

Avaliação do Ciclo de Vida para desenvolvimento de produtos e otimização de processos: Estudo de caso de uma garrafa térmica

Leandro Andrade Pegoraro (UTFPR) leandropegoraro@hotmail.com
Giovanna Chiumento (UTFPR) giovannachiumento@hotmail.com
Leticia de Santi Barrantes (UTFPR) leticia.desantib@gmail.com
Elaine Garcia de Lima (UTFPR) elainegarcia@utfpr.edu.br
Cássia Maria Lie Ugaya (UTFPR) cassiaugaya@utfpr.edu.br

Resumo:

O aumento da busca pela sustentabilidade dos produtos e processos incentiva o uso de ferramentas de análise de desempenho ambiental nas organizações, entretanto, seu caráter predominantemente qualitativo nem sempre reflete os reais efeitos causados pelas atividades produtivas. A técnica da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) surge então como uma ferramenta útil por contemplar dados quantitativos e ser padronizada pelo conjunto de normas internacionais ISO 14040. Apesar do seu uso já ser recomendado pelos fundamentos do Ecodesign, Design for Environment, dentre outros, seus reais resultados ainda são desconhecidos e com isso, a ACV ainda é pouco utilizada nas corporações. Os setores de desenvolvimento de produto e otimização de processos podem ser contemplados pelos benefícios da aplicação da ACV. Visando mostrar tais benefícios de forma aplicada, uma análise de desempenho ambiental de uma garrafa térmica foi realizada utilizando a técnica da ACV e foram identificados os materiais e processos de maior contribuição a cada categoria de impacto. A prata e o polipropileno foram os materiais que mais contribuíram para a depleção abiótica e depleção abiótica de combustíveis fósseis, respectivamente. Para o aquecimento global, o processo de maior contribuição foi a moldagem por sopro. A prata também foi a maior contribuinte para os impactos de toxicidade humana, de água doce e salgada e de eutrofização. Com isso, foi possível concluir que os resultados da ACV podem dar subsídio para a tomada de decisão no desenvolvimento de produtos e na otimização dos processos.

Palavras chave: Avaliação do Ciclo de Vida, Desenvolvimento de Produtos, Otimização de Processos.

Life Cycle Assessment for product development and process optimization: Case study of a thermos bottle

Abstract

The increasing interest in the sustainability of products and processes encourages the use of environmental performance analysis tools in organizations, however, its predominantly qualitative character does not reflect the real effects caused by production activities. The technique of Life Cycle Assessment (LCA) emerges as a useful tool for contemplating quantitative data and being standardized by international standards ISO 14040. Despite its use is already recommended by the fundamentals of Ecodesign, Design for Environment and others, its real results are still unknown and thus, LCA is not widely used in corporations yet. The product development and process optimization areas can be covered by the benefits of the LCA applications. In order to demonstrate such benefits, an environmental performance analysis of a thermos bottle using the LCA technique was performed and the materials and processes of greatest contribution to each impact category were identified. Silver and

polypropylene are the materials that contributed most to abiotic depletion and abiotic depletion (fossil fuels) respectively. For global warming, the process with highest contribution was blow moulding. Silver was also the largest contributor to the impacts of human toxicity, fresh and marine aquatic water and eutrophication. Thus, it was possible to conclude that the LCA results can support decision making in product development and process optimization.

Key-words: Life Cycle Assessment, Product Development, Process Optimization

1. Introdução

A busca das organizações pela sustentabilidade de seus produtos e processos acarreta no uso de ferramentas que permitem a avaliação dos impactos ambientais causados por eles. Na maioria das vezes, essas análises são realizadas de forma qualitativa, como na implantação do Sistema de Gestão Ambiental que realiza a avaliação do desempenho ambiental assim como a auditoria ambiental (ABNT NBR ISO 14001, 2004), a utilização do MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, que se trata de uma estratégia preventiva designada para conservar recursos, mitigar riscos para o ser humano e o meio ambiente e promover uma melhor eficiência nas técnicas produtivas e na tecnologia (USAID, 2003), a aplicação da Ecoeficiência que incentiva a busca de melhorias ambientais associada à geração de benefícios econômicos (IEL, 2011), entre outros.

Sabe-se, entretanto, que métodos qualitativos nem sempre são fieis a realidade, pois em uma pesquisa que aplicou a ferramenta D4S – Design for Sustainability com metodologia qualitativa, no desenvolvimento de produto, produziu bons resultados na minimização do uso de materiais não-renováveis, na redução de resíduos perigosos, no consumo de energia, e melhoria das condições de trabalho, no entanto, ao se aplicar a ACV – Avaliação do Ciclo de Vida, que considera separadamente as fases do ciclo de vida, foi possível identificar que em alguns aspectos ambientais o novo produto não foi considerado com boa qualidade. (WOOD e MATHIEUX, 2010).

Reconhecida internacionalmente por sua confiabilidade em função do seu caráter quantitativo e por ser padronizada pelo conjunto das normas NBR ISO 14040 (2009), a técnica da ACV apresenta, segundo a norma, uma gama de aplicações nos processos produtivos, como: identificação de melhorias do desempenho ambiental de produtos, auxílio à tomada de decisão no planejamento estratégico, seleção de indicadores de desempenho ambiental relevantes, marketing, dentre outros. Sua utilização dentro das organizações já é recomendada pelos fundamentos do Design for the Environment – DFE (EPA, 2014) e do Ecodesign (MANZINE e VEZZOLI, 2002).

Apesar disso, Robert et al. (2001) acredita que a demanda de tempo e a complexidade da ferramenta limita a sua utilização nas organizações. Apenas recentemente a ACV passou a ser incorporada no processo de melhoria dos procedimentos (SANCHES et al., 2005).

Com o objetivo de ilustrar uma aplicação prática da ACV no setor de desenvolvimento de produtos e otimização de processos de organizações produtivas foi realizado um estudo de caso da avaliação do desempenho ambiental da produção de uma garrafa térmica. Para isso, foram identificados os pontos problemáticos dos materiais e processos que envolvem a produção deste produto.

2. ACV no desenvolvimento de produtos

De acordo com Baumann (2002) os produtos afetam o meio ambiente desde a extração de matérias primas até o tratamento dos resíduos. Os efeitos que causam resultam de decisões inter-relacionadas tomadas nos vários estágios do ciclo de vida da produção de um produto, desde o seu protótipo até a linha de produção. É necessário então que metodologias e ferramentas possibilitem a análise das consequências ambientais de cada etapa. Requisitos

ambientais no processo de design devem ser seguidos a fim de minimizar consumo de matéria prima e energia, geração de resíduo, etc. Para tanto, aplica-se a ACV.

Estudos de ACV com tal finalidade são encontrados na literatura. Sansão (2011) buscou selecionar materiais mais sustentáveis para construções civis de interesse social. Utilizou esta técnica a fim de fazer uma análise ambiental de envoltórias com desempenhos térmicos similares, para residências de tipologia unifamiliar, em alvenaria de blocos. O estudo permitiu identificar que, comparando os ciclos de vida das envoltórias compostas por blocos de natureza distintas, os blocos de concreto mostraram maior impacto à saúde humana, ecossistema e recursos quando comparado aos impactos dos outros blocos.

O resultado encontrado permite a seleção de materiais na etapa de desenvolvimento do produto utilizado na atividade, melhorando assim, seu desempenho ambiental.

A partir da realização da ACV de uma lata de alumínio, Faco (2013) identificou que os processos de produção da bauxita, da produção do anodo e da eletrólise envolvidos no ciclo de vida da lata de alumínio eram os maiores responsáveis pelo alto potencial de aquecimento global.

Tal resultado permitiu ao autor recomendar o redesign do modelo atual da lata a fim de modificar os processos críticos e verificar as possibilidades de torna-la mais eficiente ambientalmente e energeticamente.

3. ACV na otimização de processos

Os aspectos ambientais estão aumentando seu grau de importância nos processos produtivos, e isso tem feito com que as organizações busquem a melhoria contínua da interação de suas atividades, produtos e serviços com o meio ambiente, sendo que atualmente, se não forem observados a redução dos impactos ambientais, além de perder mercado consumidor, também sofrerão penalidades judiciais (OMETTO; SOUZA; GUELERE FILHO, 2007).

A ACV é uma técnica que auxilia no desenvolvimento de um produto, podendo ser útil na otimização deste através de melhorias no desempenho ambiental e econômico (PRADO e KASKANTZIS, 2005).

De acordo com Sanches et al. (2010), existe um método que utiliza a ACV orientada para SGAs, direcionada para a seleção que considera além da organização todo o ambiente, a otimização que engloba os benefícios econômicos com a melhoria ambiental das organizações e o design onde as melhorias ambientais podem ser tratadas na fase inicial do projeto.

Assim, as características de um produto e seu processo produtivo, não são as únicas questões a serem avaliadas para obtenção de uma boa qualidade ambiental, mas sim todo o ciclo de vida do produto, incluindo a cadeia de suprimentos, reciclagem e disposição final (OMETTO; SOUZA; GUELERE FILHO, 2007).

4. Estudo de caso

4.1. Escopo do Estudo

Para a avaliação do desempenho ambiental do produto garrafa térmica um escopo de abrangência do estudo foi definido seguindo os itens a seguir.

- a) Sistema de produto: Produção de uma garrafa térmica considerando berço ao portão;
- b) Unidade de análise: 1 garrafa térmica;
- c) Fronteiras do sistema: O sistema estudado abrangeu os processos de produção dos materiais da garrafa térmica e os processos de produção de matérias primas envolvidas;

d) Método de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) e categorias de impacto: O método foi o CML 2000 e as categorias de impacto avaliadas foram depleção abiótica, depleção abiótica para combustíveis fósseis, acidificação, eutrofização, aquecimento global, depleção da camada de ozônio, toxicidade humana, toxicidade de água doce, toxicidade de água salgada, toxicidade terrestre e oxidação fotoquímica.

A metodologia de análise foi baseada nos requisitos das normas ABNT NBR ISO 14040:2009 e ABNT NBR ISO 14044:2009 (ABNT, 2009 a,b).

De acordo com a ABNT (2009 a,b) todas as limitações do estudo devem ser claramente mencionadas no escopo. Neste caso, as limitações encontradas estão relacionadas ao fato de as etapas de transporte, uso e descarte do produto garrafa térmica não terem sido consideradas, a base de dados utilizada ser internacional e o método de avaliação de impacto não ser regionalizado para o Brasil. Além disso, alguns processos não estão disponíveis na base de dados utilizada, sendo assim desconsiderados (Tabela 1). Devido à ausência do processo de moldagem do vidro por sopro, foi utilizado um processo semelhante que considera este tipo de moldagem em plástico. Outra limitação identificada está relacionada à falta de informações referentes ao inventário do nitrato de prata, solução responsável pelo recobrimento interno da cápsula de vácuo da garrafa térmica. A forma encontrada para minimizar esta limitação foi utilizar o inventário da prata elementar, cuja quantidade mássica utilizada como dado de entrada para a avaliação de impacto foi obtida por estequiometria. A massa de prata da cápsula de vácuo não pôde ser medida, e foi arbitrado um valor experimental para este material.

Vale ressaltar que do ponto de vista científico, dentro da técnica de ACV, estas limitações são aceitáveis, visto que muitas vezes elas não alteram significativamente o entendimento do processo estudado e não comprometem a tomada de decisões. Além disso, na prática, para a maioria dos casos é possível coletar os dados de entradas e saídas dos processos, mitigando o problema de falta de correspondência com bases de dados de inventário, disponíveis aos desenvolvedores de estudos de ACV.

4.2 Metodologia

Para a realização do estudo, o produto garrafa térmica foi desmontado (Figura 1), e seus componentes foram classificados por tipo de material e em seguida as massas foram determinadas com a utilização de duas balanças. Para as peças menores, o equipamento utilizado foi da marca Marte modelo AL500, com carga máxima de 500 g, e para as maiores, da marca Kerne modelo 440-53, com carga máxima de 6 kg.



Figura 1 - Garrafa térmica desmontada

A Tabela 1 mostra os resultados de massa e o material de cada peça, ordenadas respeitando a numeração mostrada na Figura 1.

| nº | Peça | Massa (g) | Material |
|----|--------------------------------------|-----------|---|
| 1 | Carcaça principal | 128 | Polipropileno (PP) |
| 2 | Tampa superior (caneca) | 36 | Polipropileno (PP) |
| 3 | Tampa rosqueável | 18 | Polipropileno (PP) |
| 4 | Anel de vedação da tampa rosqueável | 1,329 | Borracha sintética |
| 5 | Alça | 10,966 | Polipropileno (PP) |
| 6 | Parafuso de fixação da alça | 0,649 | Aço |
| 7 | Base rosqueável | 74 | Polipropileno (PP) |
| 8 | Cápsula de vácuo (frasco de Dewer) | 361 | Vidro com lâmina de cobertura com prata |
| 9 | Anel de fixação da cápsula de vácuo | 5,469 | Borracha sintética |
| 10 | Anel de vedação da carcaça e cápsula | 3,673 | Borracha sintética |

Tabela 1 – Dados referentes à composição e massa da garrafa térmica

De posse dos dados apresentados na Tabela 1, as informações foram inseridas no software SimaPro versão 8.0.2, utilizando as correspondências encontradas na base de dados ecoinvent versão 3.01. Como já mencionado na limitação do estudo, alguns processos não estavam disponíveis na base de dados, não podendo ser considerados, e outros tiveram que ser aproximados. Estas informações podem ser visualizadas na Tabela 2.

| Materiais e Processos Reais Identificados para o Produto Garrafa Térmica | Correspondências de Materiais e Processos Disponíveis na Base de Dados ecoinvent |
|--|--|
| Polipropileno | Polipropileno |
| Aço | Aço |
| Borracha Sintética | Borracha Sintética |
| Vidro | Vidro |
| Nitrato de Prata | Prata |
| Processo de Moldagem por Injeção | Processo de Moldagem por Injeção |
| Processo de Moldagem por Sopro para Vidro | Processo de Moldagem por Sopro para Plástico |
| Processo de Conformação em Metal | Processo de Conformação em Metal |
| Processo de Recozimento | Não Encontrado |
| Processo de Prateação | Não Encontrado |
| Processo de Vácuo | Não Encontrado |

Tabela 2 - Correspondência entre materiais e processos reais para a garrafa térmica e os disponíveis na base de dados ecoinvent

Pode-se notar que alguns processos de produção identificados para o caso da garrafa térmica não foram encontrados na base de dados ecoinvent, contudo, é importante salientar que é possível, a partir de uma coleta de dados, construir novos inventários de interesse e assim

suprir a ausência de processos faltantes. Deste modo, pode-se melhorar a abrangência e ampliar os resultados do estudo.

4.2. Resultados

A utilização da técnica de ACV no estudo de caso permitiu que fossem gerados os resultados de contribuição de impacto ambiental para os materiais e processos que estão envolvidos na produção da garrafa térmica avaliada. A Figura 2 mostra estes resultados para cada uma das categorias de impacto consideradas no método CML 2000, de modo que é possível perceber qual material e ou etapa de produção da garrafa é mais significativa em cada categoria. Inicialmente, foi considerado o uso de um grama de nitrato de prata na cobertura da cápsula de vidro interna da garrafa, o que equivale a aproximadamente 0,64 gramas de prata elementar. A massa de cada material, bem como os processos produtivos considerados, foram os apresentados anteriormente na Tabela 1.

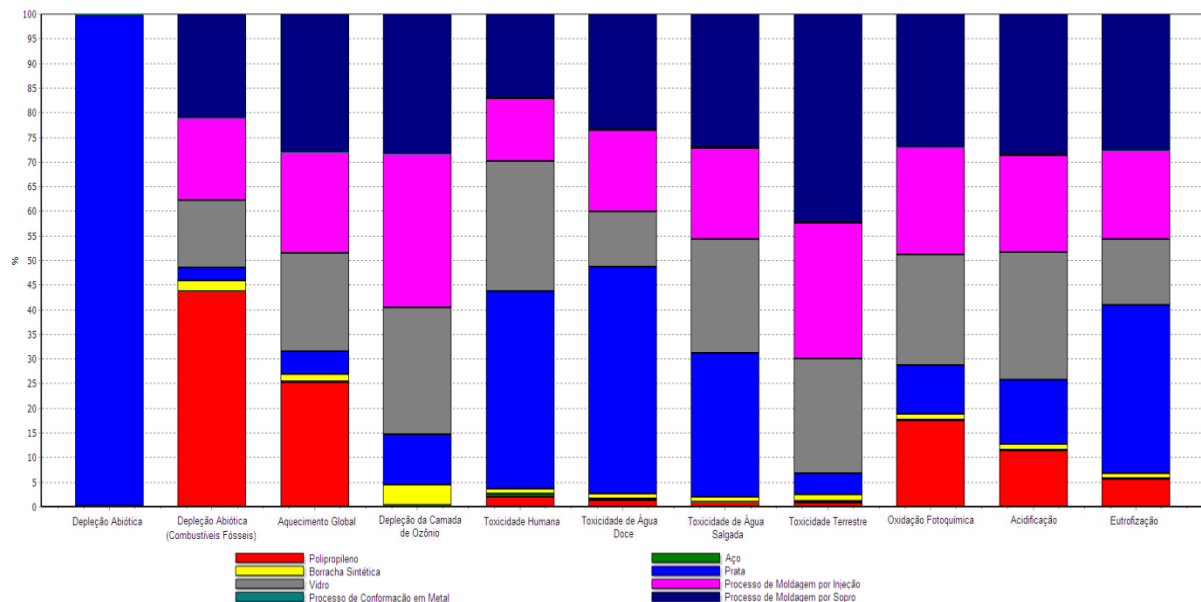


Figura 2 – Resultados de avaliação de impacto para a produção da garrafa térmica

É possível concluir, analisando a Figura 2, que para a depleção abiótica mais de 99% de todo o impacto é causado pela prata utilizada na cápsula de vácuo. Isto se deve ao fato de esta categoria considerar a diminuição da disponibilidade da reserva total de recursos naturais, e no caso deste estudo, a prata é o recurso natural que possui menor reserva no meio ambiente. Portanto, o consumo deste recurso é mais significativo do que o de outros com maior disponibilidade. Para a depleção abiótica de combustíveis fósseis, a mesma definição é válida, mas considera os recursos fósseis. Neste caso, o polipropileno apresentou maior relevância (aproximadamente 43%), visto que sua origem, conforme o inventário utilizado, é do petróleo, recurso natural fóssil.

Já para o aquecimento global, que está relacionado à emissão de carbono equivalente na atmosfera, a maior contribuição é dada pelo processo de moldagem por sopros, responsável por 27% de todo o impacto causado. Segundo a base de dados utilizada, este resultado está relacionado ao consumo de energia do processo e, como já descrito na limitação do estudo, se

o inventário considerasse a moldagem de vidro, em vez de plástico, a contribuição para esta categoria poderia revelar resultados diferentes, apontando para a emissão de gases precursores do efeito estufa em maiores ou menores quantidades considerando todo o processo de moldagem por sopro. Nota-se também que o polipropileno, nesta categoria de impacto, apresenta contribuição muito similar a do processo de moldagem por sopro, estando apenas dois pontos percentuais abaixo.

Com relação às categorias de impacto relacionadas à toxicidade, o método utilizado para a fase de avaliação de impacto contempla as categorias toxicidade humana, de água doce, de água salgada, e toxicidade terrestre. Em termos de toxicidade, o resultado mais significativo no estudo da produção da garrafa térmica foi identificado para a prata, a qual teve uma contribuição individual em torno de 45% para a toxicidade de água doce, apresentando também contribuições significativas para as categorias de toxicidade humana (com aproximadamente 40%), e toxicidade de água salgada, com 29% dos impactos causados pela prata. Na categoria de impacto de eutrofização, a prata também apresentou uma contribuição que vale ser mencionada, de aproximadamente 34% do total de todos os outros materiais e processos considerados no estudo. A causa de impactos toxicológicos ligados ao uso da prata no produto avaliado, assim como na eutrofização, é devido à formação de resíduos sulfídricos tóxicos, provenientes do processo de separação e obtenção da prata no minério extraído. Salienta-se que apesar de ser significativa nos resultados do estudo, a produção da prata não é expressiva no cenário nacional, de modo que os impactos aconteceriam prioritariamente nas regiões onde ela é extraída.

Devido ao fato de a massa de nitrato de prata aplicada à cápsula de vácuo não ter sido mensurada, um valor experimental arbitrário foi utilizado. Devido a isto, foi feita uma análise de sensibilidade para avaliar como a variação deste insumo afeta o resultado final da ACV. Novos resultados foram obtidos (Figura 3) considerando agora aproximadamente 1,6 gramas de nitrato de prata, que equivale a um grama de prata elementar.

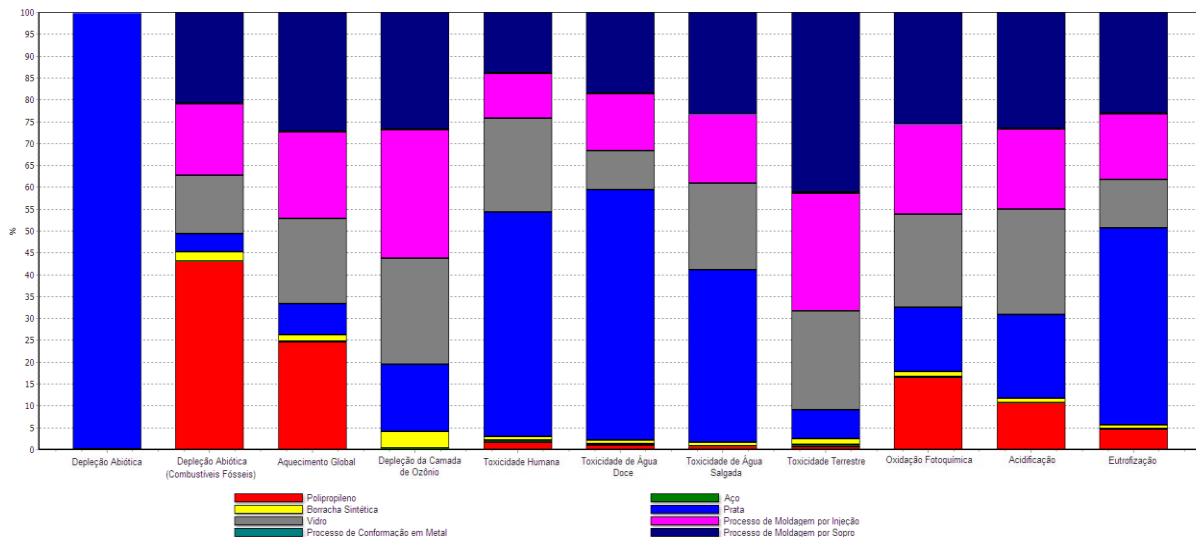


Figura 3 - Resultados de Avaliação de Impacto após Análise de Sensibilidade

Comparando as Figuras 2 e 3 é possível perceber que houve um aumento na contribuição da prata em todas as categorias de impacto após alterar a quantidade de entrada no processo, como era de se esperar. Este aumento, entretanto, não altera significativamente os resultados

anteriores, já que a prata continua tendo maior influência nas mesmas categorias para ambos os cenários.

5. Conclusão

Os resultados de estudos que contemplem a avaliação do desempenho ambiental de produtos são bons subsídios para a tomada de decisão tanto no desenvolvimento de produtos como na otimização dos processos envolvidos em sua cadeia produtiva. Apesar do estudo de caso focado na garrafa térmica não ter considerado todo o ciclo de vida do produto, ou seja, uma avaliação desde a extração das matérias primas, passando pela produção, distribuição, uso, e descarte final, a técnica de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é promissora para este fim. Por isso, há o crescimento do interesse das empresas em aplicá-la em seus processos visando à melhoria do desempenho ambiental do produto.

O emprego desta técnica permite determinar em qual etapa do ciclo de vida do produto os impactos ambientais gerados são mais relevantes e, além disso, possibilita a descoberta dos pontos críticos do processo. Muitas vezes é revelado que os danos ambientais mais significativos encontram-se fora da cadeia de produção do produto, os quais podem estar, por exemplo, na produção das matérias-primas, na fase de uso ou de descarte do produto. Este resultado evidencia a necessidade de uma interação conjunta entre os envolvidos em todo o ciclo de vida do produto avaliado e faz com que as empresas possam incentivar de seus fornecedores a obter melhores resultados ambientais.

Foi possível perceber no estudo de caso apresentado que, para seis categorias de impacto ambiental de onze avaliadas, os resultados mais significativos estavam relacionados às matérias-primas. No caso do desenvolvimento de novos produtos, os engenheiros e designers responsáveis poderiam optar por avaliar o desempenho ambiental de outros materiais utilizando a técnica da ACV, para assim garantir o lançamento de produtos mais sustentáveis. Já para as outras cinco categorias estudadas, os processos de produção da garrafa térmica tiveram maior influência nos resultados e, neste caso, seria necessário avaliar maneiras de otimizar o processo de modo a torná-lo menos impactante. Deste modo, fica notável a importância da ACV tanto para o desenvolvimento de produtos quanto para a otimização de processos, já que ela permite apontar os pontos que devem ser avaliados prioritariamente.

É importante salientar que a aplicação desta técnica apresenta inúmeras vantagens, mas deve ser realizada de forma adequada, respeitando o escopo do estudo e suas limitações. Ressalta-se, entre outros, a utilização de bases de dados e métodos de avaliação de impacto internacionais, que podem não refletir efetivamente o impacto ambiental do ciclo de vida do produto. Desta forma, como trabalho futuro, sugere-se que um estudo mais detalhado, procurando averiguar a consistência deve ser realizado.

Além disso, deve-se atentar ao fato de que há uma dificuldade em tomar decisões que contemplem todas as categorias avaliadas. Atualmente existem métodos que levam a uma pontuação única que engloba todos os resultados, porém são mais subjetivos e menos reconhecidos cientificamente. Por isso, é extremamente importante que os objetivos do estudo sejam claros e respeitem o enfoque de cada aplicação.

6. Agradecimentos

À CAPES e à Fundação Araucária pelo apoio financeiro, à PRé pela licença do SimaPro e aoecoinvent pela base de dados. Ao Grupo de Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida e ao Laboratório de Metrologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

7. Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR ISO 14040: gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida - princípios e estrutura.* Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR ISO 14044: gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida – requisitos e orientações.* Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO 14001: sistemas de gestão ambiental – requisitos com orientações para uso.* Rio de Janeiro, 2004.

BAUMANN, H.; BOONS F.; BRAGD A. *Mapping the green product development field: engineering, policy and business perspectives.* Journal of Cleaner Production. Vol. 10, p. 409-425, 2002.

FACO, L. C. *A inserção de requisitos ambientais na metodologia de projeto em design: investigação dos aspectos a serem considerados o ciclo de vida da lata de alumínio para bebidas no país.* Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade de São Paulo, SP, 2013.

INSTITUTO EUVALDO LODI (IEL). *Manual de transferência de tecnologias ecoeficientes: Projeto de Apoio à Inserção Internacional de Pequenas e Médias Empresas,* PAIIMPE/Instituto Euvaldo Lodi, Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. – Brasília : IEL/NC, 2011. 55 p. : il.

MANZINE, E.; VEZZOLI, C. *O desenvolvimento de produtos sustentáveis: Os Requisitos Ambientais dos Produtos Industriais.* 1. ed. São Paulo: EDUSP, 2002.

OMETTO, A. R., SOUZA, M. P. D, GUELERE FILHO, A. *A Gestão Ambiental nos Sistemas Produtivos.* Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção. n. 6, p. 22-36, 2007.

PRADO, M. R. ; KASKANTZIS NETO, G. *A Análise do Ciclo de Vida como Ferramenta de Otimização de Processos e Gestão Ambiental.* REPV - Revista Eletrônica Polidisciplinar Voos. n. 1, p. 4-11, 2005.

ROBERT, B. et al. *Integrating Environmental Concerns into the Design Process: The Gap between Theory and Practice.* Ieee Transactions on Engineering Management, Vol. 48, n. 2, p. 189-208, 2001.

SANCHES, R. SOUSA, S. R., OMETTO, A. R., PACCA, S. A. *A utilização da avaliação do ciclo de vida em sistemas de gestão ambiental: Modelos de aplicação.* INGEPRO – Inovação, Gestão e Produção. Vol. 02, número 06, 2010.

SANSÃO, J. H. *Análise ambiental de alvenarias em blocos: uma discussão baseada na avaliação do ciclo de vida e no desempenho térmico de envoltórias.* Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

SENALRS. *Implementação de Programas de Produção mais Limpa.* Porto Alegre, Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS/UNIDO/INEP, 42 p. : il., 2003.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL AGENCY PROTECTION (EPA) *Design for the Environment.* Disponível em <http://www.epa.gov/dfe/alternative_assessments.html> Acesso em 11 set 2014.

USAID. *Environmental Guidelines For Small-Scale Activities In África: environmentally sound design for planning an implementing development activities.* Washington: SD Publication Series, 2003.