

Área: Sustentabilidade | Tema: Temas Emergentes em Sustentabilidade

**PRINCÍPIOS E DIRETRIZES DA ANÁLISE DE CICLO DE VIDA: UMA ABORDAGEM PARA A  
BIOECONOMIA**

**PRINCIPLES AND GUIDELINES FOR LIFE CYCLE ASSESSMENT: AN APPROACH FOR  
BIOECONOMY**

Patricia Arrojo Da Silva, Mariany Costa Deprá , Ihana Aguiar Severo, Leila Queiroz Zepka e Eduardo Jacob

Lopes

**RESUMO**

Recentemente, o uso de ferramentas matemáticas, como a metodologia de avaliação do ciclo de vida para processos ecologicamente corretos, com o objetivo de estabelecer sistemas de processos forma eficiente e flexível, tornou-se um desafio ambicioso a ser vencido. No entanto, o custo do ciclo de vida surgiu com uma emergente ferramenta de apoio para bioeconomia sustentável. Diante deste cenário, o objetivo deste trabalho foi elucidar os aspectos fundamentais da aplicação da análise de ciclo de vida concomitante a análise do custo do ciclo de vida, bem como relatar os principais gargalos de suas aplicações.

**Palavras-Chave:** avaliação do ciclo de vida, custo ciclo de vida, sustentabilidade, gestão ambiental, economia.

**ABSTRACT**

Recently, the use of mathematical tools, such as the life cycle assessment methodology for ecologically processes correct, with the goal of establishing efficient and flexible process systems, has become an ambitious challenge to be overcome. However, the cost of the life cycle came with an emerging support tool for sustainable bioeconomics. Given this scenario, the objective of this work was to elucidate the fundamental aspects of the application of the concomitant life cycle analysis to life cycle cost analysis, as well as to report the main bottlenecks of its applications.

**Keywords:** life cycle assessment, life cycle cost, sustainability, environmental management, economics.

**Eixo Temático: Temas Emergentes em Sustentabilidade**

## **PRINCÍPIOS E DIRETRIZES DA ANÁLISE DE CICLO DE VIDA: UMA ABORDAGEM PARA A BIOECONOMIA**

### **PRINCIPLES AND GUIDELINES FOR LIFE CYCLE ASSESSMENT: AN APPROACH FOR BIOECONOMY**

Mariany Costa Deprá, Patrícia Arrojo da Silva, Ihana Aguiar Severo, Leila Queiroz Zepka e Eduardo Jacob Lopes

#### **RESUMO**

Recentemente, o uso de ferramentas matemáticas, como a metodologia de avaliação do ciclo de vida para processos ecologicamente corretos, com o objetivo de estabelecer sistemas de processos forma eficiente e flexível, tornou-se um desafio ambicioso a ser vencido. No entanto, o custo do ciclo de vida surgiu com uma emergente ferramenta de apoio para bioeconomia sustentável. Diante deste cenário, o objetivo deste trabalho foi elucidar os aspectos fundamentais da aplicação da análise de ciclo de vida concomitante a análise do custo do ciclo de vida, bem como relatar os principais gargalos de suas aplicações.

**Palavras-chave:** avaliação do ciclo de vida, custo ciclo de vida, sustentabilidade, gestão ambiental, economia.

#### **ABSTRACT**

Recently, the use of mathematical tools, such as the life cycle assessment methodology for ecologically processes correct, with the goal of establishing efficient and flexible process systems, has become an ambitious challenge to be overcome. However, the cost of the life cycle came with an emerging support tool for sustainable bioeconomics. Given this scenario, the objective of this work was to elucidate the fundamental aspects of the application of the concomitant life cycle analysis to life cycle cost analysis, as well as to report the main bottlenecks of its applications.

**Keywords:** life cycle assessment, life cycle cost, sustainability, environmental management, economics.

## **1 INTRODUÇÃO**

Os substanciais desafios globais referentes as mudanças climáticas, recessões econômicas e o uso de recursos não renováveis, ganhou força nos círculos políticos, industriais e acadêmicos (INGRAO et al., 2016). Como resultado, diversas bases de recursos, infraestrutura, ambientes regulatórios e mercados impulsionaram o desenvolvimento de diversas bioeconomias nacionais e internacionais na busca de uma produção mais limpa e um futuro mais sustentável (DEVANEY & HENCHION, 2018).

Contudo, o princípio do desenvolvimento sustentável é complexo, uma vez que atende a um conjunto de variáveis interdependentes (DAWODU et al., 2018). Apesar disso, é definido por contemplar as necessidades do presente sem comprometer as gerações futuras. Assim, a capacidade de integrar as questões econômicas, ambientais e sociais levou a identificação das três dimensões da sustentabilidade. Esses três pilares têm sido a força motriz de inúmeras gestões voltadas para o enfrentamento das questões que assolam as tomadas de decisões (OPHER et al., 2018).

Diante deste cenário, uma vez que as avaliações de sustentabilidade visam reunir e fornecer informações a fim de facilitar os processos de tomada de decisão, diversas metodologias e sistemas foram propostos e desenvolvidos a fim de avaliar o nível de sustentabilidade dos processos industriais.

Dentre essas metodologias, a Análise de Ciclo de Vida (ACV) surge como uma ferramenta emergente utilizada para quantificar os fluxos de entrada e saída de materiais e energia em toda a cadeia sistêmica de produção (DEPRÁ et al., 2018). Adicionalmente, como uma ferramenta auxiliar, a combinação com a Análise de Custo do Ciclo de Vida (CCV) a qual tem por objetivo realizar a avaliação econômica para manter um sistema ou processo durante toda a sua vida útil, pode ser uma estratégia potencial para a melhora da viabilidade econômica frente a sustentabilidade dos sistemas (BUDZIANOWSKI & POSTAWA, 2016).

Finalmente, com o objetivo de ampliar a base de conhecimento e promover a importância ambiental e econômica de processos industriais, o objetivo deste trabalho foi elucidar os princípios e diretrizes fundamentais da aplicação de uma ACV concomitante a CCV, bem como relatar os principais gargalos de suas aplicações.

## **2 METODOLOGIA**

Uma vez que este trabalho se trata de uma revisão bibliográfica, a metodologia utilizada foi a realização de uma pesquisa exploratória na literatura. Neste sentido, foi elaborado um compacto guia para aplicação das ferramentas de análise de ciclo de vida e custos do ciclo de vida. Entretanto, pode-se também considerar como uma pesquisa documental, visto que segundo Gil (2008), os documentos consultados podem ter um tratamento analítico visando um maior entendimento do tema proposto.

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 ANÁLISE DE CICLO DE VIDA**

Análise de ciclo de vida (ACV) é uma metodologia emergente que avalia o impacto no ambiente de sistemas de produtos considerando múltiplas questões ambientais. A ACV é padronizada de acordo com a série ISO 14040, usando uma estrutura de quatro estágios (ISO, 2006) (Figura 1).

Figura 1- Estágios da análise de ciclo de vida.



Fonte: autores

Primeiramente, o objetivo e definição de escopo tem por finalidade incluir as aplicações pretendidas, as razões para o estudo, o público-alvo e o uso dos resultados. Além disso, nessa etapa também devem ser claramente definidos o sistema limite e a unidade funcional (FINKBEINER et al., 2006). Entretanto, embora essa etapa esteja incluída em todos os artigos analisados, essa seção é altamente variável. Dessa forma, há um substancial consenso entre os pesquisadores da área, ao mencionar esta etapa como a de maior relevância na obtenção de resultados finais com o mínimo de variabilidade e incerteza possíveis (HISCHIER et al., 2017).

Em contrapartida, a análise de inventário tem como objetivo a compilação e quantificação de entradas e saídas para cada processo incluído dentro do limite do sistema. As categorias de avaliação de impacto são escolhidas para ter uma visão geral dos dados do inventário: balanço energético, pegada hídrica, potencial de aquecimento global (Tabela 1).

Tabela 1 - Categorias de quantificação e suas respectivas ferramentas matemáticas nas avaliações de impacto ambiental.

Categorias	Ferramentas matemáticas
Balanço de energia	$NER = \frac{\sum \text{energia produzida}}{\sum \text{energia requerida}}$
Pegada de água	$PA = \sum PA_{\text{azul}} + PA_{\text{verde}} + PA_{\text{cinza}}$
Emissões de gases de efeito estufa	$E = \sum_i M_i \times P_i$

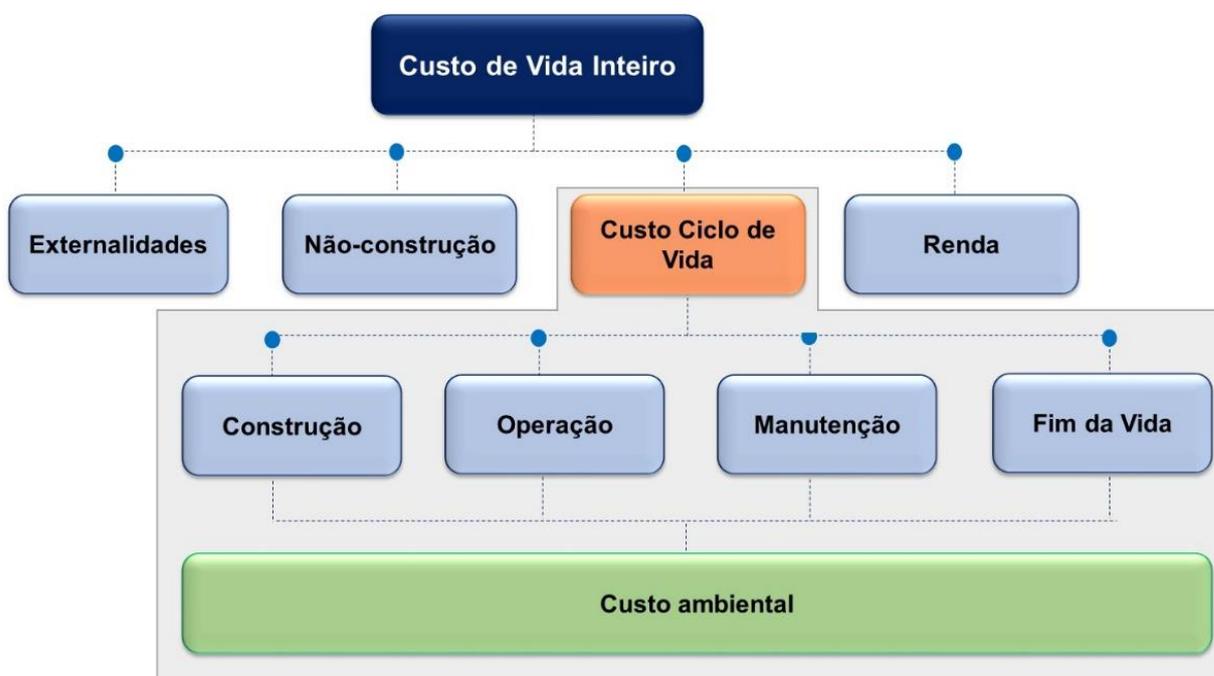
Finalmente, a última e imprescindível etapa é a fase de interpretação. Nesta fase, as análises de inventário e as análises de impacto são avaliadas com o intuito de selecionar os produtos ou processos mais adequadamente sustentáveis, com uma maior clareza e compreensão das incertezas e premissas utilizadas para gerar resultados.

## 2.2 CUSTO DO CICLO DE VIDA

Custo do ciclo de vida (CCL) é uma ferramenta auxiliar da ACV com o intuito de avaliar todos os custos associados ao ciclo de vida de um produto ou processo (BLANCHARD & FABRYCKY, 1990). Ainda, a CCL é apontada como um elo essencial para conectar as preocupações ambientais com as principais estratégias de negócios (HUNKELER et al. 2003).

Dentre suas características estruturais, a CCL apresenta informações semelhantes ao custo total de vida (Figura 2). Portanto, ambas ferramentas levam em consideração componentes como custos de construção, operação, manutenção, fim da vida e o custo ambiental. Em contrapartida, os parâmetros a serem considerados pelos custos totais de vida incluem os custos externos, a não-construção e os custos de receita.

Figura 2- Estrutura da aplicação do custo do ciclo de vida.



Fonte: autores

Adicionalmente, as ferramentas mais comuns para o cálculo do CCL consistem em planilhas usadas para reunir os dados do ciclo de vida em um único documento, por exemplo, NIST, Simple WERF, Harvard e Stanford. Contudo, os equacionamentos básicos podem ser utilizados de uma forma mais manual, e são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Equacionamento básico da ferramenta de custo do ciclo de vida.

Categorias	Equacionamento	Parâmetros
Valor presente do CCL	$PVLCC(t, i, C) = \sum_{t=0}^N \frac{C_t}{(1+i)^t}$	<p><math>C_t</math> = a soma de todos os custos relevantes ano <math>t</math>  <math>N</math> = duração do período de estudo  <math>i</math> = taxa de desconto nominal.</p>

Principais componentes do PVLCC	$PVLCC = IC + PV(OMER + R + F - S)$	IC= Custos de investimento PV=Valor presente, obtido através da taxa de desconto nominal (i); OM & R = Custos de operação, manutenção e reparo; R = custos de reposição; F = Custos de combustível (energia, água); S = Valor residual (revenda).
Taxa de desconto nominal	$i = (1 + r)(1 + I) - 1$	r = taxa de desconto real i = taxa de desconto nominal I = inflação geral de preços

Nesta perspectiva, ao utilizarmos essas ferramentas matemáticas e identificarmos as etapas e analisarmos os resultados gerados, o papel desempenhado pela CCL pode assumir um caráter econômico-sustentável quando em conjunta com a análise de ciclo de vida. Portanto, resultando em um impacto direto na área de capital econômico da proteção ambiental e um efeito indireto na prosperidade econômica (ISO, 2011).

Dessa forma, a avaliação do desempenho ambiental através da aplicação das ferramentas ACV e CCV em diferentes setores das cadeias de valor da bioeconomia torna-se fundamental para facilitar a formulação de políticas sólidas e baseadas em evidências.

Finalmente, principal objetivo dessas abordagens emergentes são identificar os hotspots ambientais, a fim de apoiar a tomada de decisões para melhorar o desempenho ambiental de políticas futuras, proporcionando processos mais economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis.

### 3 CONCLUSÃO

Há um crescente interesse pela aplicação das análises de ciclo de vida e custos de vida. Porém sua complexidade de aplicação na delimitação dos sistemas, ausência de bases de dados e o dissenso quanto à metodologia mais adequada para a realidade sistêmica são fatores que dificultam o uso e a popularização dessa metodologia.

Desta forma, trata-se de uma ferramenta multidisciplinar, pois abrange várias áreas do conhecimento. Também é multicritério, uma vez que ao combinar com a análise de custos de vida, pode ser uma estratégia de aprimoramento para o determinado fim proposto.

Finalmente, embora ainda persistam alguns gargalos de aplicação dessas ferramentas, fica evidente sua eficiência para as tomadas de decisão visando a melhora da viabilidade econômica frente a sustentabilidade dos sistemas de gestão.

### REFERÊNCIAS

BUDZIANOWSKI WM, POSTAWA K. (2016) Total Chain Integration of sustainable biorefinery systems. **Applied Energy** 184: 1432-46.

DAWODU, A., CHESHMEHZANGI, A., AKINWOLEMIWA, B. (2018). The Systematic Selection of Headline Sustainable Indicators for the development of Future Neighbourhood Sustainability Assessment Tools for Africa. **Sustainable Cities and Society**.

DEPRÁ M. C, JACOB-LOPES E, ZEPKA L. Q. (2018) Life Cycle Assessment of Biofuels from Microalgae. In: Jacob-Lopes E, Zepka LQ and Queiroz MI (ed). **Energy from Microalgae**, 1st edn. Springer, Switzerland 141-155.

DEVANEY, L., HENCHION, M. (2018). Consensus, caveats and conditions: International learnings for bioeconomy development. **Journal of Cleaner Production**, 174, 1400-1411.

FINKBEINER, M., INABA, A., TAN, R., CHRISTIANSEN, K., KLÜPPEL, H. J. (2006). The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. **The international journal of life cycle assessment**, 11(2), 80-85.

GIL, A. C. (2008). **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. Editora Atlas SA.

HISCHIER, R., SALIERI, B., PINI, M. (2017). Most important factors of variability and uncertainty in an LCA study of nanomaterials—findings from a case study with nano titanium dioxide. **NanoImpact**, 7, 17-26.

INGRAO, C., BACENETTI, J., BEZAMA, A., BLOK, V., GELDERMANN, J., GOGGIO, P., ZABANIOTOU, A. (2016). Agricultural and forest biomass for food, materials and energy: bio-economy as the cornerstone to cleaner production and more sustainable consumption patterns for accelerating the transition towards equitable, sustainable, post fossil-carbon societies. **Journal of Cleaner Production**, 117, 4-6.

ISO 21929-1, 2011. ISO 21929-1 - **Sustainability in building construction – Sustainability indicators - indicators and a core set of indicators for buildings**. Int. Stand. 2011.

KLOEPFFER, W. (2008). Life cycle sustainability assessment of products. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 13(2), 89.

OPHER, T., FRIEDLER, E., SHAPIRA, A. (2018). Comparative life cycle sustainability assessment of urban water reuse at various centralization scales. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 1-14.

WINDSOR, R., CINELLI, M., COLES, S. R. (2018). Comparison of tools for the sustainability assessment of nanomaterials. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**.