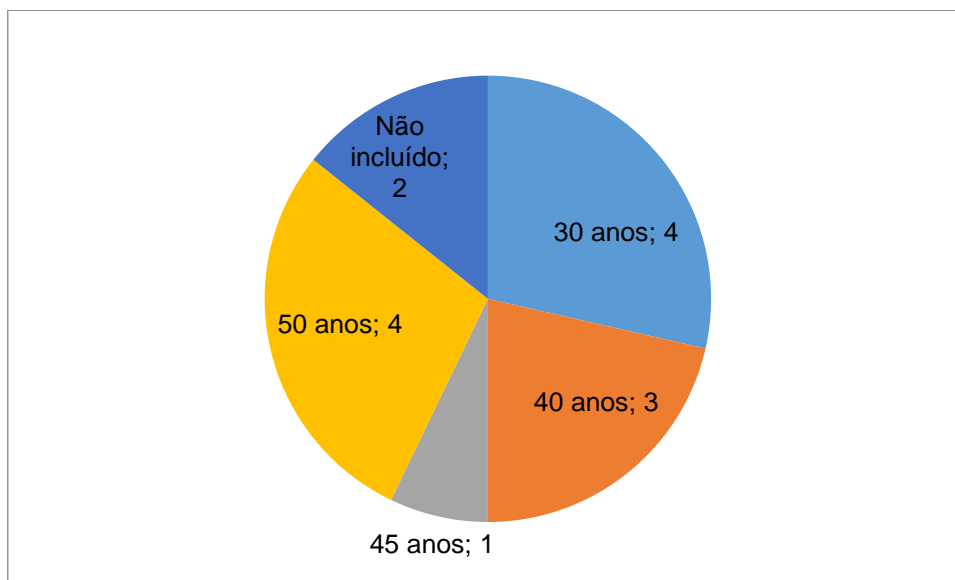


Figura 3: Vida útil dos artigos analisados

Por fim, a análise dos estudos permitiu separar as categorias de impacto avaliadas pelos autores. Pela dificuldade de obtenção de dados, muitos softwares foram utilizados pelos autores, como: SimaPro (7), Impact 2002+ (2), Energy Plus (3), CML 2000 (1), LCManager (1), Dutch (1) e outras bases de dados. Cada software avalia determinada categoria de impacto. O resultado geral das quantidades de estudos por cada categoria está apresentado na Figura 4.

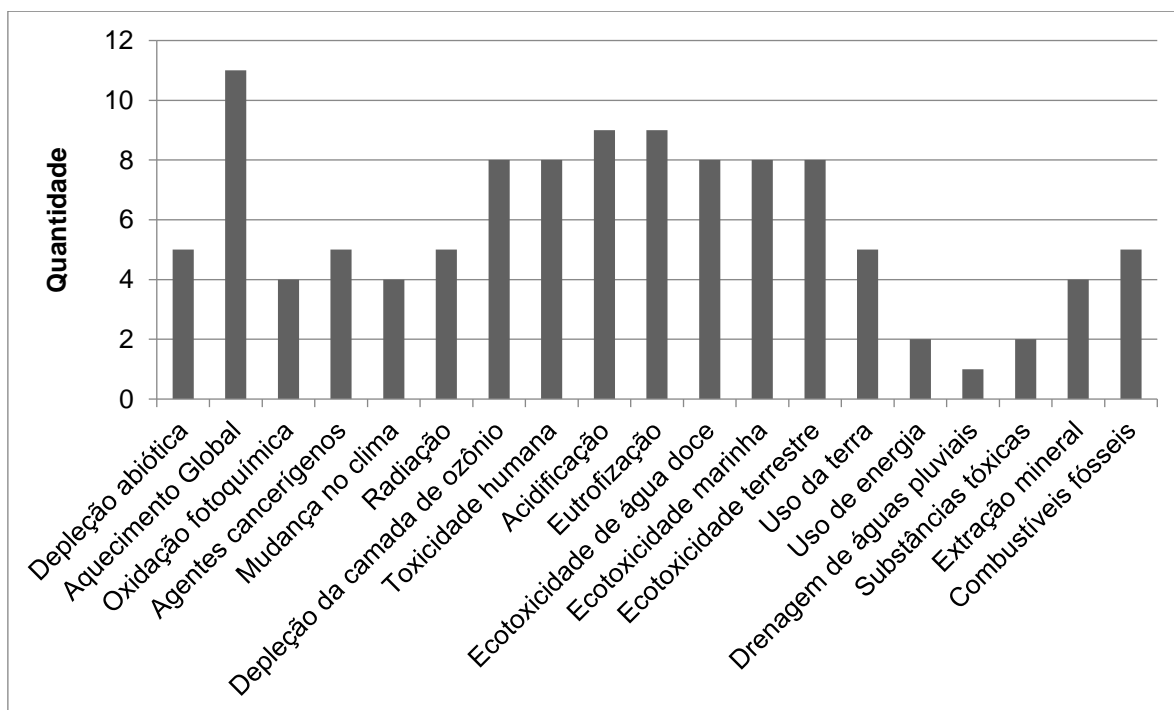


Figura 4: Quantidade de cada categoria de impacto avaliada nos estudos

A drenagem de águas pluviais foi um item bastante comentado como uma das principais vantagens do sistema de telhado verde e diferentemente deste enfoque, poucos autores consideraram esse item na avaliação ambiental. O potencial de aquecimento global, que se configura nas emissões de gases de efeito estufa (GEE ou CO_{2eq}) foi o mais analisado, seguido de acidificação e eutrofização.

4. Conclusões

Observou-se, com a análise dos artigos publicados internacionalmente, a existência de trabalhos pontuais sobre ACV de telhados verdes. Pelas muitas possibilidades de escopo e fronteiras do estudo e pelas opções de escolha de materiais constituintes do telhado verde, é fundamental que seja um tema abordado de forma evolutiva, com mais parâmetros sendo incluídos e novas fronteiras sendo exploradas.

Os materiais que foram utilizados na composição das camadas constituintes dos telhados verdes foram materiais poliméricos, o que acarreta alta energia e emissões incorporadas, implicando em elevada carga ambiental. Deve-se pensar, então, na substituição desses materiais por produtos mais ecológicos e sustentáveis.

Não existe padrão quando se trata de telhados verdes. Isso dificulta o processo comparativo entre vários estudos de diferentes países, por exemplo. O Brasil possui uma única publicação com caráter incipiente. Com a tendência de redução do consumo energético e emissões de gases poluentes em habitação, ainda pelo clima tropical brasileiro, é fundamental que o sistema se difunda no país, iniciando com o ambiente acadêmico. Mesmo no âmbito internacional o tema possui abordagem restrita, como foi descrito no trabalho.

Para trabalhos futuros, a interferência do sistema de telhado verde deve ser evidenciada para retrofit, visto que muitas edificações adotam essa estratégia para melhorar o desempenho da habitação. Uma normatização de coberturas verdes deve ser considerada, já que os artigos científicos avaliados fogem de um padrão. Com a leitura desses trabalhos, ficou evidente a contribuição para o meio ambiente e assim, um incentivo maior para o uso e estudo de telhados verdes é necessário.

5. Referências

- [1] SAIZ, S.; KENNEDY, C.; BASS, B.; PRESSNALL, K. Comparative Life Cycle Assessment of Standard and Green Roofs. **Environmental Science & Technology**, v. 40, n. 13, p.4312-4316, 2006.
- [2] KOSAREO, L.; RIES, R. Comparative environmental life cycle assessment of green roofs. **Building and Environment**, v. 42, n. 7, p.2606-2613, 2007.
- [3] BIANCHINI, F.; HEWAGE, K. How “green” are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. **Building and Environment**, v. 48, p.57-65, 2012.
- [4] CONTARINI, A.; MEIJER, A. LCA comparison of roofing materials for flat roofs. **Smart and Sustainable Built Environment**, Vol. 4, p.97 - 109, 2015.
- [5] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR ISO 14040. Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.
- [6] PERI, G.; TRAVERSO, M.; FINKBEINER, M.; RIZZO, G. Embedding “substrate” in environmental assessment of green roofs life cycle: evidences from an application to the whole chain in a Mediterranean site. **Journal of Cleaner Production**, v. 35, n. 1, p.274-287, 2012.
- [7] CHENANI, S. B.; LEHVÄVIRTA, S.; HÄKKINEN, T. Life cycle assessment of layers of green roofs. **Journal of Cleaner Production**, v. 90, p.153-162, 2015.
- [8] CERÓN-PALMA, I.; SANYÉ-MENGUAL, E.; OLIVER-SOLÀ, J.; MONTERO, J.; PONCE-CABALLERO, C.; RIERADEVALL, J. Towards a green sustainable strategy for social neighbourhoods in Latin America: Case from social housing in Merida, Yucatan, Mexico. **Habitat International**, v. 38, p.47-56, 2013.

- [9] CUBI, E.; ZIBIN, N.; THOMPSON, S.; BERGERSON, J. Sustainability of Rooftop Technologies in Cold Climates: Comparative Life Cycle Assessment of White Roofs, Green Roofs, and Photovoltaic Panels. **Journal of Industrial Ecology**, v. 20, p.249-262, 2015.
- [10] BLACKHURST, M.; HENDRICKSON, C.; MATTHEWS, H. S. Cost-Effectiveness of Green Roofs. **Journal of Architectural Engineering**, v. 16, p.136-143, 2010.
- [11] BELUSSI, L.; BAROZZI, B. Mitigation measures to contain the environmental impact of urban areas: a bibliographic review moving from the life cycle approach. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, p.745-758, 2015.
- [12] TAVARES, S.; LOPES, T.; SAVI, A; OLIVEIRA, E. Telhado verde, energia embutida e emissão de CO₂: análise comparativa a coberturas convencionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15, 2014, Maceió. Anais do XIV ENTAC. Maceió: ANTAC, 2014. P. 1-10.
- [13] RIVELA, B. et al. Life Cycle Assessment for ecodesign of ecological roof made with Intemper TF Ecological Water-Tank System. **Materiales de Construcción**, v. 63, p.131-145, 16 fev. 2012.
- [14] RINCÓN, L.; COMA, J.; PÉREZ, G.; CASTELL, A.; BOER, D.; CABEZA, L. Environmental performance of recycled rubber as drainage layer in extensive green roofs. A comparative Life Cycle Assessment. **Building and Environment**, v. 74, p.22-30, 2014.
- [15] LAMNATOU, C.; CHEMISANA, D. Photovoltaic-green roofs: a life cycle assessment approach with emphasis on warm months of Mediterranean climate. **Journal of Cleaner Production**, v. 72, p.57-75, 2014.
- [16] LAMNATOU, C.; CHEMISANA, D. Evaluation of photovoltaic-green and other roofing systems by means of ReCiPe and multiple life cycle-based environmental indicators. **Building and Environment**, v. 93, p.376-384, 2015.
- [17] KIM, J.; HONG, T.; KOO, C. Economic and Environmental Evaluation Model for Selecting the Optimum Design of Green Roof Systems in Elementary Schools. **Environmental Science & Technology**, v. 46, p.8475-8483, 2012.
- [18] HONG, T.; KIM, J.; KOO, C. LCC and LCCO₂ analysis of green roofs in elementary schools with energy saving measures. **Energy and Buildings**, v. 45, p.229-239, 2012.