



9505 - ANÁLISE DO CICLO DE VIDA: UMA REVISÃO CRÍTICA SOBRE A METODOLOGIA SIMPLIFICADA

Renata Saviato Dias⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental. Mestranda na Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Cândida Fachinetti Paz

Arquiteta e Urbanista. Mestranda na Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Edna Possan

Doutora em Engenharia Civil. Professora permanente no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais na Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Endereço⁽¹⁾: Rua David Cordeiro, 618 - Jardim Panorama - Foz do Iguaçu - Paraná - CEP: 85856-575 - Brasil
- Tel: +55 (45) 3027-4907 - e-mail: renatasaviato@gmail.com.

RESUMO

A metodologia de Análise de Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica que avalia impactos ambientais provenientes de processos de produção, analisando desde a matéria-prima, o produto até sua disposição final. Contudo, sua aplicação torna-se onerosa em recursos financeiros e humanos, além de demandar prazos extensos para sua consecução. A metodologia de ACV Simplificada apresenta vantagens em relação a tais pontos críticos, sendo objeto deste estudo, o qual mediante pesquisa exploratória analisou aspectos da ACV Simplificada a fim de subsidiar inferências e considerações sobre sua metodologia e aplicabilidade. A revisão literária abrangeu periódicos e artigos científicos nacionais e internacionais obtidos em bases de dados entre 2001 a 2018 em filtros específicos. A revisão bibliográfica subsidiou a descrição de ambas as metodologias e a diferenciação das aplicações nos referenciais identificados. Atenta-se que, em ambas as metodologias, todas as etapas do processo interferem nos resultados, sendo que a redução de operações pode gerar resultados errôneos. Os trabalhos referenciados concluem que, apesar da ausência de padronização para as metodologias simplificadas e escassez de bases de dados regionais e estudos práticos, a ACV simplificada deve ser utilizada, reconhecido seu propósito de agilidade e economia, contudo compreendendo que seus resultados não refletem a complexidade total de um ciclo de vida.

PALAVRAS-CHAVE: ACV, Sistemas produtivos, Impactos ambientais.

INTRODUÇÃO

O esclarecimento sobre impactos ambientais antrópicos e a significativa conscientização de consumidores ocasionam o pleito quanto à proteção ambiental e demandam iminente redução e minimização de tais danos (ABNT, 2009). Para além do âmbito social ambientalista, as preocupações com a sustentabilidade em sistemas produtivos e operacionais abarcam gradativamente indústrias e empreendimentos no intuito de economicidade e lucratividade e de preservação da natureza (ALVARENGA; QUEIROZ; RENOFIO, 2012). A premência de alinhamento entre as ações antrópicas e seus impactos com o ritmo natural dos ecossistemas torna-se evidente na análise global de comportamento dos fenômenos naturais, temperatura dos oceanos, poluição atmosférica e as consequências como desastres naturais amplificados, aquecimento global e mudanças climáticas, lesões à camada de ozônio, entre outros malefícios gerados pelo desequilíbrio nesta relação (MARCAL *et al.*, 2013).

Partindo do pressuposto de que setores públicos e privados objetivam pela sustentabilidade, sejam em variados âmbitos, mas também no ambiental, cria-se a necessidade de roteirização para tal consecução. A aferição e análise em um processo produtivo, desde a obtenção de sua matéria-prima até a entrega de seu produto final, agrega à viabilidade do processo benefícios quer sejam ambientais, sociais ou econômicos (HINZ; VALENTINA; FRANCO, 2008). A caracterização de fatores como demanda energética, resíduos, emissões, dentre outros, e as análises quali-quantitativa da cadeia permitem avaliar a eficiência da rota tecnológica, do processo produtivo em si e seu resultado. É então a partir desta análise que se propõem mudanças para alcance de objetivos da sustentabilidade principalmente às empresas, alvo de tais expectativas.

Especificamente quanto aos impactos ambientais, tais análises auxiliam ainda na tomada de decisão e implantação de mudanças e, na esfera pública, apoiando a definição ou aperfeiçoamento de políticas públicas



(LOISEAU *et al.*, 2018). A partir do detalhamento das etapas, insumos e saídas, propõem-se ações mitigadoras ou alternativas para os processos produtivos, equilibrando questões de limitação ambiental sob a econômica. Técnicas como de produção mais limpa, reciclagem e reutilização de resíduos ou subprodutos redefinem a “produtividade”, inserindo em seu conceito termos como redução, reaproveitamento e ainda a preservação ambiental (SANTOS *et al.*, 2011).

No entanto, apesar de pesquisadas e reconhecidas, tais técnicas ambientalistas apresentam ainda discretas aplicações na escala real, ainda que agreguem economicamente a médio e longo prazo. Desconhecimento ou escassez de dados do processo, dificuldades na definição de alternativas, ações imediatistas e barreiras organizacionais, culturais, técnicas e até mesmo econômicas são ainda causas de tal insuficiência de dados (HINZ; VALENTINA; FRANCO, 2008).

Neste contexto de carência pela caracterização do negócio e a preocupação ambiental, apresenta-se a metodologia de Análise de Ciclo de Vida (ACV) que permite a avaliação da cadeia produtiva desde a obtenção da matéria-prima para a concepção de seu projeto, a implantação e operação até o produto e sua disposição final mensurando seus impactos negativos ao meio ambiente (LIMA; ROMEIRO FILHO, 2001). Mediante seus resultados, prognostica-se o cenário futuro e propõem-se ações de melhoria na produção, podendo proporcionar vantagem competitiva dos produtos aliada à preservação ambiental (CLAUDINO; TALAMINI, 2012).

Assim, considerando a prerrogativa de sua finalidade, este estudo objetiva analisar a conjuntura da ACV Simplificada no intuito de subsidiar inferências e considerações sobre a metodologia e sua aplicabilidade. Tal amparo oferece aos interessados na Análise de Ciclo de Vida um esclarecimento sobre qual modalidade optar, visto o método completo requerer longo prazo, robustez de dados e quadro técnico especializado, frente a modelos simplificados ou modulares que eventualmente atendem à sua demanda (ALVARENGA; QUEIROZ; RENOFIO, 2012). A NBR ISO 14.040 (ABNT, 2001) reforça sobre a importância de discussão do tema no intuito de obtenção de conhecimentos práticos e adequada interpretação e aplicação da metodologia, justificando este estudo.

METODOLOGIA DA REVISÃO

De caráter teórico, este artigo é composto de uma revisão literária, desenvolvida entre fevereiro a maio de 2018, de estudos dirigidos ao tema da Análise de Ciclo de Vida a fim de identificar qual a metodologia utilizada em cada caso para exemplificação e de sua melhor compreensão. Estudos de casos envolvendo análises ambientais e conhecimentos próprios das autoras fundamentam ainda a discussão apresentada.

Caracterizada como pesquisa exploratória, a coleta de informações e dados foi realizada por meio de análise bibliográfica a partir de periódicos e artigos científicos obtidos por consultas nas bases de dados Periódicos da Capes, Universidade de São Paulo (USP), Mendeley, Science Direct e Scielo datados entre 2001 a 2018 dentre um conjunto de filtros aplicados na pesquisa por fontes. Foram utilizadas terminologias em português e inglês a fim de amplificar a abrangência da revisão e, objetivamente, da análise do tema. As palavras-chave utilizadas foram ACV, análise do ciclo de vida, ACV modular, ACV simplificada, *LCA*, *life cycle assessment*, *simplified LCA*, modular LCA com filtros de *cleaner production*, *resources*, *conservation and recycling*. Os principais periódicos utilizados foram: *Journal of Cleaner Production*, *Revista Espacios*, *Construction and Building Materials*. Após esta busca foi possível identificar os artigos que discutiram e aplicaram a ACV em seu contexto e em seguida referenciam-na em sua metodologia.

A revisão bibliográfica subsidiou a realização da discussão e análise frente aos resultados encontrados nos casos em estudo e auxiliou a progressão no conhecimento do tema. A compreensão dos principais fatores de definição das Análises de Ciclo de Vida e as diferentes metodologias de aplicação empregadas nos referenciais identificados possibilitam a replicação da ACV para outras pesquisas.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta pesquisa teórica apresentada sistematicamente às literaturas caracterizadas conforme sua fonte, os critérios adotados no estudo, o método, os resultados obtidos e suas considerações quanto às aplicações. A partir de tais descritivos, almejou-se contextualizar a Análise de Ciclo de Vida, sua tipificação e seus empregos para então subsidiar inferências e considerações sobre o tema. Previamente, define-se a ACV e apresenta-se



uma clara descrição da metodologia conforme referências deste artigo. Foram analisados 23 artigos sendo que destes, 16 aplicam a metodologia a estudo de caso e 7 artigos referenciam bibliograficamente a metodologia.

Análise de Ciclo de Vida Tradicional

Originalmente, a crise do petróleo ocorrida entre as décadas de 60 e 70 despertaram principalmente nas indústrias a atenção sobre questões ambientais e a necessidade de avaliação de impactos de seus produtos (FABRÍCIO; SILVA; SANTIAGO, 2017). Assim, a metodologia de ACV foi sendo criada e desenvolvida e, em 1997, a *International Organization for Standardization* (ISO) emitiu sua padronização por meio da ISO 14040. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) regulamentou tal orientação em 2001 definindo a família da NBR ISO 14.000 na qual a NBR 14.040 define a Gestão Ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e estrutura. Métodos complementares são fornecidos pelas normas ISO 14.041, 14.042 e 14.043.

A ACV é uma técnica que possibilita a avaliação e compreensão dos impactos potenciais agregados a um material durante todo seu processo de produção, consumo e destinação final, a fim da redução das consequências negativas ao meio ambiente (ABNT, 2009; ISO, 2006). Muito utilizada na comparação de materiais e avaliação de processos, a Análise permite que empresas identifiquem os prós e contras ao longo do ciclo de vida do produto, como ferramenta de gestão auxiliando a tomada de decisão quanto a seus processos e produtos (WILLERS; RODRIGUES; SILVA, 2013).

O estudo abrange a extração ou aquisição de matérias-primas, o processamento, a manufatura, o transporte e a distribuição do produto e, ainda em seu ciclo, o uso e reuso, a manutenção, a reciclagem e o gerenciamento de seus resíduos (LIMA; ROMEIRO FILHO, 2001). Tais itens são organizados em quatro fases de aplicação: definição de objetivo e escopo do estudo; análise de inventário onde é realizada a coleta de dados; a avaliação dos impactos indicados pelo inventário e a interpretação de resultados, visando fornecer às partes interessadas as conclusões e as recomendações identificadas durante o estudo conforme esquematizadas na Figura 1 (MENDES; BUENO; OMETTO, 2013).

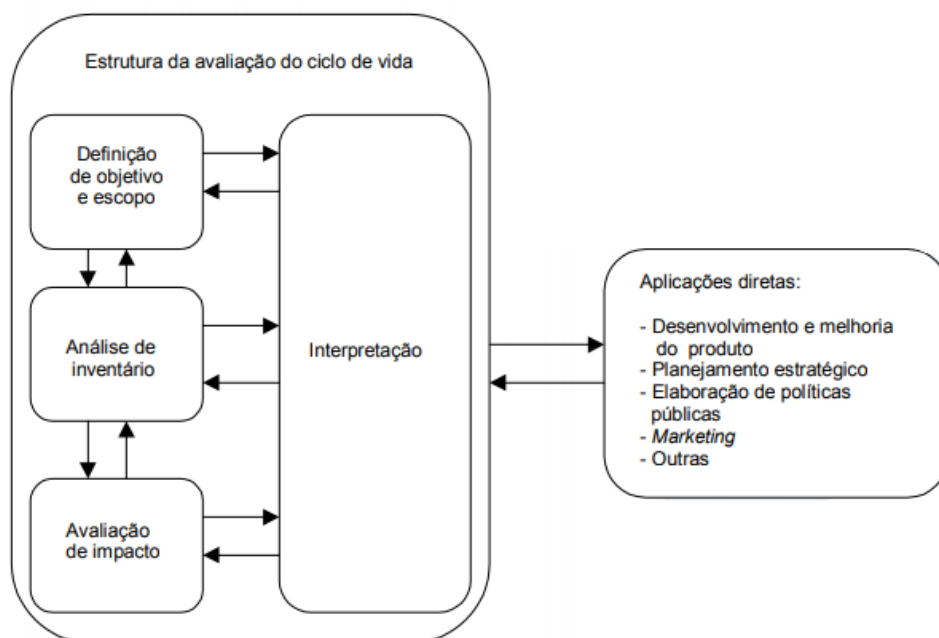


Figura 1: Fases da Análise do Ciclo de Vida.

Fonte: ABNT, 2009.

Desta forma, a ACV viabiliza às empresas o controle no desenvolvimento de suas atividades que assim o fazem, por vezes, no intuito de diferencial competitivo para sua organização (MARCAL *et al.*, 2013). Contudo, apesar das vantagens obtidas e da padronização conferir eficácia à metodologia da ACV, há o discernimento de ser uma metodologia complexa e onerosa (MIRANDA; YUBA, 2016). A grande exigência por dados, sejam do produto ou do processo, o período de tempo necessário e equipe técnica especializada e



capacitada são as principais adversidades dispendiosas da ACV tradicional, além de escassez nos dados e indicadores ambientais, na apresentação clarificada dos resultados, na simplificação e na modelagem da ACV para outros objetos (BRIBIÁN; USÓN; SCARPELLINI, 2009).

Pela premência por dados, as soluções de busca em protocolos globais referenciais apresentam possibilidades de complementação à pesquisa, contudo ainda geram questionamentos quanto, por exemplo, a mensuração de impactos em diferentes estágios do ciclo de vida em análise (TINGLEY, DAVISON, 2012). Isto ocorre porque na concepção da metodologia, a ACV desenvolveu-se para análise da poluição ambiental global, sem considerar o importante quesito espacial da localidade e, por isso, as fases de inventário e análise de impacto de ciclo de vida (AICV) estariam imprecisas gerando conclusões aparentes (PATOULLARD *et al.*, 2017). Considerando então tais limitações, a adoção de estudos simplificados de ACV visam responder objetivos e escopos mais sucintos de uma avaliação ambiental obtendo resultados tão consideráveis quanto a ACV tradicional, desviando de forma controlada de tais impactos negativos (RENOFIO *et al.*, 2012).

Análise de Ciclo de Vida Simplificada

A ACV tradicional e também seu formato simplificado podem ser trabalhados de forma qualitativa, semiquantitativa ou quantitativa que inclui a criação do inventário de dados sendo esta sua versão completa. Assim, o que as diferem é o nível de suporte à tomada de decisão que cresce respectivamente a estes três níveis baseados na qualidade e quantidade das informações trabalhadas (HOCHSCHORNER; FINNVEDEN, 2003). A avaliação simplificada é então capaz de responder a objetivos ambientais referentes a todo o ciclo de vida do produto analisado ou a partes deste ciclo, porém, sem uma ampla profundidade. Quanto às quatro fases da ACV apresentadas pela NBR 14.040, a simplificação na análise retoma o sentido do grau de minúcia que será desenvolvida cada etapa, contudo considera o desenvolvimento de todas as etapas.

Encontrada em inglês nos termos de *streamlined* e *simplified*, há autores que afirmam ser a versão simplificada capaz de atingir todas as funcionalidades da ACV, com a vantagem de custos mais baixos para obtenção e análise de dados e resultados analíticos confiáveis (WU *et al.*, 2015). Outra vantagem é a facilidade de criação de matrizes específicas para segmentos distintos em menor tempo, ou seja, com respostas mais rápidas e com maior facilidade de compreensão e comunicação dos resultados que abarcam a avaliação ambiental e a identificação dos impactos (CICLOG, 2018). Além destas, a utilização e compreensão facilitadas e a aplicabilidade em diferentes contextos geográficos são descritas como benefícios da metodologia simplificada (BECALLI *et al.*, 2016). Contudo, apesar de fornecerem resultados de forma menos onerosa, destaca-se que para a utilização de métodos simplificados para análise de ciclo de vida deve-se atentar a quais resultados são esperados e quais níveis de informações podem ser geradas (HOCHSCHORNER; FINNVEDEN, 2003).

As principais aplicações da metodologia simplificada são para desenvolvimento e aquisição de produtos específicos, contudo nota-se que estes procedimentos são ainda pouco relatados ou registrados (HOCHSCHORNER; FINNVEDEN, 2003). No segmento específico da construção civil são encontradas variedades desta simplificação como a ACV modular de escopo reduzido contemplando aspectos básicos e mínimos como água, energia, matérias-primas, resíduos e CO₂ (MIRANDA; YUBA, 2016). Focalizada em aspectos mais relevantes, conduz a um levantamento de menor complexidade e desvinculado de atribuições de pesos, permitindo assim a vantagem de compreensão geral dos impactos (CBCS, 2014). Outros exemplos de aplicações são na análise comparativa de sistemas de energia térmica solar e de convencionais (BECALLI *et al.*, 2016), de carros elétricos e de combustão (HOCHSCHORNER; FINNVEDEN, 2003), certificação energética (BRIBIÁN; USÓN; SCARPELLINI, 2009), para análise dos resíduos de construção civil (WU *et al.*, 2015), na investigação de reutilização de materiais e na utilização de produtos mais recicláveis (TINGLEY, DAVISON, 2012), uma mudança residencial (VACULIKOVA *et al.*, 2014), entre outras possibilidades de aplicação.

Para Hochschorner e Finnveden (2003), a opção pela ACV reduzida carece de um equilíbrio entre a simplificação e o tipo de resultado almejado, afirmando a inexistência de um modelo preferível para resultados de todos os materiais e processos. Assim, para escolha da simplificação, deve-se analisar o campo de aplicação, o resultado esperado, os tipos de dados e identificar se é mais relevante ao estudo excluir uma dimensão ou aplicar metodologia conforme disponibilidade de dados.

Desta forma, a simplificação da metodologia tradicional de ACV objetiva tornar menos complexo o estudo com igual necessidade de caracterização e descrição do método, todavia ainda não atendendo plenamente às



especificações da ABNT e série ISO relacionadas ao tema (ALVARENGA; QUEIROZ; RENOFIO, 2012). Além disso, de acordo com Hochschorner & Finnveden (2003), os trabalhos realizados utilizando este método podem vir a complementar ACV completas com dados semi-quantitativos e qualitativos já definidos.

Estudos correlatos de ACV Simplificada

Este item dedica-se a apresentação de estudos convergentes ao tema na aplicação da metodologia da ACV simplificada e suas considerações e também em outros estudos de revisão literária. O intuito é permitir, por meio das experiências de outrem, subsidiar a discussão proposta neste artigo sobre a metodologia simplificada, os impactos analisados, limitações, vantagens obtidas, entre outros aspectos e ainda reconhecer o que há de conteúdos descritos em artigos e outros documentos referenciados sobre o tema.

WU *et al.* (2015) realizaram a aplicação da metodologia quantitativa simplificada de ACV, classificada por eles como sensata, confiável e flexível, a fim de mapear as emissões de gases de efeito estufa durante todo o ciclo de vida dos resíduos de construção. O estudo apresentou um modelo aplicado em um cenário com três bases de análises distintas e permitiu constatar que a minimização da geração confere maiores benefícios ambientais ao processo. Deste modo, verifica-se que metodologia simplificada está apta como ferramenta gerencial de materiais e processos, servindo como indicativo de tomada de ação. Igualmente, Becalli *et al.* (2016) propuseram uma ferramenta simplificada de ACV em formato de planilha eletrônica para cálculo dos impactos energéticos e ambientais de sistemas de energia térmica solar e de convencionais. A partir dos resultados obtidos os autores puderam concluir que os impactos na fabricação e na disposição ao final de seu ciclo são contrabalanceados pela energia economizada e nas emissões evitadas durante sua operação, contudo indicam haver limitações do modelo simplificado.

No estudo de Bribián, Usón e Scarpellini (2009), relaciona-se a ACV simplificada com a certificação energética, pois sua abordagem possibilita comparações globais entre a energia incorporada e emissões dos materiais na construção e na fase de uso. Além disso, os autores discutem que a simplificação pode solucionar pressupostos de arquitetos e engenheiros sobre a complexidade da ACV tradicional e favorece sua compreensão e aplicação de resultados. Hochschorner e Finnveden (2003) esclarecem sobre a aplicação da metodologia e suas peculiaridades. O estudo comparou dois métodos simplificados e elencou como critérios importantes o campo de aplicação e os resultados esperados. Assim, as metodologias avaliadas permitiram concluir sobre deficiências na abrangência de todo o ciclo de vida e ainda a ausência de dados, contudo são meios para abordagem qualitativa de dados e geração de informação complementar a ACV tradicional. Os autores recomendam que sua utilização seja conjunta a ACV completa como pré-estudo ou como interpretação simplificada complementar e assumem que a ACV quantitativa fornece resultados mais confiáveis.

Comentam ainda sobre a relação entre a simplificação e a negligência de etapas fundamentais da ACV - definição de objetivo e escopo do estudo; análise de inventário e coleta de dados; avaliação dos impactos indicados pelo inventário; e a interpretação de resultados (ABNT, 2009). Marcal *et al.* (2013) desenvolveram um estudo com base na ACV tradicional e concluíram que, para a obtenção de resultados confiáveis, é necessário aplicar as quatro fases da metodologia. Isto é, ainda que a proposição de uma metodologia de análise ciclo de vida seja simplificada e então menos complexa, é necessário que esta desenvolva todas as etapas de estudo assim como a ACV tradicional. Em concordância, Tingley e Davison (2012), para analisar a utilização de materiais recicláveis ou aqueles projetados para serem mais recicláveis, desenvolveram uma metodologia de quantificação de impactos e criaram o software Sakura incorporando-a. O estudo abordou a ACV simplificada, mas em seu formato completo, ou seja, com as quatro etapas que incluíram a especificação do material (extração, processamento, fabricação e transporte), construção, manutenção e reparo, demolição ou desconstrução para então os três cenários de fim de vida: reutilização, reciclagem e aterro.

Reconhecidas por fornecerem resultados de qualidade semelhante às de avaliações abrangentes e com menos esforço, as simplificações entretanto negligenciam certos materiais e processos. Kellenberger e Althaus (2009) analisaram a relevância de componentes da construção civil em diferentes níveis de simplificação de ACV desde a tradicional até a mais enxuta, em categorias de transportes, materiais auxiliares, a construção e seus resíduos. Os autores concluem que há uma variação de 15 a 30% entre as modalidades tradicional e a simplificada, gerada principalmente pelo impacto do transporte e materiais auxiliares, enquanto a construção e redução de resíduos podem ser omitidos. Assim, nota-se que simplificações podem resultar em base confiável de informação sobre impactos ambientais agregados a cadeia, contudo devem ser fundamentadas quanto às categorias omitidas.



Vaculikova *et al.* (2014) compararam as metodologias tradicional e simplificada de ACV em um estudo de mudança de domicílio com demolição, propondo dois cenários de construção: somente novos materiais; e com reutilização de materiais. Os resultados indicaram que a reutilização não influenciou fortemente na ACV e sugere-se estudo com reforma, sem demolição. Já na comparação dos métodos, os autores destacam a importância da inclusão de todos os estágios do ciclo de vida, o que retoma a análise de negligência da simplificação, condicionam resultados de boa qualidade à quantidade de dados obtidos e evidenciam maiores valores à ACV completa.

Ainda que seja um problema relatado na aplicação do modelo tradicional de ACV, autores comentam sobre a falta de base de dados e informações para a versão simplificada, quantidade e qualidade no quesito nacional. Willers, Rodrigues e Silva (2013) realizaram uma pesquisa investigatória sobre o progresso dos estudos da ACV nas principais bases científicas nacionais, onde obtiveram 80 artigos de 50 instituições identificadas. Destes, 63 artigos restringem-se a uma discussão conceitual da ACV, sem utilização efetiva da metodologia, e dos 17 restantes, 11 utilizaram na avaliação do processo produtivo e 6 na comparação de materiais ou processos, destacando que 65% desses foram publicados entre 2007 e 2010. Os autores concluem que o cenário brasileiro sobre ACV carece ainda de avanços, destacando a importância da difusão do tema e a criação da base de dados brasileira.

Renofio, Queiroz e Alvarenga (2012) realizaram estudo análogo, mas referentes a estudo de ACV simplificadas. Mediante de um levantamento bibliográfico no período entre 2007 a 2011, obteve-se 5 artigos nacionais e 14 publicações internacionais com a metodologia simplificada, destacando ainda que há número expressivo maior para trabalhos com ACV tradicionais. A partir da análise destes referenciais, identificou-se que a ACV simplificada é associada ao suporte à metodologia tradicional que demandam de muitos dados e mesmo softwares. Do estudo dos autores, pode-se inferir que há a necessidade de maior produção científica sobre o método simplificado, considerando sua fundamentação e a devida descrição e publicação do relato.

Novamente da pesquisa de Becalli *et al.* (2016), comenta-se a inexistência de dados de energia e meio ambiente, em literaturas científicas e base de dados ambientais, para alguns componentes do sistema solar estudado pelos autores e que compromete o cálculo da ACV. Contudo, a pesquisa teve caráter semi quantitativo ou qualitativo e, assim, o objetivo dos autores não era criar uma nova base de dados e, por isso, indicam em suas conclusões que os valores faltantes devem ser criados.

Relativos a estes casos, são apresentados a seguir dois estudos: um desenvolvendo apenas uma etapa da ACV tradicional, a Análise de Impacto de Ciclo de Vida (AICV); e a seguinte relatando a aplicação da ACV modular, um método simplificado para análise específica da construção civil que incorpora em seus impactos apenas quesitos de emissões, água, energia, resíduos e recursos naturais.

Mendes, Bueno e Ometto (2013) realizaram um estudo sobre a terceira etapa do ACV tradicional, a Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV), e concluem ressaltando o vazio de métodos de quantificação de impactos para as características brasileiras. Os autores ainda complementam citando que há grande variabilidade de um método para outro, gerando interferência nos resultados da AICV e da ACV no contexto amplo. Tal conclusão demonstra que, para além das dificuldades de execução da ACV tradicional, a metodologia de desenvolvimento de suas quatro etapas carecem ainda de desenvolvimento científico com especificidade para o Brasil.

Miranda e Yuba (2016) realizaram estudo sobre materiais para construção de paredes, comparando por meio da metodologia de ACV modular (ACV-m) os seguintes: taipa mecanizada, blocos cerâmicos, de concreto e concreto moldado in loco. A parede de taipa apresenta menores emissões, menor energia incorporada e assim menor impacto, contudo encontra-se empatada com o bloco cerâmico, pois a ACV-m não atribui pesos para os impactos, dificultando um ranqueamento. Apesar então de não possibilitar tal comparação de produtos, os autores justificam ser uma metodologia recente e que carece ainda de aprimoramentos, contudo apresenta boa caracterização descritiva geral dos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida. E concluem citando para definição dos impactos reais, a ampliação de escopo e o detalhamento de cada produto são necessários.



Tabela 1: Resumo descritivo do método de ACV simplificada.

Metodologia	Descrição	Vantagens	Desvantagens	Aplicação
ACV simplificada	Avalia as entradas, saídas e os impactos ambientais do produto desde a matéria-prima até sua disposição final. Utiliza o objetivo e o escopo de uma forma simplificada.	• Resultados rápidos; • Menos recursos financeiros; • Equipe técnica reduzida; • Fácil aplicação; • Resultados objetivos.	• É pontual, ou seja, com objetivo específico e sucinto; • Não há base de dados regionais; • Necessita de complementação por meio de outras ACV.	• Construção Civil; • Agroindústrias; • Resíduos; • Eficiência energética; • Indústria farmacêutica.

DISCUSSÕES

A partir da revisão e avaliação da literatura consultada, nota-se que o método simplificado de Análise de Ciclo de Vida é recente nos quesitos experimentais e documentais. Atenta-se também às formas e métodos utilizados para este formato simplificado que, ainda que baseado na ACV tradicional e suas premissas tem seu desenvolvimento diversificado por cada autor. Alguns artigos comentam sobre a fundamentação desta modalidade menos complexa, suas formas de simplificação e orientam quanto às negligências ocorridas. Citando ser uma questão de equilíbrio, o principal relato sobre esta definição infere que se deve atentar ao resultado almejado e os dados disponíveis para estipular a metodologia reduzida a ser utilizada.

Em relação à tradicional, alguns autores julgam impossível o alcance pleno a análise ambiental teoricamente descrita como definição de ACV. Isto porque tanto a escassez de dados e bases, a ausência de referenciais locais e questões espaciais não consideradas pela metodologia influenciam no seu cálculo final. Contudo, é possível verificar que a ACV tradicional apresenta dados mais confiáveis e realista da cadeia ou produto em relação a simplificada. Destaca-se ainda que o principal fator de retração da ACV simplificada é também a ausência de dados, revelando a premência por tais.

Associa-se então a falta de dados às questões reveladas na revisão, sendo a exígua produção científica e divulgação do método simplificado utilizado e seus resultados que, por consequência, escasseiam o conhecimento sobre a representatividade da ACV simplificada. Ocorre ainda a obtenção de dados em fontes internacionais para aplicações no Brasil, o que também interfere na qualidade do resultado da ACV, que carecem de banco de dados nacional com informações locais. Para solucionar tal insuficiência, destacam-se vias como eventos e mesas de discussões abordando o tema, promoção de palestras e cursos em meios corporativos, proposição de um período para a temática ou reforço a algum existente, entre outras ações na academia e nas cadeias de negócios.

A Análise de Ciclo de Vida simplificada retoma então os conceitos das normativas ISO e da ABNT no Brasil, contudo não os segue fielmente. Deve-se atentar que a redução de operações não seja imprudente, a fim de não gerar resultados omissos ou errôneos, e que igualmente a tradicional, todas as etapas sejam perpassadas. Ainda que o método não retrata precisamente a complexidade da análise e o impacto ambiental integral, é uma ferramenta útil à atores tomadores de decisões tanto na gestão quanto no gerenciamento de suas atividades, pois retrata com clareza os impactos gerados ao longo do ciclo e de cada atividade, assim definidos. Não obstante, deve-se considerar ainda que a análise ambiental de impactos deve ser associada à outras perspectivas de um negócio, como os aspectos econômicos e o financeiros do negócio.

Quanto suas áreas de aplicação, verifica-se em artigos ou referenciadas a construção civil com maior volume, seguida por agroindústria, resíduos, setor de energia, unidades de preservação ambiental, petróleo e usinas de combustíveis, motores elétricos e convencionais, entre outros encontrados. O desenvolvimento e aplicação do tema são utilizados tanto pela academia, quanto por indústrias e nestas aplicações, os objetivos se diferem e possibilitam combinações vantajosas. A academia, por seu intuito de produção científica, atua por vezes em etapas específicas da ACV descrita pela ABNT, realizando estudos de inventário ou somente de análise de impacto do ciclo de vida. Tal quebra é bem vinda em casos que o objetivo final não seja o resultado global da



ACV, mas sim de uma única etapa bem desenvolvida. Já à indústria, o interesse é o resultado completo e cabe neste cenário, a aplicação de estudos simplificados de ACV.

Ainda que careça de avanços em sua metodologia e estudos práticos, a ACV simplificada deve ser utilizada reconhecido seu propósito de agilidade em tempo, de economia de recursos financeiros e de equipe apta a fim de uma caracterização dos impactos ambientais agregados ao ciclo de vida dos produtos e processos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Confirma-se que a Análise de Ciclo de Vida em sua metodologia simplificada desonera financeiramente e confere agilidade ao estudo, contudo seus objetivos e respostas almejadas devem ser criteriosamente estudados na definição metodológica. Em atualização às literaturas, recomenda-se e incentiva-se o desenvolvimento de documentos teóricos e práticos da ACV simplificada, com divulgação efetiva a fim da pactuação do conhecimento, geração de base de dados nacional e sua concretização como instrumento para análise do potencial de impacto ambiental à empresas, indústrias, etc. A partir do método, estratégias de prevenção, controle ou de mitigação de danos são agregados ao processo e garantem ainda um apelo verde aos produtos, incluindo-se na sustentabilidade da cadeia e também aspectos pontuais.

Observou-se também, que a aplicação da ACV simplificada tem maior eficiência e confiabilidade quando as quatro fases propostas pela NBR são aplicadas ainda que com menor complexidade. A criação de novos modelos de ACV simplificados para áreas específicas, assim como a ACV modular desenvolvida para o setor da construção civil, é uma proposta a ser considerada para que esta avaliação tenha maior efetividade e possibilite análises específicas para cada setor envolvendo impactos de interesses independentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma NBR ISO 14040 – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura. São Paulo, SP. 21 p. 2009.
2. ALVARENGA, R. P.; QUEIROZ, T. R.; RENOFIO, A. Avaliação do ciclo de vida simplificada: um levantamento bibliográfico sobre as mais recentes publicações nacionais e internacionais. IN: XXXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 15 a 18 de outubro de 2012, Bento Gonçalves/RS - Brasil.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (2009). NBR ISO 14040 - Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Estrutura. Rio de Janeiro.
4. BECCALI, M.; CELLURA, M.; LONGO, S.; MUGNIER, D. *A simplified LCA tool for solar heating and cooling systems*. *Energy Procedia*, v. 91, p. 317-324, 2016.
5. BRASIL, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Dispõe sobre a Aprovação do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida e dá outras providências (Resolução no 04, de 15 de dezembro de 2010). Acesso em 11 de abril de 2018, de <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/resc/pdf/RESC000236.pdf>.
6. 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.
7. CBCS. Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. Sustentabilidade na indústria de blocos e pavimento de concreto. Avaliação de Ciclo de Vida Modular. CBCS, São Paulo, 2014.
8. CICLOG. GRUPO DE PESQUISA EM AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA. Outras Abordagens. Disponível em: http://www.ciclodevida.ufsc.br/acv_outras_abordagens.php. Acesso em 16 de abril de 2018.
9. CLAUDINO, E. S.; TALAMINI, E. Análise do ciclo de vida (ACV) aplicada ao agronegócio: uma revisão de literatura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande. Vol. 17, n. 1 (2012), p.[77]-85, 2012.
10. FABRÍCIO, T. N. R.; SILVA, A. C.; SANTIAGO, N. A. Avaliação do Ciclo de Vida do Gesso Utilizando o Software SimaPro®. *Espacios*, v. 38, n. 16, p. 17. 2017.
11. HINZ, R. T. P.; VALENTINA, L. V. D.; FRANCO, A. C. Monitorando o desempenho ambiental das organizações através da produção mais limpa ou pela avaliação do ciclo de vida. *Revista Produção Online*, v. 7, n. 3, 2008.



12. HOCHSCHORNER, E. ; FINNVEDEN, G. *Evaluation of Two Simplified Life Cycle Assessment Methods. The International Journal of Life Cycle Assessment*. Vol.8,n.3,p-119-128, 2003.
13. ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 14040: Life cycle assessment. principles and framework*. 2006. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/37456.html>>. Acessado em: 13 de abril de 2018.
14. KELLENBERGER, D.; ALTHAUS, H. *Relevance of simplifications in LCA of building components. Building and Environment*, v. 44, n. 4, p. 818-825, 2009.
15. LIMA, R M. R.; ROMEIRO FILHO, E. A reciclagem de materiais e suas aplicações no desenvolvimento de novos produtos—um estudo de caso. IN: Anais do 3º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento do Produto. Setembro de 2001, Florianópolis/SC - Brasil.
16. LOISEAU, E.; Aissani, L.; FÉON, S.; LAURENT, F.; CERCEAU, J.; SALA, S.; ROUX, P. *Territorial Life Cycle Assessment (LCA): What exactly is it about? A proposal towards using a common terminology and a research agenda. Journal of Cleaner Production*, v. 176, p. 474-485, 2018.
17. MARCAL, L. M.; FRANCISCO, A. C.; LUZ, L. M.; PIEKARSKI, C. M. Fundamentos da Análise do Ciclo de Vida. IN: XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 08 a 11 de outubro de 2013, Salvador/BA - Brasil.
18. MENDES, N. C.; BUENO, C.; OMETTO, A. R. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. *Production*, v. 26, n. 1, 2016.
19. MIRANDA, A. S.; YUBA, A. N. Comparação de impactos ambientais de sistemas construtivos de paredes utilizando avaliação do ciclo de vida modular. IN: Anais do XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído: desafios e perspectivas da internacionalização da construção - ENTAC. 21 a 23 de setembro de 2016, São Paulo/SP- Brasil.
20. PATOUILARD, L.; BULLE, C.; QUERLEU, C.; MAXIME, D.; OSSET, P.; MARGNI, M. *Critical review and practical recommendations to integrate the spatial dimension into life cycle assessment. Journal of Cleaner Production*, 2017.
21. SANTOS, M. F. N.; BATTISTELLE, R. A. G.; HORI, C. Y.; JULIOTI, P. S. Importância da avaliação do ciclo de vida na análise de produtos: possíveis aplicações na construção civil. *Gepros: Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, v. 6, n. 2, p. 57, 2011.
22. TINGLEY, D. D.; DAVISON, B. *Developing an LCA methodology to account for the environmental benefits of design for deconstruction. Building and Environment*, v. 57, p. 387-395, 2012.
23. VACULIKOVA M.; MANCIK, S.; HODKOVA, J.; LUPISEK, A. *Simplified and Detailed Life Cycle Assessment of a Building Replacement with Re-use of Selected Materials. In 2014 WSB14 Barcelona. Barcelona: Green Building Council Espana (GBCe), 2014, p. 1-7.*
24. WILLERS, C. D.; RODRIGUES, L. B.; SILVA, C. A. Avaliação do ciclo de vida no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais. *Production*, v. 23, n. 2, p. 436-447, 2013.
25. WU, H.; DUAN, H.; WANG, J.; WANG, T.; WANG, X. *Quantification of carbon emission of construction waste by using streamlined LCA: a case study of Shenzhen, China. Journal of Material Cycles and Waste Management*, v. 17, n. 4, p. 637-645, 2015.