

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia científica utilizada para avaliar os impactos ambientais associados a todas as etapas do ciclo de vida de um produto, processo ou atividade, através da identificação e quantificação dos fluxos de energia e materiais usados além dos resíduos liberados em cada etapa. Uma série de normas ISO (ISO 14040, 2006¹; ISO 14044, 2006²) padronizam procedimentos para a realização de estudos de ACV, incluindo as diretrizes para a definição dos objetivos e escopo, o estabelecimento das unidades funcionais e fronteiras do sistema de avaliação, bem como os critérios para construção dos inventários e procedimentos de alocação dos fluxos e emissões, necessários quando o processo em análise entrega mais de um produto.

Através da seleção de indicadores e técnicas quantitativas, a ACV permite mensurar de forma sistemática os potenciais impactos ambientais dos produtos em vários pontos dos seus ciclos de vida, ajudando a identificar oportunidades para melhorar seus desempenhos ambientais e configurando-se, portanto, numa poderosa ferramenta para planejamento estratégico, definição de prioridades, desenho ou redesenho de produtos ou processos. Estudos de ACV também são necessários em esquemas de rotulagem ecológica e declaração ambiental de produto, sendo uma técnica bastante empregada também para estratégias de comunicação e marketing ambiental.

O primeiro passo de ACV é a **definição dos objetivos e escopo** do estudo. Diversas abrangências podem ser utilizadas na definição das unidades funcionais e das fronteiras do sistema a ser analisado, sendo a mais comum aquela denominada “do berço ao túmulo”, na qual são contabilizados todos os fluxos materiais e energéticos consumidos pelos processos produtivos e emitidos para o meio ambiente, englobando todas as etapas da cadeia produtiva. Para o caso ilustrativo de produtos biorrenováveis, essas etapas compreendem não apenas a produção e o

¹ <https://www.iso.org/standard/37456.html>

² <https://www.iso.org/standard/38498.html>

processamento da biomassa, mas incluem ainda a produção dos insumos necessários – desde a extração de recursos naturais, passando por todas as fases de transporte e transformação – bem como o uso final dos produtos – que no caso de biocombustíveis, por exemplo, compreende a combustão em motores. Dependendo da aplicação pretendida, a definição das fronteiras do sistema, unidades funcionais e profundidade e grau de detalhamento das informações processadas podem variar.

Definidos os objetivos e escopo, o passo seguinte é o levantamento de todas as informações referentes aos consumos de materiais e energia, bem como das emissões para o ar, água e solo, para cada etapa da cadeia produtiva. Essas informações constituem os **inventários do ciclo de vida**. A construção desses inventários normalmente a etapa mais laboriosa dos estudos de ACV.

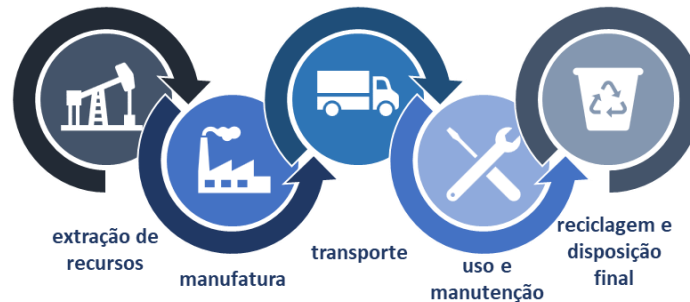
A etapa subsequente é a tradução das informações dos inventários de ciclo de vida em indicadores de impacto ambiental. Diversas **categorias de impacto** relacionadas ao processo podem ser analisadas em um estudo de ACV, e os resultados obtidos dependem do método de avaliação de impacto ambiental utilizado. Essas categorias compreendem impactos globais – como é o caso, por exemplo, das mudanças climáticas, depleção de recursos e da camada de ozônio – e impactos locais – tal como acidificação, eutrofização e emissões de material particulado.

- **Mudanças climáticas:** Emissões de gases que contribuem para o aquecimento global, como o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O)
- **Depleção de recursos:** Está relacionada ao uso e conseqüente esgotamento de recursos não renováveis como carvão, gás natural, petróleo, minério de ferro e urânio, por exemplo.
- **Depleção da camada de ozônio:** Destruição da camada de ozônio provocada por clorofluorcarbonetos, provocando o aumento da incidência de radiação ultravioleta na superfície da Terra.
- **Acidificação:** Mudanças no balanço de acidez do solo e água através da formação de gases ácidos, como os óxidos de enxofre (SO_x) e de nitrogênio (NO_x).
- **Eutrofização:** Mudanças no ciclo de nutrientes no solo e água através do aumento das concentrações de fosfatos e nitratos, que pode provocar uma rápida multiplicação de

algas em corpos hídricos, que ao se decomporem levam à diminuição da oxigenação e consequente mortandade de peixes e outros organismos aquáticos.

- **Emissões de material particulado:** emissões de material sólido micrométrico em suspensão no ar, que pode afetar as vias aéreas e sistemas respiratórios dos organismos.

OBJETIVO, ESCOPO E FRONTEIRAS



INVENTÁRIOS



IMPACTOS AMBIENTAIS



Avaliação do Ciclo de Vida

Biorrenováveis e mudanças climáticas

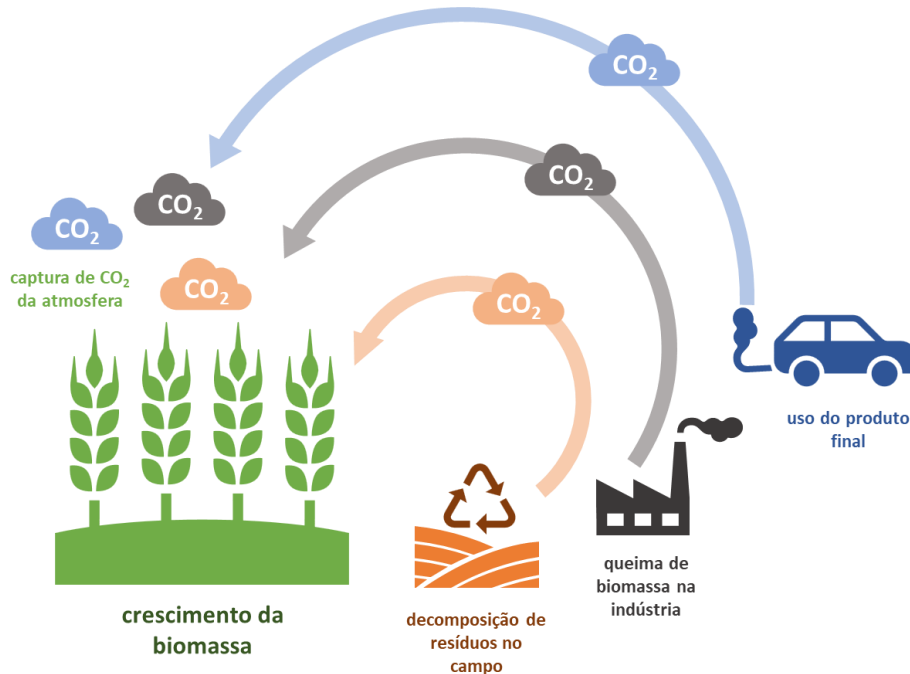
A avaliação de mudanças climáticas (ou aquecimento global) é uma das principais categorias de impacto ambiental levadas em consideração em estudos de ACV, e produtos de origem biorrenovável normalmente apresentam uma grande vantagem em termos das emissões de gases causadores de efeito estufa quando comparados aos

produtos equivalentes de origem fóssil. As mudanças climáticas são geralmente medidas em termos de dióxido de carbono equivalente usando fatores de caracterização de potencial de aquecimento global publicados pelo [Intergovernmental Panel on Climate Change \(IPCC\)](#)³. O aumento das emissões de gases de efeito estufa causa um forçamento radiativo (perturbação no balanço energético do sistema terra-atmosfera) positivo que tende a causar um aumento de temperatura no sistema terrestre. Os efeitos diretos e indiretos deste aumento de temperatura terrestre nos ecossistemas e pessoas vão desde derretimento das calotas polares, mudanças na precipitação de certas regiões, até aumento nos níveis dos oceanos, crescimentos da incidência de certas doenças, inundações e secas levando a desnutrição, entre muitos outros efeitos possíveis.

Estudos de ACV devem levar em conta todas as emissões de gases de efeito estufa que ocorrem em todas as etapas do ciclo de vida, até o uso final dos produtos. Produtos de origem fóssil normalmente apresentam grandes emissões justamente na fase de uso ou disposição final, quando liberam para a atmosfera grandes quantidades de carbono que originalmente estava aprisionado em formações geológicas. Produtos de origem biorrenovável têm a grande vantagem de terem um **ciclo de carbono neutro** nessa fase: o dióxido de carbono retirado da atmosfera durante a produção da biomassa (normalmente denominado carbono biogênico) é devolvido para a atmosfera no uso dos produtos (p.e. na queima do etanol nos motores ou do bagaço nas caldeiras) ou na decomposição dos resíduos agroindustriais no campo. É importante salientar que estudos de ACV devem sempre contabilizar as emissões que ocorrem em todas as etapas do ciclo de vida. Assim, mesmo tendo um ciclo neutro do carbono biogênico, produtos de origem biorrenovável normalmente apresentam um saldo líquido positivo de emissões de gases de efeito estufa devido a ineficiências dos processos e uso de insumos como combustíveis e fertilizantes na cadeia produtiva. Por fim, cabe lembrar que, a não ser que seja retirado **permanentemente** da atmosfera, o carbono utilizado no crescimento da biomassa não causará a redução da

³ <https://www.ipcc.ch/>

concentração desse gás e não deve ser encarado como um impacto positivo *per se*. Eventual vantagem ambiental dos biorrenováveis só aparecerá em uma análise comparativa com produtos de origem fóssil com maiores emissões.



Ciclo do carbono biogênico – emissões neutras de carbono

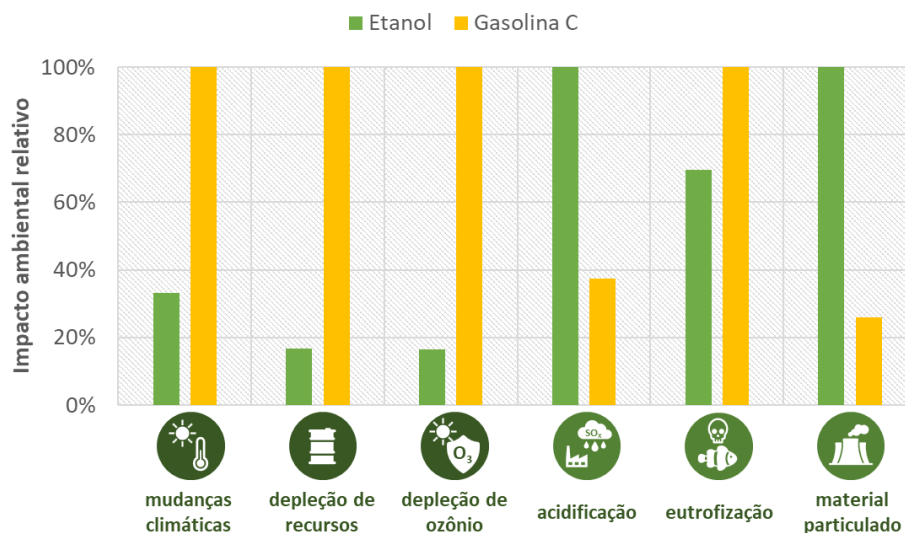
Exemplo de aplicação (comparação etanol e gasolina)

Um exemplo de avaliação comparativa do ciclo de vida do etanol de cana-de-açúcar com a gasolina no Brasil é apresentado por [Cavalett *et al.* \(2013\)](#)⁴. Os resultados mostram que o etanol apresenta melhor desempenho ambiental do que a gasolina em importantes categorias de impacto, como mudanças climáticas, depleção de recursos de fósseis e depleção da camada de ozônio. No entanto, existem categorias de impactos ambientais em que o etanol apresenta desempenho ambiental pior do que a gasolina, como acidificação e formação de material particulado. Essas categorias são, em geral, intrínsecas aos produtos agrícolas e espera-se que sejam superiores aos produtos derivados de recursos fósseis, como a gasolina. É importante lembrar ainda

⁴ <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-012-0465-0>

que os impactos englobam todas as etapas do ciclo de vida, não apenas a fase de produção agrícola para acidificação ou uso para formação de material particulado, por exemplo. De forma ilustrativa, nessa última categoria de impacto estão incluídas as emissões de material particulado desde a extração de recursos da natureza até o uso final.

A decisão sobre o melhor combustível dependerá de quais impactos ambientais potenciais são priorizados. A seleção das categorias de impactos ambientais a serem priorizadas depende de quais impactos são mais sensíveis para a região e estão também relacionadas à percepção da sociedade sobre esses impactos ambientais (que se refletem nas políticas públicas).



Avaliação do Ciclo de Vida comparativa entre Etanol e Gasolina

**Resultados para categorias selecionadas do método ReCipe Midpoint (H), em estudo de Cavalett et al. (2013): Climate change; Fossil depletion; Ozone depletion; Terrestrial acidification; Freshwater eutrophication; Particulate matter formation*