

Como integrar os Serviços Ecossistêmicos à Avaliação do Ciclo de Vida? Uma revisão

How to integrate Ecosystem Services into Life Cycle Assessment? A review

Marina Silva Seabra da Rocha, mestre e doutoranda, UFMG.

marinasseabra@gmail.com

Eleonora Sad de Assis, professora e doutora, UFMG.

eleonorasad@yahoo.com.br

Número da sessão temática da submissão – [05]

Resumo

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é um dos métodos mais usados para se estimar os impactos de um sistema de produto do ambiente construído. Todavia, este processo possui deficiências. E pesquisas recentes têm sugerido a incorporação da Abordagem Ecossistêmica à ACV, como uma resposta válida a estas limitações. Consequentemente, o objetivo principal desse estudo é levantar as estratégias mais comumente utilizadas para incorporar os Serviços Ecossistêmicos à ACV de modo a suprir as limitações metodológicas, visando às necessidades do setor da construção. Tal ação foi executada por meio de revisão de literatura e pela técnica da bola de neve. Assim, a pesquisa obteve êxito em apontar as lacunas existentes na literatura quanto a esta integração e em demonstrar que as formas de integração mais comuns se baseiam em uma estrutura conceitual e no uso da ACV como método norteador.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida; Serviços Ecossistêmicos; Revisão

Abstract

Life Cycle Assessment (LCA) is a widely used method for estimating the environmental impacts of product systems in the built environment. However, this process presents methodological deficiencies. Recent research suggests that incorporating the Ecosystem Services (ES) approach into LCA is a valid response to these limitations. Consequently, this study aims to identify the most common strategies used to integrate ES into LCA to address methodological gaps, specifically targeting the needs of the construction sector. This was executed through an literature review and snowball sampling technique. The research successfully highlighted existing literature gaps regarding this integration and demonstrated that the most common integration forms rely on a conceptual framework and the use of LCA as a guiding methodology.

Keywords: Life Cycle Assessment; Ecosystem Services; Review

1. Introdução

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é um dos métodos mais consolidados nos meios profissional e científico para se compreender os impactos de um sistema de produto no meio ambiente. A ACV auxilia, portanto, na análise da sustentabilidade dos processos que constituem este sistema (Rocha; Assis, 2024a; 2024b). No entanto, sabe-se que sua estrutura pode ser bastante complexa e distante da realidade dos profissionais da construção civil. O grande número de indicadores utilizados por esta estrutura metodológica é, em sua maioria, pouco relevante ou familiar aos profissionais deste setor (John *et al.*, 2020; Promovendo [...], 2022) e incompatível entre si, dificultando sua comparabilidade. Além disto, o resultado das avaliações em, por exemplo, kg N eq., no caso do impacto de eutrofização, ou em kg de CO₂ eq., para o impacto de mudança climática, ou em megajoules, para consumos de recursos energéticos, não permite mensurar diretamente as consequências para o meio (Rocha; Assis, 2024a; 2024b).

Contudo, na tentativa de superar estas e outras limitações do método supracitado, pesquisas propuseram integrar o modelo de cascata da Abordagem Ecosistêmica, ou Avaliação de Serviços Ecosistêmicos (ASE), à cadeia de causa-efeito da ACV. Por isso, acredita-se que a inserção da estrutura ecosistêmica na análise do ciclo de vida seja uma resposta válida às limitações deste último método (Silva *et al.*, 2024).

Assim, se questiona sobre quais as possíveis formas de integração entre a Abordagem Ecosistêmica e a ACV, que já foram propostas e que podem ser um indicativo para a construção de uma nova estrutura metodológica, no contexto da indústria da construção? Acredita-se que, por ser um método já consolidado, a ACV deve ser o método base no qual a abordagem ecosistêmica é incorporada no sentido de cobrir as falhas deste primeiro e facilitar seu uso por profissionais da indústria do ambiente construído.

Por conseguinte, o objetivo central desta pesquisa é compreender, por meio de levantamento na literatura, as estratégias de união entre a ACV e os Serviços Ecosistêmicos (SEs) de modo a se verificar qual ou quais as mais promissoras no que concerne à construção de uma estrutura que supra, total ou parcialmente, as falhas das duas metodologias e atenda às necessidades dos profissionais da construção. Assim, é necessário, primeiramente, identificar pesquisas internacionais e nacionais que proponham a união das duas metodologias e, posteriormente, descrever as estratégias de união levantadas por estas literaturas.

A relevância desta investigação se centra, sobretudo, no *design* para a sustentabilidade, pois este exige, como comprovado por estudos anteriores, novas metodologias que superem as limitações das existentes e avancem para uma solução acessível a projetistas, sejam eles arquitetos, engenheiros ou *designers*. Ao buscar levantar estas estratégias de união entre as estruturas da ACV e da Abordagem Ecosistêmica, e ao apontar caminhos para tal ação, este trabalho torna possível a clarificação das vantagens e desvantagens de cada uma das opções em relação à sua capacidade de medir a sustentabilidade em termos mais práticos e acessíveis e que viesse de encontro à forma como profissionais da construção lidam com o projeto e com a escolha de materiais e técnicas construtivas. A partir disto, a pesquisa visa fomentar o desenvolvimento de uma nova estrutura metodológica que atenda a estes

pressupostos, permitindo avaliações ambientais que sejam compreensíveis por pessoas que trabalham em um dos campos da indústria que mais impactam o meio ambiente (Linde; Lewis; Sanchez, 2022; United Nations Environment Programme; Global Alliance For Buildings And Construction, 2024). Assim, a investigação abre caminho para a construção de uma estrutura metodológica inédita que pretende mudar a forma como os impactos da construção civil no meio são compreendidos e avaliados e que possa se tornar uma ferramenta do cotidiano dos fabricantes de materiais de construção, construtoras e escritórios de projeto.

Contudo, antes de partir para a metodologia da pesquisa, é importante entender o porquê de se integrar a ASE à ACV.

2. Fundamentação teórica: Por que integrar

Conforme Vanderwilde e Newell (2021), as abordagens em questão têm o mesmo intuito de servirem de ferramenta para a avaliação de sustentabilidade.

A ACV é um método padronizado por normas internacionais, além de ser bem aceito pela comunidade acadêmica (Zhang *et al.*, 2010a; De Luca Peña *et al.*, 2022a). Contudo, por ser uma metodologia direcionada à avaliação e mensuração de impactos, a ACV não consegue conectar a transformação de componentes ambientais em mudanças na provisão de SEs. Por sua vez, o pensamento ecossistêmico sozinho não é capaz de quantificar os efeitos das atividades humanas nos SEs. Para isso, este último precisa se basear em um método como a ACV (De Luca Peña *et al.*, 2022a). E, ultimamente, algumas pesquisas têm se debruçado na união destes procedimentos por meio da caracterização de impactos nos SEs dentro da ACV (Othoniel *et al.*, 2016). Isto é possível, pois ambas as estruturas metodológicas procuram compreender as consequências das ações antrópicas no meio natural. E elas fazem isso graças às cadeias de relacionamento entre as esferas ambiental e humana. Na ACV, esta sequência é chamada de via de impacto ou cadeia de causa-efeito. E, na análise dos serviços ecossistêmicos, é conhecida como modelo de cascata.

A estrutura do modelo em cascata é bastante semelhante em alguns pontos com a cadeia de causa-efeito da ACV. Semelhante à ACV, os estudos que envolvem a determinação dos impactos nos SEs necessitam de uma formulação consistente e lógica dessa cadeia que permite relacionar interferências no meio com suas respectivas alterações ambientais. E mesmo que se utilizem de termos ligeiramente distintos para denominar os elementos componentes das interações homem-ambiente, estes vocábulos são compatíveis. Além disso, ambas as metodologias têm caráter interdisciplinar e se baseiam no pensamento sistêmico (Dietz, 2017; Pavan; Ometto, 2018; Rugani *et al.*, 2019). Assim, é possível afirmar que, dada a compatibilização entre os dois percursos, é possível integrá-los criando uma nova estrutura metodológica para avaliação de sustentabilidade.

3. Procedimentos Metodológicos

Nesta investigação qualitativa e bibliográfica, de caráter exploratório e descritivo que empregou um método de abordagem comparativo, foram utilizadas as técnicas de revisão de literatura e bola de neve nas bases de dados do portal de periódicos da CAPES (Brasil,

2025) e da Science Direct (Elsevier, c2025), da Elsevier, no intuito de se encontrar artigos de revisão, em inglês, dos últimos cinco anos (2020 a 2025) a partir da string de busca: ((LCA OR "Life Cycle Assessment") AND "ecosystem service" AND methodology). Após a busca inicial, foram encontradas seis publicações no Portal da CAPES e seis na Science Direct.

Posteriormente, foram eliminadas as duplicatas, totalizando três artigos. Dos nove artigos restantes, deveriam constituir o corpus de investigação aqueles que faziam um compilado e comparavam as estratégias de união entre as metodologias da abordagem ecossistêmica e da avaliação do ciclo de vida. Neste processo, um artigo foi eliminado por não tratar de ACV e abordagem ecossistêmica, outros dois por focarem em sistemas agrícolas e mais dois por serem estudos cujo intuito não era fazer a compilação e comparação entre estratégias de união entre as duas metodologias em questão, mas aplicar a ACV em estudos específicos, no caso, em substratos reciclados e taludes. Então, a partir desta segunda filtragem, restaram quatro estudos.

A partir de um dos estudos que passaram a constituir o corpus de análise (Hardaker *et al.*, 2022), foi mapeada mais uma publicação por meio da estratégia de bola de neve, a de Vanderwilde e Newell (2021a) para compor o conjunto de artigos analisados. O uso desta técnica se baseou na busca por artigos de revisão, nas referências das quatro publicações encontradas, que também fizessem a comparação de iniciativa que incorporação dos SEs à ACV.

Os cinco estudos foram lidos em sua integralidade visando mapear quais as estratégias mais comuns utilizadas para unir as duas estruturas metodológicas que são objetos desta pesquisa.

4. Resultados

Foram encontradas três revisões de literatura que tratam das formas de integração entre a ACV e o pensamento ecossistêmico. A primeira obra é a de Vanderwilde e Newell (2021a), que avaliou mais de 56.000 artigos e mapeou 91, por meio de uma análise bibliométrica, nos quais a abordagem ecossistêmica é integrada à ACV. Os pesquisadores determinaram quais os serviços ecossistêmicos mais abordados e categorizaram a união entre as duas estruturas metodológicas conforme a utilização das categorias de impacto de ponto médio ou ponto final da ACV. Também detectaram três vertentes nas publicações que relacionam SEs à ACV quanto às formas de quantificação dos impactos. Já a segunda pesquisa é a de De Luca Peña *et al.*, (2022a), que executou uma revisão sistematizada da literatura em 110 publicações e analisou as diferentes posições em que pode ocorrer a incorporação das duas metodologias na cadeia de causa-efeito. A partir disso, os autores classificaram as formas de união em três categorias: pós-análise, integração pela combinação de resultados e integração através da complementação de um método condutor, sendo esta última a forma mais comum.

Por fim, o estudo de Crenna *et al.* (2025) não explicita quantos estudos analisou ao todo. Estes autores se basearam na perspectiva do ciclo de vida para examinar estudos que avaliam impactos na biodiversidade, buscando expandir a ACV para outros contextos, aplicando outras métricas de biodiversidade. Os autores levantaram vertentes de aplicação da ACV.

4.1. Vanderwilde e Newell (2021)

Segundo Vanderwilde e Newell (2021a), a incorporação de SEs na ACV é uma vertente de investigação que está em ascensão. Apesar de a primeira pesquisa no tema ter sido publicada em 2004, novas investigações só começaram a surgir após 2014, inclusive, no Brasil.

Em relação aos tipos de impactos abarcados pelas pesquisas que adotam uma abordagem integrativa entre a ACV e SEs, pode-se afirmar que artigos desta linha e de cunho metodológico tendem a concentrar a integração na quantificação dos impactos do ciclo de vida no uso da terra, sendo este um campo promissor para uma pesquisa que incorpore as duas metodologias entre si. Nesta circunstância, os impactos são entendidos como a fração de solo cujo uso foi modificado em relação à área total de uso. Esta modificação é valorada biofisicamente ou monetariamente conforme o uso do solo. Grande parte das pesquisas desta vertente concentra-se nos serviços de regulação e manutenção. Contudo, elas focam em um número reduzido destes serviços e a quantidade de publicações é, no geral, pouco expressiva (Vanderwilde; Newell, 2021a).

No que concerne os SEs mais comumente tratados nas pesquisas mapeadas pelos autores, estão aqueles ligados ao balanço de carbono, dada a facilidade de conectar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) aos indicadores de ponto médio de mudança climática. Em seguida vêm as pesquisas que se debruçam sobre serviços de provisão. Por fim, os serviços culturais ocupam a última posição nos escopos das investigações. No entanto, o uso do solo, seguido do esgotamento de recursos e mudanças climáticas, se mostra como a área mais fértil para pesquisas integrativas entre SEs e ACV (Vanderwilde; Newell, 2021a).

Já no que tange às linhas de publicação que relacionam SEs com ACV, é possível citar três vertentes: a chamada de “Biodiversidade e SEs”, que foca na elaboração de métodos que avaliam o uso do solo por meio do desenvolvimento das diretrizes UNEP-SETAC; a “Modelagem dinâmica”, que incorpora a ACV a outros métodos, como à valoração ecológica e econômica e às ferramentas de modelagem de sistemas biológicos, no intuito de se entender os impactos dos serviços ecossistêmicos e o “Uso do solo”, que se utiliza dos guias da UNEP-SETAC e de seus avanços para quantificar impactos do uso do solo na biodiversidade, regulação climática, produção biótica, e em outros SEs (Vanderwilde; Newell, 2021a).

4.2. De Luca Peña *et al.* (2022)

No que tange à integração da estrutura abordagem ecossistêmica às categorias de impacto ou à estrutura do método de avaliação do ciclo de vida de sistemas de produto, a maioria dos artigos discriminados por De Luca Peña *et al.* (2022a) trata da incorporação dos SEs como impactos ambientais adicionais na cadeia de causa-efeito da ACV. Para isso, se utilizam das diretrizes da UNEP-SETAC para a construção de fatores de caracterização espacialmente distintos para pontos médios e pontos finais de categorias de impacto. No nível conceitual, algumas publicações levantadas propuseram uma reestruturação das áreas de proteção (*Areas of Protection* - AoP) da ACV para incorporar os SEs e o bem-estar humano

como AoPs suplementares. Três publicações sugeriram a modificação do ICV através da alocação como solução para incorporar os SEs à ACV. Já outras investigações propuseram a extensão dos limites dos sistemas de produtos da ACV para englobar a oferta e a demanda de SEs ou a integração das esferas humana e ambiental. Ademais, certo número de pesquisas elaborou modelos e esquemas de integração da estrutura em cascata na ACV.

Alguns estudos, por sua vez, realizam uma incorporação completa dos métodos, ao integrar o modelo de cascata dos SEs, desde a fase de inventário até a fase de avaliação da ACV. No entanto, estudo deste tipo é mais raro se comparado à integração via método condutor (De Luca Peña *et al.*, 2022a).

Os pesquisadores, assim, declaram que a maneira de incorporação mais comum dos SEs à ACV é feita recorrendo ao uso de um método condutor que é, na maioria das vezes, a última metodologia. A ACV, desta forma, é a base da construção da nova estrutura de avaliação e incorpora partes do modelo de cascata na sua própria cadeia de causa-efeito. Dentro desta modalidade, quatro formas de incorporação foram identificadas (De Luca Peña *et al.*, 2022a; 2022b; 2022c):

- Nível 1 – Na fase de escopo: a inserção se dá no começo da cadeia de causa-efeito. Sete artigos seguem por esta linha. Esta categoria ainda se subdivide em duas. A primeira, com quatro estudos, faz a integração por meio da complementação das saídas da abordagem ecossistêmica com as entradas da metodologia da ACV, ou seja, do inventário. Neste caso, os impactos são calculados usando os métodos de AICV. Enquanto no segundo tipo de integração na fase de escopo, com três pesquisas relacionadas, os *inputs* da metodologia ecossistêmica são inseridos como complementos da metodologia condutora (De Luca Peña *et al.*, 2022a; 2022b; 2022c);
- Nível 2 – Na fase de escopo e início da fase de avaliação nas categorias de ponto médio: Cinco artigos fazem parte deste grupo. Nesta circunstância, a integração da abordagem ecossistêmica em ACV ocorre tanto no começo quanto no meio da cadeia de causa-efeito do ciclo de vida (De Luca Peña *et al.*, 2022a; 2022b; 2022c);
- Nível 3 – Nas categorias de ponto médio: Cinco artigos foram discriminados como pertencentes a esta classificação. Neste cenário, os SEs são integrados à ACV apenas no meio da cadeia de causa-efeito (De Luca Peña *et al.*, 2022a; 2022b; 2022c);
- Nível 4 – Na fase de AICV nas categorias de ponto médio e ponto final: Dois artigos compõem este grupo. Nesta modalidade, a incorporação dos preceitos ecossistêmicos em ACV é feita através dos cálculos usando fatores de caracterização de ponto médio e ponto final (De Luca Peña *et al.*, 2022a; 2022b; 2022c).

Ao utilizar a estratégia de incorporação de uma estrutura a um método de condução, é possível conectar as suas estruturas metodológicas de maneira mais sólida. Neste caso, as avaliações, fruto deste novo método, se tornam mais realistas e têm seu tempo de execução reduzido se comparado às outras formas de unir as abordagens, dado que não há uma extensão dos passos de execução, e sim, uma incorporação. Nesta modalidade, é necessária a escolha de novos indicadores e modelos de caracterização, além de uma extensão da cadeia de causa-efeito e até as novas categorias de impacto e que as interliguem aos SEs. Outra dificuldade que torna o desenvolvimento deste tipo de estrutura metodológica mais complexo, é a falta de padronização conceitual e metodológica na área de classificação e

análise de serviços ecossistêmicos. No entanto, é preciso salientar que estas tarefas são dificultadas, principalmente, pela falta de evidências na literatura científica que permitam esta conexão. Da mesma maneira, exceto para os efeitos da ocupação do solo, cujas consequências já foram mais profundamente investigadas em relação aos SEs (Vanderwilde; Newell, 2021a), há um risco de dupla contagem de impactos (De Luca Peña *et al.*, 2022a).

Não obstante, aqui é necessário fazer uma observação. Apesar de o caminho de causa e efeito em uma avaliação de provisão de SEs ser diferente das vias de impacto da ACV, quando se determinam as causas dos impactos (De Luca Peña *et al.*, 2022a), o modelo em cascata é, em vários aspectos, semelhante ao esquema usado em ACV (Rugani *et al.*, 2019). Rugani *et al.* (2019) propõem, baseados em pesquisas pregressas (Nassl; Löffler, 2015; Maia de Souza *et al.*, 2018; Pavan; Ometto, 2018), posicionar o modelo de cascata dentro da cadeia de causa-efeito, mediante um *framework* conceitual, como a forma mais viável de interligar as trajetórias de impacto do ciclo de vida aos SEs.

4.3. Crenna *et al.* (2025)

Já o estudo de Crenna *et al.* (2025) conclui que o *framework* original da ACV é insuficiente para embasar decisões que afetam os indicadores de biodiversidade. Os pesquisadores mapearam quatro grandes áreas de uso do *framework* original da ACV e uma delas foi denominada de “abordagens de contabilização dos serviços ecossistêmicos” (Crenna *et al.*, 2025, p. 9718) que são aplicadas em contextos práticos. Os autores ainda relatam que, até a publicação da pesquisa, as escassas investigações que tentaram rastrear a relação entre a ACV e os sistemas integrados de contabilização de SEs destacaram a necessidade de detalhar o papel dos SEs como base das atividades antrópicas. Ademais, estes estudos encontrados carecem de uma avaliação e valoração dos fluxos reais de SE. Contudo, os autores defendem que a união das duas abordagens de forma transparente e estruturada permite lidar com as complexidades das questões ecológicas e sua introdução como ferramenta política de apoio à decisão, como já é a ACV.

4.4. Artigos posteriores às revisões

Tendo analisado as duas revisões, passa-se a examinar os outros dois artigos filtrados na busca desta pesquisa que desenvolvem *frameworks* com base em revisões.

Hardaker *et al.* (2022) concluem que os serviços ecossistêmicos são mais adequadamente posicionados na cadeia de causa-efeito como pontos finais de categoria, corroborando com as indicações de De Luca Peña *et al.* (2022a). Nesta circunstância, eles podem representar os danos no valor de uso dos ecossistemas, mostrando que a alteração na provisão destes serviços pode ser encarada como uma nova AoP, indo em uma direção distinta da ACV tradicional. Desta forma, eles propõem um *framework* baseado nesta lógica, usando a ACV como método norteador, estabelecendo as emissões e os efeitos da transformação do uso do solo como os fatores que ligam os sistemas de produto aos SEs. Esta estratégia se alinha com o que apontam Vanderwilde e Newell (2021). Os autores também produzem um diagrama de Sankey para relacionar os SEs às categorias de impacto da ACV.

E em Alshehri *et al.* (2023), também se confirma que a ACV tradicional não incorpora todas as vantagens da abordagem ecossistêmica. Assim, os autores propõem um *framework*

a partir do criado por Rugani *et al.* (2019), que incorpora a análise de SEs na ACV para avaliar os diferentes impactos de soluções para um projeto de remediação de solo e recuperação de uma área industrial abandonada.

5. Análises dos Resultados e Discussões

Assim, ao analisar as publicações listadas pelas revisões de Vanderwilde; Newell, (2021a) e De Luca Peña *et al.*, (2022a) e os outros dois artigos publicados após estes primeiros, aponta-se que 28 das 121 publicações mapeadas neste estudo tratam do desenvolvimento ou do uso de *frameworks* (Vanderwilde; Newell, 2021b; De Luca Peña *et al.*, 2022b) como solução para integrar as metodologias da ACV e da ASE. Além disso, a técnica de método condutor é a mais frequente segundo De Luca Peña *et al.* (2022a) para tal. Vanderwilde e Newell (2021a) declaram que os impactos do ciclo de vida no uso da terra são os mais explorados, assim como os serviços ecossistêmicos de regulação e manutenção relacionados às emissões de GEE por terem conexão direta com a categoria de impacto de mudanças climáticas. Da mesma forma, os autores apontam que as diretrizes UNEP-SETAC são a base metodológica para esta união. Além disto, conforme Hardaker *et al.* (2022), percebe-se que a inclusão dos SEs como pontos finais de categoria é mais apropriada quando se deseja entender o impacto das ações humanas no meio. E, segundo Crenna *et al.* (2025), as investigações que propõem a união, são estudos aplicados a casos práticos.

Portanto, foi possível responder parcialmente à pergunta de pesquisa sobre as estratégias mais utilizadas para se integrar a abordagem ecossistêmica à ACV. Isto se deve ao fato de que apenas dois estudos internacionais (Comello; Lepech; Schwegler, 2012; Ito; Aimonio; Fujii, 2019), listados por Vanderwilde e Newell (2021b), fazem tal proposição dentro do campo da construção. Grande parte das investigações tem como objeto de avaliação os sistemas agrícolas. Desta forma, para se discutir quais as maneiras de integrar SEs à ACV no contexto da indústria da construção para suprir as falhas metodológicas existentes, seriam necessárias mais pesquisas na área. Assim, aponta-se que há uma lacuna evidente na literatura.

Mesmo que o Portal da CAPES seja bastante abrangente e a Science Direct seja a base com mais exemplares de artigos nesta temática, esta lacuna seria efetivamente confirmada caso a busca da presente pesquisa fosse ampliada para outras bases.

Seria igualmente importante que um futuro estudo refizesse a análise de cada uma das publicações elencadas pelas revisões citadas aqui, incluindo também publicações posteriores a elas. Deste modo, seria possível criar um quadro de classificação dos *frameworks* elaborados, baseado em dados primários, com relação às estratégias de união adotadas e relativas, sobretudo, aos pontos de inserção de uma abordagem na outra, ao uso de um método condutor, à utilização de diretrizes pré-existentes para compor a estrutura, além dos SEs e impactos incorporados.

Portanto, esta pesquisa abre o caminho e mostra a necessidade do desenvolvimento de um *framework* estruturado nas bases ecossistêmicas e baseado em um estudo de caso que use apenas indicadores relevantes para a área da construção civil. Desta maneira, será possível facilitar o entendimento e comparabilidade das avaliações de sustentabilidade pela ACV, ao reduzir a sua complexidade e possibilitar a mensuração direta das consequências dos processos produtivos deste setor para os ecossistemas.

6. Conclusão ou Considerações Finais

A principal conclusão dessa pesquisa é que ainda não há uma quantidade relevante de estudos que tratem da incorporação dos SEs à metodologia da ACV no âmbito do setor da construção civil. As tentativas de conexão foram feitas, majoritariamente, com foco em outros campos e, em grande parcela, por meio de *frameworks* conceituais, baseados na metodologia do ciclo de vida como método estruturante e que se utilizaram, muitas vezes, de poucos impactos e serviços avaliados e estudos de caso.

Ainda que seja uma pesquisa baseada predominantemente em dados secundários, a investigação traz contribuições relevantes para a prática da avaliação da sustentabilidade no setor da construção, uma vez que aponta as fragilidades e potencialidades das metodologias existentes e estruturas metodológicas propostas e mostra que já há um movimento científico, ainda que tímido, que busca superar estas deficiências.

Referências

ALSHEHRI, K. *et al.* Integration of ecosystem services and life cycle assessment allows improved accounting of sustainability benefits of nature-based solutions for brownfield redevelopment. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 413, n. 1, p. 1-16, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137352>.

BRASIL. **Portal de Periódicos da CAPES**. Versão 2025. Brasília: CAPES, 2025. Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br/Acesso> em: 03 jul. 2025.

COMELLO, S. D.; LEPECH, M. D. SCHWEGLER, B. R. Project-Level Assessment of Environmental Impact: Ecosystem Services Approach to Sustainable Management and Development. **Journal of Management in Engineering**, [S.l.], v. 28, n. 1, p. XXX-XXX, 2012. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.000009](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.000009).

CRENNA, E. Biodiversity Assessment of Value Chains: State of the Art and Emerging Challenges. **Environmental Science & Technology**, [S.l.], v. 54, n.1, p. 9715–9728, 2020. DOI: <https://dx.doi.org/10.1021/acs.est.9b05153>.

DE LUCA PEÑA, L. V. *et al.* Towards a comprehensive sustainability methodology to assess anthropogenic impacts on ecosystems: Review of the integration of Life Cycle Assessment, Environmental Risk Assessment and Ecosystem Services Assessment. **Science of the total Environment**, [S.l.], v. 808, n. 1, p. 1–17. 2022a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152125>.

DE LUCA PEÑA, L. V. *et al.* **Supplementary Material: Annex A**. Towards a comprehensive sustainability methodology to assess anthropogenic impacts on ecosystems: Review of the integration of Life Cycle Assessment, Environmental Risk Assessment and Ecosystem

Services Assessment. [S.l.]: Elsevier, 2022b. 1 planilha de Excel. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152125>.

DE LUCA PEÑA, L. V. *et al.* **Supplementary Material: Annex B.** Towards a comprehensive sustainability methodology to assess anthropogenic impacts on ecosystems: Review of the integration of Life Cycle Assessment, Environmental Risk Assessment and Ecosystem Services Assessment. [S.l.]: Elsevier, 2022c. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152125>.

DIETZ, T. Drivers of Human Stress on the Environment in the Twenty-First Century. **Annual Review of Environment and Resources**, [S.l.], v. 42 n. 1, p. 89–213, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085440>.

ELSEVIER. **Science Direct**. Versão 2025. [S.l.]: Elsevier B.V, 2025 Elsevier B.V. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/>. Acesso em: 03 jul. 2025.

HARDAKER, A. *et al.* A framework for integrating ecosystem services as endpoints impacts in Life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 370, n. 133450, p. 1-11, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133450>.

ITO, H.; AIMONO, K.; FUJII, T. Life cycle impact assessment of new ground material and embankment construction methods considering recycling. **International Journal of GEOMATE**, [S.l.], v. 17, n. 60, p. 49-55. 2019. DOI: 10.21660/2019.60.470

JOHN, V. M. *et al.* Proposta de método prático para avaliar o desempenho ambiental no ciclo de vida da construção. **Concreto & Construções**, [S.l.], n. 100, p.48-56, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/1809-7197.2020.100.0002>.

LINDE, L.; LEWIS, A N.; SANCHEZ, F. **Towards a sustainable global construction and buildings value chain**. [S.l.]: LeadIt: 2022. Disponível em: <https://www.sei.org/wp-content/uploads/2022/06/brief-towards-a-sustainable-global-construction-1.pdf>. Acesso em: 27 maio 2025.

OTHONIEL, B. *et al.* Assessment of Life Cycle Impacts on Ecosystem Services: Promise, Problems, and Prospects. **Environmental Science & Technology**, [S.l.], v. 50, n. 1. p. 1077-1092, 2016. DOI: 10.1021/acs.est.5b03706.

PAVAN, A. L. R.; OMETTO, A. R. Ecosystem Services in Life Cycle Assessment: A novel conceptual framework for soil. **Science of the Total Environment**, [S.l.], v. 643, n. 1, p. 1337-1347, 2018. DOI:10.1016/j.scitotenv.2018.06.191.

ROCHA, M. S. S. da; ASSIS, E. S. Aplicação da abordagem ecossistêmica na Avaliação do Ciclo de Vida. In: ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETO - ENSUS, 12., 2024, Belo Horizonte (MG). **Anais [...]**. Florianópolis: Grupo de Pesquisa Virtuhab: Universidade Federal de Santa Catarina: Universidade Federal de Minas Gerais, v. 12, n. 1, Parte 2, p. 695-704, 2024a. DOI: 10.29183/2596-237x.ensus2024.v12.n1.

ROCHA, M. S. S. da; ASSIS, E. S. Aplicação da abordagem ecossistêmica na reestruturação do modelo de sistema de produto na avaliação do ciclo de vida para materiais de construção. *Impact Projects*, Marabá (PA): Unifesspa, v. 3, n. 2, set. 2024b. DOI: <https://doi.org/10.59279/impact.v3i2.2897>.

RUGANI, B. *et al.* Towards integrating the ecosystem services cascade framework within the Life Cycle Assessment (LCA) cause-effect methodology. **Science of the Total Environment**, [S.l.], v. 690, n. 1, p.1284-1298, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.023>.

SILVA, D. V. *et al.* Opportunities to integrate Ecosystem Services into Life Cycle Assessment (LCA): a case study of milk production in Brazil. **Ecosystem services**, [S.l.], v. 69, n. 101646, p. 1-16. 2024. DOI: 10.1016/j.ecoser.2024.101646.

UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME; GLOBAL ALLIANCE FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION. **Global Status Report for Buildings and Construction: Beyond foundations: Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector**. Nairobi: ONU: GlobalABC, 2024

VANDERWILDE, C. P.; NEWELL, J. P. Ecosystem services and Life cycle assessment: A bibliometric review. **Resources, Conservation & recycling**, [S.l.], v. 169, n. 105461, p. 1-15. 2021a. DOI:10.1016/j.resconrec.2021.105461.

VANDERWILDE, C. P.; NEWELL, J. P. **Supplementary Material**: Supporting information for Ecosystem services and Life cycle assessment: A bibliometric review. [S.l.]: Elsevier, 2021b. 1 planilha de Excel. DOI:10.1016/j.resconrec.2021.105461.

ZHANG, Y. *et al.* Accounting for ecosystem services in life cycle assessment part I: A critical review. **Environmental Science Technology**, [S.l.], v. 44, n. 1 p 2232-2242, 2010a.