

# 1 Avaliação do Ciclo de Vida - ACV

Leda Coltro

## 1.1 Introdução

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta que permite avaliar o impacto ambiental potencial associado a um produto ou atividade durante seu ciclo de vida. A ACV também permite identificar quais estágios do ciclo de vida têm contribuição mais significativa para o impacto ambiental do processo ou produto estudado. Empregando a ACV é possível avaliar a implementação de melhorias ou alternativas para produtos, processos ou serviços. Declarações ambientais sobre o produto podem se basear em estudos de ACV, bem como a integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento de produtos (*design for environment*).

Os estudos de ACV tiveram início na década de 60, com a crise do petróleo, que levou a sociedade a se questionar sobre o limite da extração dos recursos naturais, especialmente de combustíveis fósseis e de recursos minerais. Os primeiros estudos tinham por objetivo calcular o consumo de energia e, por isso, eram conhecidos como “análise de energia” (*energy analysis*). Estes estudos envolviam a elaboração de um fluxograma de processo com balanço de massa e de energia. Logo, dados sobre consumo de matérias-primas e de combustíveis e sobre os resíduos sólidos gerados eram contabilizados automaticamente. Por esta razão, alguns analistas se referiam a estes estudos como “análise de recursos” (*resource analysis*) ou “análise do perfil ambiental” (*environmental profile analysis*).

O interesse por estudos de ACV enfraqueceu após a crise do petróleo. Porém, a ACV ressurgiu na década de 80 em decorrência do crescente interesse pelo meio ambiente. A partir de 1990, os estudos de ACV se expandiram muito e foram impulsionados pela normalização proporcionada pela série de normas ISO 14040, com conseqüente aumento do número de estudos, publicações, conferências e congressos, os quais ainda continuam aumentando.

## 1.2 Normalização

Muitos estudos de ACV, aparentemente iguais, chegavam a conclusões diferentes devido às considerações feitas, fronteiras adotadas, idade dos dados, tecnologias, logística de abastecimento de matérias-primas e matriz energética, que são fatores críticos para os parâmetros inventariados. Estes estudos diferiam inclusive na interpretação do que seria um sistema mais adequado para o meio ambiente. Apesar de todas estas restrições, estudos comparativos foram divulgados e causaram impacto no mercado de produtos concorrentes.

Assim, ficou evidente a necessidade de padronização da metodologia de ACV. A Instituição que mais contribuiu neste sentido foi a SETAC – *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* que reuniu pesquisadores líderes na área para discutir o tema ACV em cerca de nove conferências internacionais organizadas entre os anos de 1990 e 1993. Deste esforço resultou a publicação *SETAC Guidelines for Life Cycle Assessment – a Code of Practice* (CONSOLI et al., 1993), que foi o primeiro documento voltado à padronização da metodologia de ACV e que, mais tarde, orientou os trabalhos de normalização internacional da ISO – *International Organization for Standardization*.

Os trabalhos de normalização internacional da ACV pela ISO envolveram mais de 300 especialistas em ACV de cerca de 29 países, que atuaram direta ou indiretamente na padronização, e que geraram a série de normas ISO 14040 relativas à ACV:

- ISO 14040 – *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework* (1997);
- ISO 14041 – *Environmental management – Life cycle assessment – Goal and scope definition and inventory analysis* (1998);
- ISO 14042 – *Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle impact assessment* (2000);
- ISO 14043 – *Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle interpretation* (2000).

Esta série de normas está sendo revisada e a junção das mesmas em apenas duas normas está em discussão no âmbito da ISO:

- ISO/FDIS 14040 – *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework* (2006);
- ISO/FDIS 14044 – *Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and Guidelines* (2006).

A série de normas também contém dois relatórios técnicos, com exemplos de aplicação das normas relativas à ACV e uma especificação técnica sobre o formato da documentação dos dados:

- ISO/TR 14047 – *Environmental management - Life cycle impact assessment – Examples of application of ISO 14042* - (2003);
- ISO/TS 14048 – *Environmental management - Life cycle assessment – Data documentation format* (2002);
- ISO/TR 14049 – *Environmental management - Life cycle assessment – Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis* (2000).

A norma NBR ISO 14040 (2001) foi internalizada no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, mediante trabalho desenvolvido pelo Sub-Comitê de Avaliação do Ciclo de Vida - SC-05 do Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental - ABNT/CB-38.

Em função das novas edições de 2006 das normas ISO 14040 e ISO 14044, a norma NBR ISO 14040 está sendo revisada pelo ABNT/CB-38, enquanto as normas NBR ISO 14041 (2004), NBR ISO 14042 (2004) e NBR ISO 14043 (2005) serão canceladas e substituídas pelas novas edições.

### **1.3 Metodologia de ACV**

A ACV avalia os aspectos ambientais e os impactos potenciais associados ao ciclo de vida de um produto, ou seja, desde a extração dos recursos naturais até o uso e disposição final do produto (figura 1.1). As categorias gerais de impacto ambiental consideradas em estudos de ACV incluem uso de recursos naturais, implicações sobre a saúde humana e conseqüências ecológicas (MATTSSON; SONESSON, 2003).

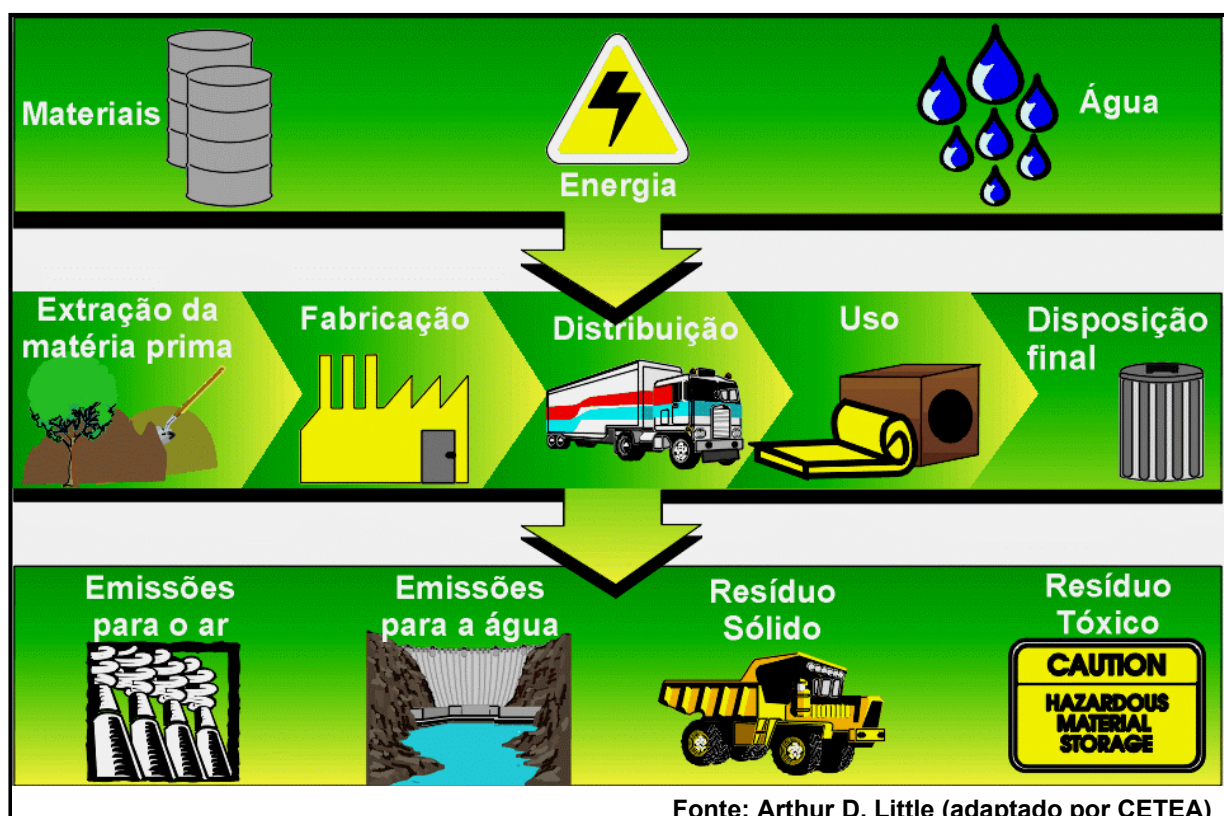


Figura 1.1 – Representação das etapas consideradas em um estudo de ACV

Um estudo de ACV é dividido em quatro fases, conforme apresentado na figura 1.2. Na primeira fase, Definição do Objetivo e Escopo, o propósito do estudo e sua amplitude são definidos, envolvendo decisões importantes sobre as fronteiras e a unidade funcional. Na fase de Análise de Inventário, informações sobre o sistema do produto são levantadas e as entradas e as saídas consideradas relevantes para o sistema são quantificadas. Na fase de Avaliação de Impacto, os dados e as informações gerados da Análise de Inventário são associados a impactos ambientais específicos, de modo que o significado destes impactos potenciais possa ser avaliado. E, na fase de Interpretação, os resultados obtidos nas fases de Análise de Inventário e de Avaliação de Impacto são combinados e interpretados de acordo com os objetivos definidos previamente no estudo.

Portanto, um estudo de ACV inicia-se com a Definição do Objetivo e Escopo do estudo, bem como são bem definidos nesta fase a unidade funcional adotada, as fronteiras do sistema, as estimativas e limitações e os métodos de alocação que serão usados, bem como as categorias de impacto que serão consideradas no estudo. O objetivo e escopo incluem a definição do contexto do estudo ao qual estão associados, a quem e como os resultados serão comunicados. A unidade funcional é a unidade de referência quantitativa à qual todos os fluxos de entradas e saídas na ACV estão relacionados, por exemplo, 1 kg de café torrado e moído pronto para a distribuição. A alocação é o método utilizado para dividir a carga ambiental de um processo entre os diversos produtos nele gerados (co-produtos).

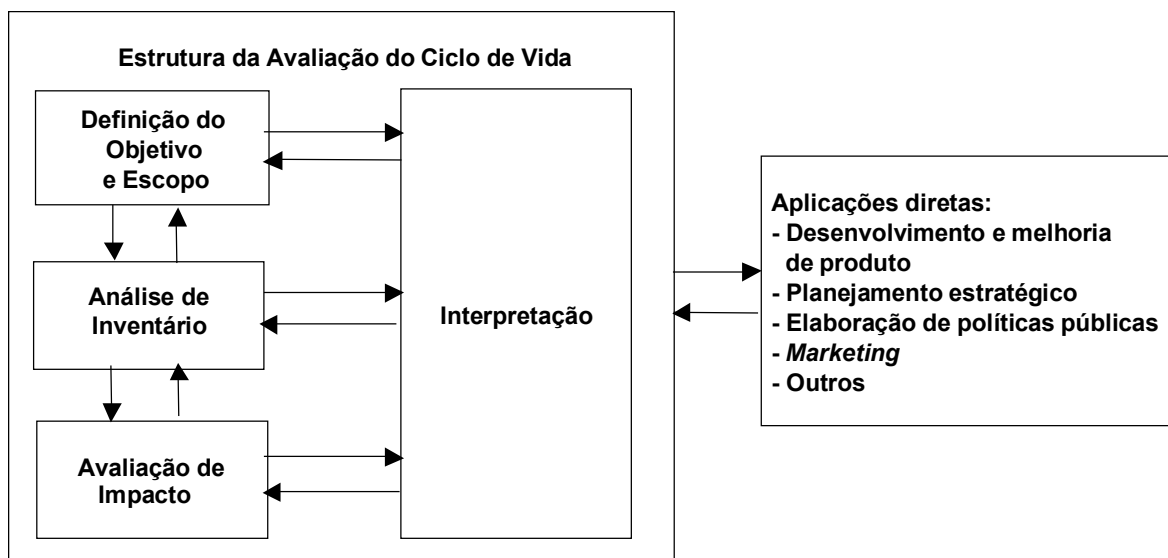


Figura 1.2 – Fases de um estudo de ACV (ISO 14040, 1997)

Na fase de Análise de Inventário é elaborado um fluxograma do sistema em estudo, de modo que as atividades e/ou processos que serão avaliados sejam bem definidos, bem como as fronteiras técnicas do mesmo. Então, é feito um levantamento de dados de entradas e saídas (consumo de recursos naturais e energia, emissões para o ar, água e solo) para todas as etapas incluídas nas fronteiras do estudo de ACV. Estes dados são compilados e as cargas ambientais do sistema são calculadas e relacionadas à unidade funcional.

A próxima fase da ACV é a fase de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida – AICV, na qual os dados são interpretados em termos de seus impactos ambientais, por exemplo, acidificação, eutrofização, mudanças climáticas (aquecimento global), etc. Na primeira etapa da AICV, classificação, os dados do inventário são selecionados e atribuídos a categorias de impacto específicas. Na etapa seguinte, caracterização, os dados do inventário são multiplicados por fatores de equivalência para cada categoria de impacto, como por exemplo 1 kg de N<sub>2</sub>O é equivalente à emissão de 296 kg de CO<sub>2</sub> e 1 kg de metano é equivalente a 23 kg de CO<sub>2</sub>. Então, todos os parâmetros incluídos na categoria de impacto são somados e é obtido o resultado da categoria de impacto. Esta etapa de caracterização encerra a fase de AICV em muitos estudos de ACV. De acordo com a norma ISO 14042 (2000), esta é a última etapa dos elementos obrigatórios desta fase.

Entretanto, alguns estudos incluem elementos opcionais da fase de AICV, tais como: i) normalização, que consiste no cálculo da magnitude dos resultados do indicador da categoria em relação a um valor de referência, como por exemplo o total de entradas e saídas de uma certa área, que pode ser global, regional, nacional ou local; ii) agrupamento, que consiste na atribuição das categorias de impacto a um ou mais conjuntos, podendo envolver também o estabelecimento de uma classificação, como por exemplo alta, média e baixa prioridade; iii) ponderação, que é o processo de conversão dos resultados do indicador das diferentes categorias de impacto a uma mesma base empregando fatores numéricos oriundos de atribuição de valores, ou seja, os diferentes impactos ambientais são ponderados entre si gerando um único número que representa o impacto ambiental total daquele sistema de produto.

No entanto, estes elementos opcionais normalmente não são recomendados a estudos de ACV de produtos brasileiros, uma vez que os modelos desenvolvidos para esta finalidade foram feitos com base em padrões europeus, norte americanos e/ou australianos. Assim, o mais indicado para os estudos brasileiros são os modelos que chegam até o *mid-point* (seleção, classificação e caracterização dos resultados do ICV) e não aqueles que chegam até o *end-point* (que inclui também a normalização dos dados mediante agrupamento e ponderação) (ISO 14042, 2000; PIRA, 2003).

Na fase de Interpretação é feito um resumo dos resultados da análise de inventário e da avaliação de impacto obtidos no estudo. Os resultados desta fase são conclusões e recomendações. De acordo com a norma ISO 14043 (2000), a interpretação deve incluir a identificação dos impactos ambientais significativos; avaliação do estudo em relação a sua completude, sensibilidade e consistência; bem como conclusões e recomendações de implementação de melhorias com a finalidade de reduzir os impactos ambientais significativos.

Conforme representado na figura 1.2, o estudo de ACV é iterativo e, portanto, informações obtidas na última fase podem afetar as fases anteriores. Quando isso ocorre, as fases iniciais devem ser re-trabalhadas considerando esta nova informação. Portanto, em estudos de ACV é comum o trabalho das várias fases paralelamente.

## 1.4 Elementos Fundamentais da ACV

Além da elaboração do fluxograma do ciclo de vida do sistema a ser estudado e do procedimento para o desenvolvimento do estudo de ACV, ainda existem quatro elementos fundamentais para se entender o conceito da ACV.

### 1.4.1 Unidade Funcional

É durante a definição do escopo do estudo de ACV que são especificadas claramente as diversas funções possíveis do sistema estudado. A partir daí, uma função é selecionada e definida como a unidade funcional do sistema (ISO 14040, 1997).

A unidade funcional é definida como o desempenho quantificado de um sistema de produto e tem como objetivo primário servir de unidade de referência do estudo. Assim, todos os dados do estudo de ACV são relacionados à unidade funcional, ou seja, todas as entradas e saídas do sistema são relacionadas a esta unidade. Portanto, esta unidade precisa ser bem definida e mensurável. Como exemplos tem-se 1.000 kg de café torrado e moído disponível para distribuição, 1.000 kg de água tratada pronta para o consumo, 1 m<sup>2</sup> revestido por tinta por um período de um ano, etc.

### 1.4.2 Fronteiras do Sistema

A fronteira do sistema estabelece limites para o estudo, ou seja, define todos os processos elementares que serão estudados.

As fronteiras precisam ser estabelecidas em diversas dimensões, a saber:

- Fronteiras em relação aos sistemas naturais: fronteira entre o sistema técnico e o meio ambiente, ou seja, especificação do início e do fim do sistema;
- Fronteiras geográficas: delimitação da área do sistema estudado;
- Fronteiras temporais: perspectiva de tempo do estudo, isto é, passado, presente ou futuro;
- Fronteiras dentro do sistema técnico relacionadas com a produção: definição das atividades que constam do ciclo de vida do produto estudado que serão incluídas no estudo, bem como daquelas que serão excluídas;
- Fronteiras dentro do sistema técnico relacionadas com o ciclo de vida de outros produtos: quando um processo produtivo gera diversos produtos, a carga ambiental deve ser distribuída entre os vários co-produtos.

O estabelecimento das fronteiras do estudo é feito no início da fase de definição do objetivo e escopo. No entanto, a fronteira final do sistema é definida efetivamente somente quando informações suficientes foram coletadas durante a análise de inventário. Assim, se alguma parte do ciclo de vida do produto não foi estudada esta exclusão deve estar bem clara no relatório.

Preferencialmente deve-se descrever o sistema técnico com um fluxograma que contém todos os processos elementares incluídos no estudo.

### 1.4.3 Alocação

Situações que requerem critérios de alocação ocorrem em estudos de ACV quando o ciclo de vida de produtos diferentes são interligados. Pode-se citar como exemplos de ciclos de vida interligados a produção de queijo e leite, suco de laranja e ração para gado, óleo diesel e gasolina, etc. Quando estas situações ocorrem, a norma ISO 14041 (1998) recomenda que a fronteira do sistema seja expandida de modo que os co-produtos sejam incluídos no estudo ou o nível de detalhes do ciclo de vida seja ampliado, o que ajuda na identificação de dados relevantes que são específicos do produto.

Se nenhum dos procedimentos for aplicável, deve-se empregar um método de alocação para dividir as cargas ambientais entre os diversos co-produtos. Esta divisão pode ser feita com base em:

- alocação física, ou seja, todas as alterações quantitativas nos produtos ou em suas funções são correlacionadas com mudanças nos fluxos de entrada e saída do sistema;
- alocação econômica, isto é, divisão baseada no valor econômico dos produtos obtidos como reflexo de seus preços relativos.

A alocação econômica tem sido adotada preferencialmente, uma vez que a produção de um produto com alto valor agregado é a motivação principal da sua produção.

#### 1.4.4 Qualidade dos Dados e Coleta de Dados

É importante que os dados utilizados atendam o objetivo do estudo, uma vez que dados com qualidade adequada aumentam a confiabilidade dos resultados e das conclusões. Um estudo de ACV normalmente é um resumo de uma grande quantidade de dados de qualidade variável, portanto a transparência dos dados é crucial. Por exemplo, dados coletados diretamente de sistemas produtivos e dados obtidos da literatura são dois modos distintos de coleta de dados e que representam a realidade de modos bem diferentes.

Para minimizar a variabilidade da qualidade dos dados, os requisitos de qualidade dos dados devem ser estabelecidos na fase de definição do objetivo e escopo do estudo, antes do início do inventário. De acordo com a ISO 14041 (1998), os seguintes parâmetros devem ser estabelecidos:

- Abrangência temporal: idade dos dados;
- Abrangência geográfica: área geográfica onde os dados são relevantes;
- Abrangência tecnológica: tipo de tecnologia, isto é, a melhor disponível, o pior processo operacional, a média ponderada de um *mix* de processos atuais;
- Precisão: variância dos dados;
- Completeza: a porcentagem de empresas/propriedades que forneceram dados primários para cada categoria de dados em um processo elementar;
- Representatividade: avaliação qualitativa do grau com que os dados refletem o valor verdadeiro da abrangência temporal, geográfica e tecnológica adotadas.

Quando o estudo estiver completo, deve-se avaliar os dados utilizados em relação aos mesmos parâmetros citados anteriormente com a finalidade de descobrir se existem dados importantes para o estudo que precisam ser melhorados e/ou estabelecer restrições à amplitude das conclusões do estudo. Von Bahr e Steen (2004) sugerem três critérios para avaliar a qualidade dos dados: relevância, confiabilidade e acessibilidade.

### 1.5 Aplicações da ACV

A ACV é uma metodologia importante pois trata com clareza de questões ambientais complexas, gerando números que permitem a tomada de decisões em bases objetivas. Assim, a ACV é uma ferramenta muito útil para subsidiar o entendimento e/ou gerenciamento de temas complexos, tais como:

- Gerenciamento e preservação de recursos naturais;
- Identificação dos pontos críticos de um determinado processo / produto;
- Otimização de sistemas de produtos;
- Desenvolvimento de novos serviços e produtos;
- Otimização de sistemas de reciclagem mecânica e/ou energética;
- Definição de parâmetros para atribuição de rótulo ambiental a um determinado produto (MOURAD; GARCIA; VILHENA, 2002).

A ACV também serve de base para o gerenciamento do ciclo de vida – LCM (sigla em inglês). O conceito de LCM considera o ciclo de vida do produto como um todo e otimiza a interação entre o projeto do produto,

a produção e as atividades do ciclo de vida. Projetar os produtos levando em conta seu ciclo de vida é um dos desafios enfrentados atualmente pelos fabricantes. Assim, os esforços feitos para aumentar a eficiência dos processos ao longo do ciclo de vida não implicam somente em estender a responsabilidade entre as partes envolvidas.

Desse modo, o objetivo do LCM é proteger os recursos naturais e maximizar a eficiência por meio da ACV, do gerenciamento dos dados do produto, de suporte técnico e, inclusive, da análise de custo do ciclo de vida - ACCV. Portanto, o LCM é um conceito e não um método ou ferramenta, como por exemplo a ACV e a ACCV, etc. Entretanto, a relação entre o conceito de LCM e as ferramentas ainda não está bem estabelecida e vem sendo discutida em congressos e publicações (KLOPFER; HEINRICH, 2002).

A busca por produtos e processos sustentáveis vem ganhando importância cada vez maior nas indústrias, de modo que o sucesso econômico das empresas depende cada vez mais da extensão em que as mesmas conseguem atender as demandas do desenvolvimento sustentável. A eco-eficiência é uma filosofia de gerenciamento segundo a qual as empresas são encorajadas a se tornar mais competitivas e inovadoras ao mesmo tempo em que praticam, também, uma maior responsabilidade em relação ao meio ambiente. Em muitos casos a eco-eficiência representa uma otimização ecológica de todo o sistema ao mesmo tempo em que considera também os fatores econômicos envolvidos.

Portanto, a ACV possibilita a visualização de todas as interfaces das diversas etapas do ciclo de vida com o meio ambiente.

## Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040**: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida – princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001. 10 p.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14041**: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida – definição de objetivo e análise de inventário. Rio de Janeiro, 2004. 25 p.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14042**: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida – avaliação do impacto do ciclo de vida. Rio de Janeiro, 2004. 17 p.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14043**: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida – interpretação do ciclo de vida. Rio de Janeiro, 2005. 19 p.

CONSOLI, F. et al. **Guidelines for life-cycle assessment**: a code of practice. Pensacola: SETAC, 1993. 73 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14040**: environmental management – life cycle assessment – principles and framework. Genève, 1997. 12 p.

\_\_\_\_\_. **ISO 14041**: environmental management – life cycle assessment – goal and scope definition and inventory analysis. Genève, 1998. 22 p.

\_\_\_\_\_. **ISO 14042**: environmental management – life cycle assessment – life cycle impact assessment. Genève, 2000. 16 p.

\_\_\_\_\_. **ISO 14043**: environmental management – life cycle assessment – life cycle interpretation – Genève, 2000. 18 p.

\_\_\_\_\_. **ISO/FDIS 14040**: environmental management – life cycle assessment – principles and framework. Genève, 2006. 31 p.

\_\_\_\_\_. **ISO/FDIS 14044**: environmental management – life cycle assessment – requirements and guidelines. Genève, 2006. 57 p.

\_\_\_\_\_. **ISO/TR 14047**: environmental management – life cycle impact assessment – examples of application of ISO 14042. Genève, 2003. 87 p.

\_\_\_\_\_. **ISO/TS 14048**: environmental management – life cycle assessment – data documentation format. Genève, 2002. 41 p.

\_\_\_\_\_. **ISO/TR 14049**: environmental management – life cycle assessment – examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis. Genève, 2000. 42 p.

KLOPFER, W.; HEINRICH, A.B. Life cycle management (LCM). *Int. J. LCA*, v. 7, n. 3, 133, 2002.

MATTSSON B, SONESSON U (Ed.) **Environmentally-friendly food processing**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2003. 337 p.

MOURAD, A.L.; GARCIA, E.E.C.; VILHENA, A. **Avaliação do ciclo de vida**: princípios e aplicações. CETEA/CEMPRE, Campinas, 2002. 92 p.

PIRA International. **Life cycle impact assessment training course**. Leatherhead: PIRA, 2003.

SALING, P.; MAISCH, R.; SILVANI, M.; KONIG, N. Assessing the environmental-hazard potential for life cycle assessment, eco-efficiency and SEEbalance®. **Int. J. LCA**, v. 10, n. 5, p. 364-371, 2005.

VON BAHR, B., STEEN, B. Reducing epistemological uncertainty in life cycle inventory. **J. Cleaner Prod.**, v. 12, n. 4, p. 369-388, 2004.