Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão

Organizado por

Leda Coltro

25 anos CETEA

Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão

Organizado por
LEDA COLTRO

2007

Agradecimentos

Á FINEP/MCT - Financiadora de Estudos e Projetos / Ministério da Ciência e Tecnologia, pelo apoio financeiro e bolsas de estudo concedidos ao projeto de pesquisa ref. 0816/02, convênio 01.02.0128-00, intitulado “Avaliação do Ciclo de Vida como instrumento de gestão de processos e produtos”, por meio do edital Verde-Amarelo / TIB:FINEP 01 / 2002.

Ficha Técnica

Revisão Técnica: Leda Coltro
Revisão Bibliográfica: Marta Cuêrvo e Ana Cândida Krasilchik
Diagramação: Patricia Rejane Citrângulo

Ficha catalográfica elaborada pela Área de Documentação e Informação do Centro de Tecnologia de Embalagem – CETEA / ITAL

Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão / Leda Coltro (Org.). Campinas: CETEA/ITAL, 2007. [on-line].

75 p.: il.

Bibliografia
ISBN 978-85-7029-083-0

1. Avaliação do ciclo de vida. 2. Meio ambiente. I. Título

© 2007 CETEA/ITAL, Campinas, Brasil

Esta publicação não pode ser reproduzida total ou parcialmente e sob qualquer forma para fins lucrativos ou não lucrativos sem a permissão por escrito dos proprietários dos direitos autorais.

Os Autores

Anna Lúcia Mourad. Mestre em Físico Química pelo Instituto de Química da UNICAMP e Especialista em Gestão Ambiental pela Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP/ CETESB. Pesquisadora do Centro de Tecnologia de Embalagem – CETEA, do Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL desde 1995, com atuação em linhas de pesquisa envolvendo avaliação do desempenho e do transporte de embalagens de papel, cartão, papelão ondulado e estudos de ACV de embalagens celulósicas, produtos agrícolas e biocombustíveis.

Eloísa Elena Corrêa Garcia. Mestre em Tecnologia de Alimentos, na área de concentração de Embalagem e Engenheira de Alimentos pela Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP. Pesquisadora do Centro de Tecnologia de Embalagem – CETEA, do Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL desde 1983. Gerente Técnico dos Grupos de Embalagens Plásticas e de Meio Ambiente do CETEA desde 1993. Especialista em avaliação do potencial de interação embalagem plástica / produto e em legislação de embalagem e segurança de alimentos. Há dez anos coordena o desenvolvimento da linha de pesquisa sobre estudos de ACV de embalagens e produtos.

Guilherme de Castilho Queiroz. Doutor em Planejamento de Sistemas Energéticos pela UNICAMP, Mestre em Economia, Energia e Meio Ambiente pela *Scuola Superiore Enrico Mattei* (Grupo ENI, Itália) e Engenheiro Mecânico pela UNESP. Professor e Diretor de Pesquisa da UNESC de 1994 a 2001. Pesquisador do Centro de Tecnologia de Embalagem – CETEA, do Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL desde 2001, com atuação em linhas de pesquisa envolvendo estudos de ACV de embalagens, energia e produtos, ACCV, rotulagem ambiental, *design for environment* e avaliação do desempenho mecânico de embalagens e materiais plásticos.

Jozeti Barbutti Gatti. Mestre em Engenharia Mecânica pela Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP e Engenheira Química pela Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP. Pesquisadora do Centro de Tecnologia de Embalagem – CETEA, do Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL desde 1995, com atuação em linhas de pesquisa envolvendo caracterização de materiais e avaliação do desempenho quanto à corrosão de embalagens metálicas e estudos de ACV de embalagens e produtos.

Leda Coltro, Doutora e Mestre em Físico Química, com especialização na área de polímeros e Bacharel em Química pelo Instituto de Química da UNICAMP. Pesquisadora do Centro de Tecnologia de Embalagem – CETEA, do Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL desde 1994, com atuação em linhas de pesquisa envolvendo estudos de ACV de embalagens, energia, produtos agrícolas e derivados de petróleo e identificação e quantificação de aditivos em embalagens e materiais plásticos.

Sandra Balan Mendoza Jaime. Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais e Engenheira de Materiais pela UFSCar. Pesquisadora do Centro de Tecnologia de Embalagem – CETEA, do Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL desde 1993, com atuação em linhas de pesquisa envolvendo avaliação do desempenho físico, mecânico, térmico e químico de embalagens e artigos de vidro, diagnóstico de fratura e estudos de ACV de embalagens e produtos.

Conteúdo

Os Autores **2**

Prefácio **5**

1. Avaliação do Ciclo de Vida - ACV **7**
Leda Coltro

1.1 Introdução 7
1.2 Normalização 7
1.3 Metodologia de ACV 8
1.4 Elementos Fundamentais da ACV 11
1.4.1 Unidade Funcional 11
1.4.2 Fronteiras do Sistema 11
1.4.3 Alocação 11
1.4.4 Qualidade dos Dados e Coleta de Dados 12
1.5 Aplicações da ACV 12
Referências Bibliográficas 13

2. Reciclagem de Embalagem em Termos de ACV – Estudo de Caso **15**
Jozeti Barbutti Gatti

Guilherme de Castilho Queiroz

Eloísa Elena Corrêa Garcia

2.1 Introdução 15
2.2 Produção de Alumínio 17
2.3 Produção de Chapa, Latas de Alumínio e Processo de Reciclagem 19
2.3.1 Produção de Chapas de Alumínio 19
2.3.2 Produção de Latas de Duas Peças em Alumínio 19
2.3.3 Produção da Tampa de Fácil Abertura para Latas de Duas Peças em Alumínio 19
2.3.4 Reciclagem de Latas de Alumínio 20
2.4 Avaliação da Influência da Reciclagem no ICV de Latas de Alumínio para Bebidas 20
2.5 Agradecimentos 24
Referências Bibliográficas 24

3. ACV de Embalagem de Vidro para Sistemas Retornável e Descartável **25**
Sandra Balan Mendoza Jaime

3.1 Introdução 25
3.2 O Vidro e a Embalagem de Vidro 25
3.3 ACV Aplicada a Sistemas Retornável e Descartável de Embalagem de Vidro 27
Referências Bibliográficas 31

4. ACV de Produtos Alimentícios **33**
Leda Coltro

Anna Lúcia Mourad

4.1 Introdução 33
4.2 A ACV Agrícola como Instrumento de Gestão Ambiental no Brasil 35
4.2.1 A Produção Brasileira de Café 35

4.2.2 Tipos de Café 35
4.2.3 Características do Estudo de ACV do Café 36
4.2.4 Características do Cultivo de Café no Brasil 37
4.2.5 Principais Resultados do Estudo de ACv do Café 38
4.3 Agradecimentos 39
Referências Bibliográficas 39

5. Rotulagem Ambiental 41
Leda Coltro

5.1 Introdução 41
5.2 Programas de Rotulagem Ambiental Tipo I 42
5.3 Exemplo de Programa de Rotulagem Ambiental Tipo I 44
Referências Bibliográficas 45

6. Análise de Custo do Ciclo de Vida (ACCV): Metodologia e Aplicação em Eficiência Energética 47
Guilherme de Castilho Queiroz

Eloísa Elena Corrêa Garcia

6.1 Introdução 47
6.2 Análise de Custo do Ciclo de Vida - ACCV 48
6.3 Metodologia de ACCV 52
6.4 Aplicações da ACCV na Área de Eficiência Energética no Mundo 53
6.4.1 Eficiência Energética na Europa 53
6.4.2 Eficiência Energética nos Estados Unidos (EUA) 56
6.4.3 Eficiência Energética no Brasil 58
6.5 Comentários e Sugestões 59
Referências Bibliográficas 59

7. ACV como Ferramenta do Gerenciamento Integrado do Resíduo Sólido (GIRS) 61
Guilherme de Castilho Queiroz

Eloísa Elena Corrêa Garcia

7.1 Introdução 61
7.2 ACV como Ferramenta para o GIRS 65
7.3 Comentários e Sugestões 67
Referências Bibliográficas 67

8. Integração de Aspectos Ambientais no Desenvolvimento de Produto 69
Guilherme de Castilho Queiroz

Eloísa Elena Corrêa Garcia

8.1 ISO/TR 14062: *Ecodesign* ou *Design for Environment* - DfE 69
Referências Bibliográficas 72

Prefácio

Cada vez mais as questões relacionadas ao meio ambiente, preservação da natureza e desenvolvimento sustentável vêm se tornando foco de muitas discussões e decisões nacionais e internacionais, influenciando políticas públicas e questionando hábitos de consumo.

Preocupado com essas questões e acompanhando a tendência mundial, a partir de 1997, o CETEA desenvolveu um projeto pioneiro no Brasil sobre "*Análise de Ciclo de Vida – ACV de Embalagens para o Mercado Brasileiro*", em parceria com um Consórcio de Associações e Empresas e com o apoio da FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

Esse primeiro projeto teve como objetivo estabelecer a capacitação do CETEA na condução de estudos de ACV de embalagens no País, além de possibilitar a criação de um Banco de Dados, sob modelagem aplicável a estudos de ACV, da geração de energia elétrica da rede pública, do transporte de cargas e da gestão de resíduos sólidos pós consumo que refletissem a situação brasileira.

Em 2001-2003, os modelos de geração de energia elétrica da rede pública e de transporte de cargas foram atualizados através do projeto "*Ampliação do Banco de Dados do CETEA para Análise de Ciclo de Vida de Produtos e de Embalagens*" com financiamento do CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico /Programa RHAE, a fim de possibilitar a condução de novos estudos de ACV considerando a realidade brasileira.

Em 2002, fruto de uma parceria com o CEMPRE – Compromisso Empresarial para a Reciclagem, o CETEA publicou o livro *"Avaliação do Ciclo de Vida: Princípios e Aplicações*", visando a disseminação do conceito de ACV.

Desde então, o CETEA se dedica ao desenvolvimento de estudos de ACV de embalagens e de outros produtos, com o apoio direto do setor privado e de agências de fomento, com ênfase na identificação de oportunidades de melhorias ambientais como instrumento de gestão ambiental.

Dentre esses estudos destaca-se o projeto "*Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão de Processos e Produtos*" realizado com financiamento da FINEP/MCT – Financiadora de Estudos e Projetos/Ministério da Ciência e Tecnologia, com o objetivo de qualificar e quantificar os principais impactos ambientais da produção de café e de suco de laranja no Brasil.

Dentro das metas do Projeto FINEP/MCT, essa publicação "*Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão*", foi concebida com o intuito de divulgar a ACV no mercado brasileiro como tecnologia de gestão para melhoria ambiental contínua de produtos e processos.

Este livro é dedicado
a todos aqueles que respeitam o meio ambiente,
aos que lutam pela defesa do meio ambiente e
àqueles que nos motivam a viver e a continuar nesta luta,
os nossos filhos!

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).

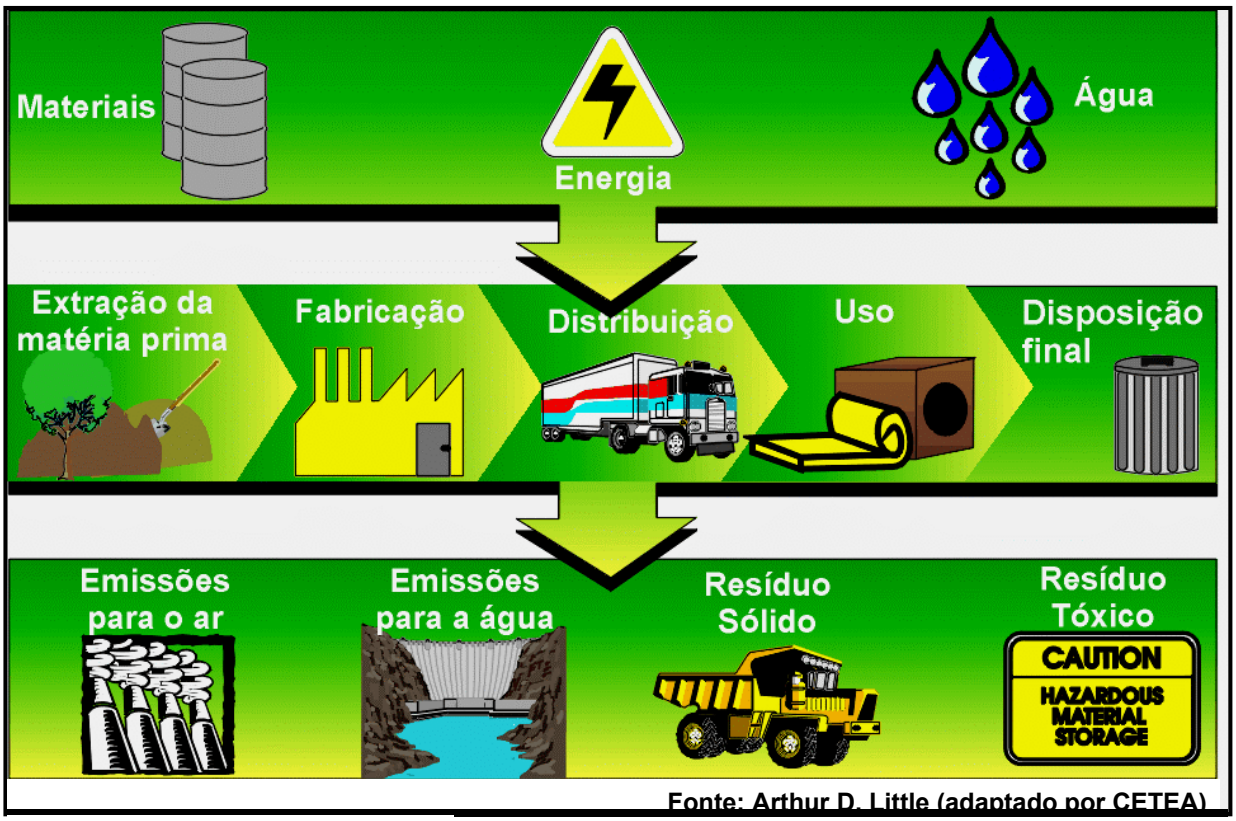


Figura 1.1 – Representação das etapas consideradas em um estudo de ACV

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).

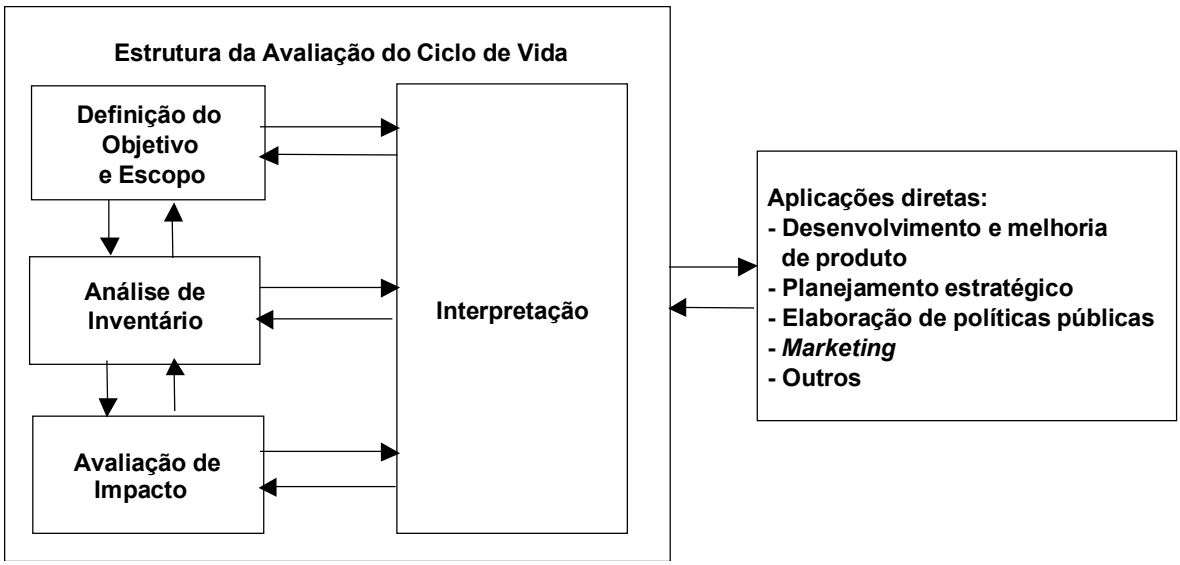


Figura 1.2 – Fases de um estudo de ACV (ISO 14040, 1997)

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_2O é equivalente à emissão de 296 kg de CO_2 e 1 kg de metano é equivalente a 23 kg de CO_2. 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 completeza, 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^2 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 (KLOPFFER; 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.

KLOPFFER, 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.

2 Reciclagem de Embalagem em Termos de ACV – Estudo de Caso

Jozeti Barbutti Gatti
Guilherme de Castilho Queiroz
Eloísa Elena Corrêa Garcia

2.1 Introdução

Este capítulo apresenta um estudo de caso, no qual quantificou-se a influência da reciclagem no Inventário de Ciclo de Vida de determinada embalagem. O estudo completo foi desenvolvido visando a interpretação de produtos brasileiros em alumínio pela técnica de Avaliação do Ciclo de Vida, considerando as condições e o nível tecnológico do país no período entre 2000 e 2002.

Para construção dos Inventários do Ciclo de Vida foram utilizados os modelos de Geração de Energia Elétrica da rede pública e de Transporte de Cargas desenvolvidos pelo CETEA, sob a modelagem de dados aplicáveis a estudos de ACV.

A metodologia utilizada tomou como base as recomendações da SETAC - *Society of Environmental Toxicology and Chemistry e a norma ISO 14040* (SOCIETY...,1993; ISO, 1997).

As fronteiras do estudo encontram-se ilustradas na figura 2.1, sendo que cada material foi analisado a partir da extração das matérias-primas naturais, bauxita, petróleo, gás natural, carvão mineral, etc.

As etapas relacionadas ao sistema de geração de energia elétrica nacional, transporte rodoviário de cargas e queima de combustíveis foram incorporadas aos Inventários relacionados à ACV dos produtos estudados.

Todas as etapas de transporte foram incluídas nas fronteiras do sistema. Quando do conhecimento do retorno vazio do caminhão em uma determinada etapa do sistema, foi considerada a distância em dobro de transporte.

Os principais aspectos (consumos e emissões) relativos à extração e produção dos combustíveis fósseis (pré-combustão) como óleo diesel, óleo combustível, carvão, gás natural e gás liqüefeito de petróleo – GLP, foram incluídos nas fronteiras do sistema. Entretanto, não foi considerada a etapa de transporte do óleo diesel até os postos de abastecimento de caminhões para o transporte rodoviário de cargas.

As tintas de impressão, vernizes, vedantes, aditivos, lubrificantes, pigmentos, vedantes etc., foram considerados apenas quanto ao consumo de energia e emissões associados à sua aplicação/secagem. Esses componentes foram quantificados e identificados em grupo como “outros insumos”, quando pertinente.

A produção e os tratamentos do produto acondicionado (bebida carbonatada) ficaram fora das fronteiras do sistema. Considerou-se apenas o transporte médio das tampas e latas vazias até o produtor de bebida, tendo também ficado fora das fronteiras do estudo as embalagens secundárias necessárias a este transporte.

Todos os resíduos sólidos, inertes ou não, provenientes de processos industriais foram contabilizados conjuntamente dentro da classificação “resíduo de processo industrial”.

A água utilizada nos processos industriais e, posteriormente, devolvida aos esgotos ou rios foi quantificada, excluindo-se a água de circuitos fechados e/ou recirculação interna. Entretanto, foi considerada água de

reposição (*make up*) necessária. Nos casos em que o abastecimento de água para a indústria foi proveniente da rede pública, o processo público de tratamento de água, modelado com dados aplicáveis a ACV, foi incluído nas fronteiras do estudo.

Os resíduos ou sub-produtos de processos com potencial de aplicação para outras finalidades, reciclados ou utilizados por processos excluídos da fronteira do sistema, foram contabilizados em um único grupo denominado "reciclagem externa ao sistema" (*open loop recycling*).

Os resíduos de processos industriais reciclados num mesmo processo de produção, como os denominados retalhos de processos originados principalmente nas etapas de laminação de chapas e folhas, refletiram em economia de energia, de matéria-prima e em redução de emissões para o produto ao qual pertenciam, receberam tratamento conhecido em ACV como reciclagem em circuito fechado (*close loop recycling*).

Vale enfatizar que neste estudo de ACV de produtos em alumínio não foram considerados os investimentos capitais, ou seja, os recursos e a energia utilizados na construção e manutenção de indústrias, estradas, usinas de energia, caminhões etc. Identificou-se e quantificou-se apenas os consumos e emissões relativos à produção, distribuição, reciclagem e disposição final de materiais.

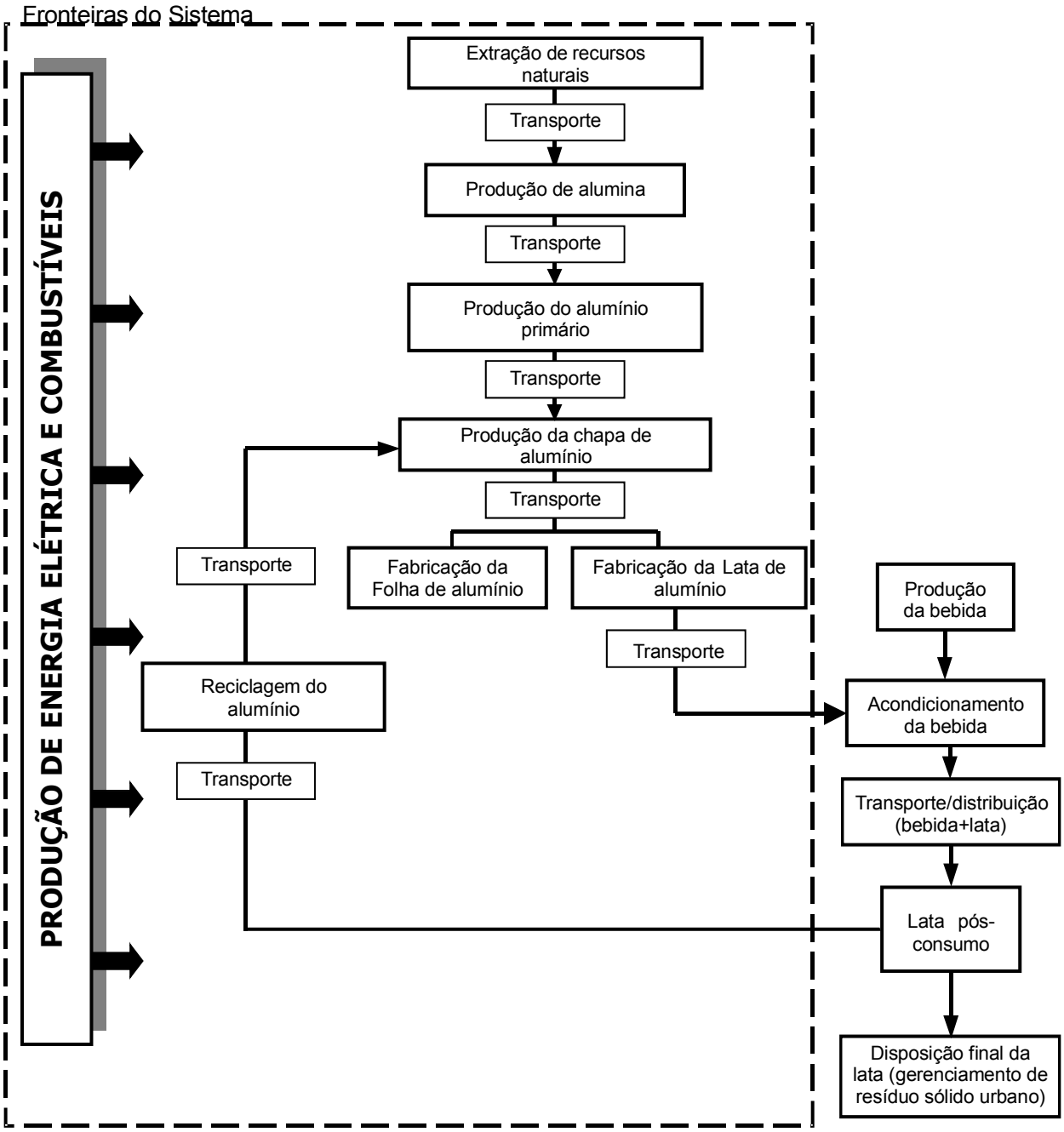


Figura 2.1 - Representação esquemática das fronteiras do estudo

Embora a Avaliação de Impacto não tenha sido incluída no escopo do Projeto, nove categorias de impacto consideradas relevantes para a situação brasileira foram selecionadas e encontram-se descritas a seguir, visando direcionar o levantamento e a coleta dos dados.

Os dados de consumo e emissões coletados, portanto, encontram-se relacionados às principais categorias de impacto utilizadas para retratar o Ciclo de Vida dos sistemas estudados. Estas categorias, normalmente, incluem aspectos relativos ao uso de recursos naturais, à influência sobre a saúde humana ou que tenham conseqüências ecológicas.

Algumas categorias de impacto têm importância global, como as relacionadas ao efeito estufa e ao comprometimento da camada de ozônio; outras têm significado regional, como os efeitos toxicológicos, a chuva ácida e a disposição final de resíduo sólido urbano.

As seguintes categorias de impacto foram selecionadas para este estudo:

- Consumo de recursos naturais
- Mudanças climáticas (efeito estufa)
- Acidificação
- Nutrificação/eutrofização
- Formação de atmosfera com compostos oxidantes
- Toxicidade humana
- Ecotoxicidade
- Uso de espaço para disposição final
- Uso de terra

Essas categorias de impacto foram consideradas as mais importantes em relação ao cenário brasileiro de produção de produtos de alumínio.

2.2 Produção de Alumínio

A bauxita é o minério mais importante para a produção de alumínio, contendo de 35% a 55% de óxido de alumínio, sendo que o Brasil possui a terceira maior reserva do mundo desse minério, localizada na região amazônica, perdendo apenas para Austrália e Guiné. Além da Amazônia, o alumínio pode ser encontrado no sudeste do Brasil, na região de Poços de Caldas (MG) e Cataguases (MG). Atualmente, os Estados Unidos e o Canadá são os maiores produtores mundiais de alumínio. Entretanto, nenhum deles possui jazidas de bauxita em seu território, dependendo exclusivamente da importação. A produção atual de alumínio supera a soma de todos os outros metais não ferrosos (ABAL, 2007a).

O processo de obtenção de alumínio primário divide-se em três etapas: mineração, refinaria e redução (ABAL, 2000).

O processo da mineração da bauxita compreende a remoção da vegetação e do solo orgânico, seguida da retirada das camadas superficiais do solo (argilas e lateritas), partindo-se para o beneficiamento do minério, que consiste de britagem, lavagem com água para redução do teor de sílica e secagem, sendo enviada para a refinaria para a produção da alumina.

A alumina, óxido de alumínio de elevada pureza, é o resultado do processamento químico da bauxita, conhecido como processo *Bayer.* As principais fases da produção da alumina, desde a entrada do minério até a saída do produto final são: moagem, digestão, filtração/evaporação, precipitação e calcinação. Além de bauxita, energia elétrica e combustíveis, a produção de alumina requer outros insumos, cujo consumo depende da qualidade do minério, sendo os principais: cal, soda cáustica, vapor, floculantes e água.

A principal emissão desta etapa do processo diz respeito ao resíduo sólido resultante da extração da alumina da bauxita, o qual apresenta-se sob a forma de uma polpa alcalina, contendo partículas sólidas, exigindo cuidados especiais para a disposição final. Também são geradas emissões atmosféricas, principalmente nas caldeiras e fornos de calcinação de alumina.

O alumínio primário é obtido por meio da redução eletrolítica da alumina, processo conhecido como *Hall and Héroult*, seguida da fundição e lingotamento do metal.

No processo de redução, a alumina é misturada a um banho de sais fundidos, constituídos de fluoretos e criolita em uma cuba de aço, também conhecida como célula de redução ou *pot*, cujas paredes são isoladas por tijolos refratários, que por sua vez são recobertos com tijolos de carbono, consistindo no catodo da célula eletrolítica. Corrente elétrica é conduzida através de barras de aço e do próprio banho até anodos de carbono também localizados na cuba eletrolítica. A corrente elétrica permite que a alumina (Al_2O_3) se decomponha em alumínio metálico e oxigênio; o oxigênio reage com os anodos de carbono formando CO (monóxido de carbono) e CO_2 (dióxido de carbono) e o alumínio líquido deposita-se no fundo da cuba, sendo sifonado periodicamente para as etapas de fundição e lingotamento, em processo contínuo.

O conjunto formado pelo material refratário e pelo revestimento de carbono, conhecido como *potliner*, é considerado a maior fonte de resíduo sólido no processo de redução, gerando o resíduo RGC (revestimento gasto de cubas) ou *spent potliner,* SPL.

Assim sendo, os dois materiais consumidos no processo são alumina e anodo de carbono. A criolita pode ser recuperada e reciclada facilmente. Além disso, é possível a recuperação de criolita volatilizada no processo por meio de sistemas lavadores de gases, reduzindo assim o potencial de emissão de fluoretos para o ar.

Algumas plantas de redução empregam outros aditivos no banho para melhorar suas características, como fluoreto de alumínio, fluoreto de cálcio e fluoreto de lítio. Os aditivos usados e as quantidades adicionadas variam conforme a empresa.

O principal resíduo sólido nesta etapa é o RGC, conforme mencionado, e as emissões para o ar incluem principalmente particulados, CO_2, CO, fluoretos, SOx (óxidos de enxofre), NOx (óxidos de nitrogênio) e compostos orgânicos. Sob condições desfavoráveis, como o "efeito anódico", as células podem produzir pequena quantidade de perfluorcarbonos, CF_4 e C_2F_6. Entretanto, as maiores emissões são CO_2 e CO e a razão entre eles é uma função da eficiência do processo e do tipo de anodo.

O RGC pode ser empregado como combustível na fabricação de telhas e tijolos e no co-processamento da indústria cimenteira.

A etapa de fundição inicia-se com alumínio primário líquido e termina com alumínio primário nas seguintes formas: lingotes, placa para posterior laminação a quente, tarugos para extrusão e lâminas. As principais emissões nessa etapa do processo são produtos de combustão (SOx, CO_2, NOx), HCl (ácido clorídrico) e Cl_2 (gás cloro) (no caso de fabricantes que utilizam cloro na fluxação) e escória de alumínio.

A figura 2.2 apresenta um fluxograma ilustrando a produção de alumínio primário, desde a extração da bauxita.

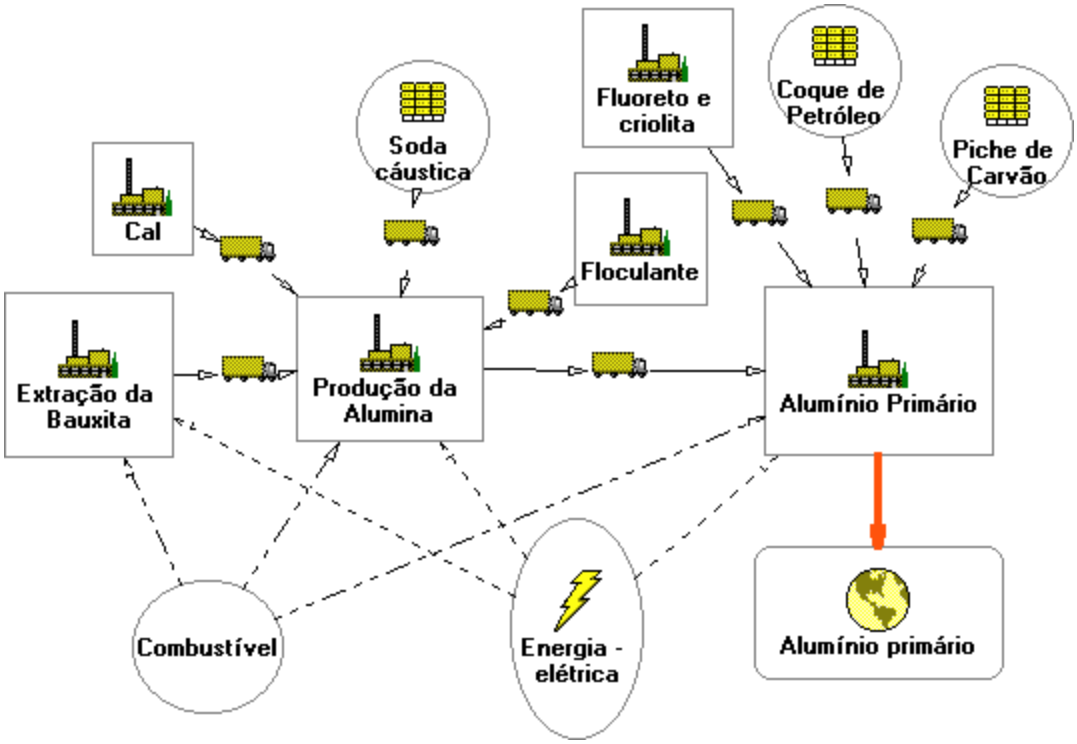


Figura 2.2 – Fluxograma simplificado do processo de produção de alumínio primário

2.3 Produção de Chapa, Latas de Alumínio e Processo de Reciclagem

2.3.1 Produção de Chapas de Alumínio

Os principais processos metalúrgicos de transformação do alumínio para produção de chapas para latas são a refusão de lingotes e retalhos de processo usados para obtenção de placas, a laminação e tratamentos térmicos de amolecimento.

Na etapa de refusão são adicionados elementos de liga para proporcionar características mecânicas apropriadas à chapa. Após a fundição e adição de elementos de liga, o metal líquido é transferido para fornos de espera onde sofrem um tratamento de fluxação com gases para remoção de hidrogênio dissolvido e de inclusões não metálicas. Durante o processo de refusão há a formação de escória de alumínio, que sobrenada o metal líquido. A liga metálica é, então, solidificada no formato de placas por meio de moldes refrigerados por água.

A obtenção de chapas de alumínio nas espessuras desejadas para a fabricação de latas e tampas dá-se por meio de processos de laminação, que consistem na redução da seção transversal das placas de alumínio por compressão por meio da passagem entre dois cilindros de aço com eixos paralelos, que giram em torno de si mesmos. Os processos de laminação são compostos por uma etapa a quente e outra a frio. A etapa a quente é realizada a temperaturas acima de 350°C (temperatura de recristalização do alumínio) e a redução da espessura por passe é de aproximadamente 50%, dependendo da dureza da liga que está sendo laminada. No último passe de laminação a quente, o material apresenta-se com espessura ao redor de 6 mm, sendo enrolado ou cortado em chapas planas, constituindo-se na matéria-prima para o processo de laminação a frio. A laminação a frio realiza-se a temperaturas bem inferiores às de recristalização do alumínio, sendo executada, geralmente, em laminadores quádruplos, reversíveis ou não, sendo este último o mais empregado. O número de passes depende da espessura inicial da matéria-prima, da espessura final, da liga e da têmpera do produto desejado. Os laminadores estão dimensionados para reduções de seções entre 30% e 70% por passe, dependendo, também, das características do material em questão. Após esses processos mecânicos, a chapa é enrolada em bobinas (ABAL, 2007d).

2.3.2 Produção de Latas de Duas Peças em Alumínio

O processo de produção das latas de duas peças em alumínio inicia-se com o corte da bobina de alumínio em discos que em seguida sofrem estampagem e estiramento. Na estampagem obtém-se o diâmetro final da lata, enquanto que no estiramento a altura é aumentada até um valor superior àquela requerida, por meio do afinamento do material por um punção e duas ou três matrizes de estiramento, onde a folga no sistema é inferior à espessura do copo formado.

A altura final da lata é alcançada com o corte do material excedente após o estiramento, no processo chamado refilamento.

Neste processo, o material não é previamente envernizado, sendo este realizado após a formação da lata e de sua lavagem para remoção do lubrificante e do líquido refrigerante necessários ao processo devido ao intenso efeito do estiramento sobre o metal e ao calor gerado nesta operação. Logo após o estiramento, o fundo da lata é formado em formato de domo, de forma a suportar a pressão interna inerente ao acondicionamento de bebidas.

Em geral, as etapas de estampagem, estiramento e formação do domo são feitas pelo mesmo punção, em uma mesma batida e a velocidade de produção é de cerca de 250 batidas por minuto. Uma vez que a estampagem é operada por sistemas com matrizes múltiplas, trabalhando a velocidades de 1.500 copos por minuto, são instaladas várias unidades de estiramento em uma linha, para alcançar a velocidade de forma eficiente.

Os rótulos são impressos por um sistema de flexografia em várias cores simultaneamente. Em seguida, como proteção é aplicado um envernizamento interno por processo *spray*, seguido da cura do verniz. As latas são, então, direcionadas às operações de formação de pescoço e de flangeamento (ABRALATAS, 2007).

2.3.3 Produção da Tampa de Fácil Abertura para Latas de Duas Peças em Alumínio

O processo de produção de tampa de fácil abertura para latas de duas peças em alumínio envolve o envernizamento de ambos os lados da chapa e a cura do verniz. Da chapa envernizada são cortados discos que são introduzidos numa prensa para estampagem da tampa em matriz e punção com desenhos apropriados ao uso, recebem o composto selante (vedante) e, então, são colocados em uma prensa de alta

precisão para formação e fixação dos anéis. O anel da tampa de fácil abertura é produzido em paralelo, partindo-se de folha não envernizada. Depois de prontas e inspecionadas, as tampas são embaladas para armazenagem e transporte (ABRALATAS, 2007).

2.3.4 Reciclagem de Latas de Alumínio

O processo de produção de alumínio reciclado é dividido em duas fases: a área fria e a área quente. A área fria consiste na passagem das latas que chegam dos postos de coleta ou de sucateiros em fardos prensados por um desenfardador para quebra dos blocos e, em seguida, por um moinho de facas para separação das latas que passarão por um separador magnético. Após essa primeira separação, um moinho de martelos picota e transforma as latas em cavacos que passam novamente por um separador magnético, em seguida por uma peneira para a retirada de sujidades como terra e areia e, posteriormente, por um separador pneumático para separar materiais leves e pesados. Na área quente, o material preparado na etapa anterior passa por um forno rotativo para retirada dos vernizes e tintas, antes de seguirem para o forno de fusão, onde a sucata de alumínio é convertida em metal líquido. O metal líquido é, então, transferido para cadinhos, os quais são transportados para a fábrica de chapas (NOVELIS, 2007). Esse processo pode gerar emissões atmosféricas como COV (compostos orgânicos voláteis), particulados, óxidos de nitrogênio (NOx), monóxido de carbono (CO) e cloretos, emissões para a água como metais e óleos e gorduras e resíduos sólidos. Geralmente, as emissões passam por sistemas de tratamento, objetivando a minimização de impactos ambientais.

A figura 2.3 apresenta um fluxograma simplificado dos processos de produção de chapa, lata e reciclagem de latas de alumínio.

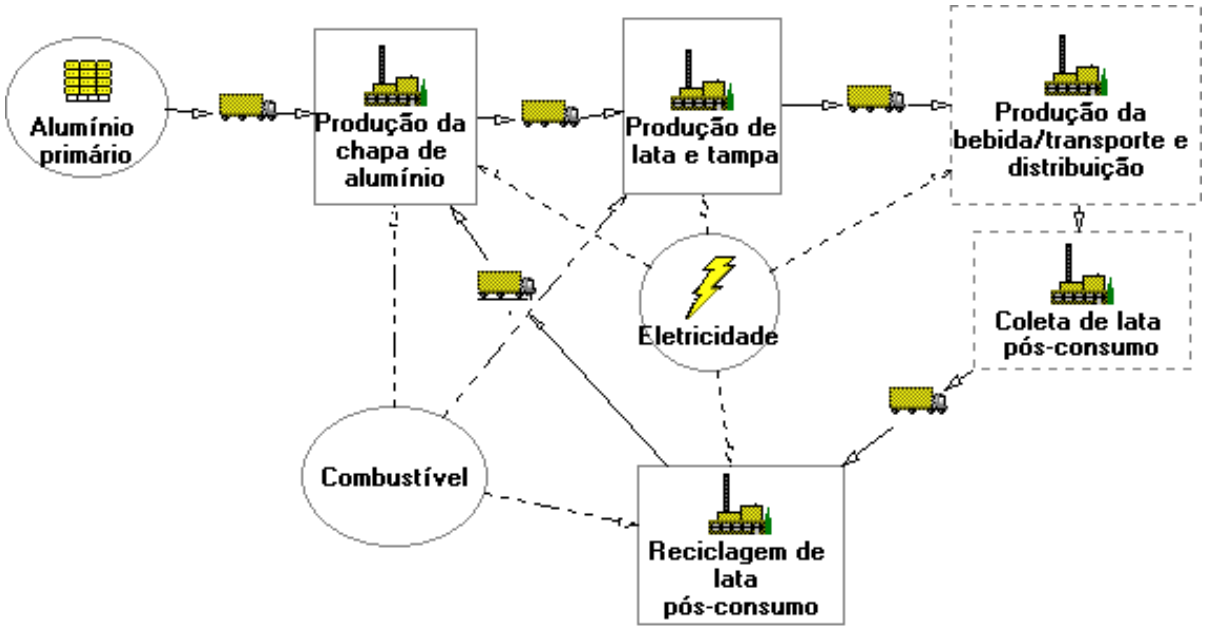


Figura 2.3 – Fluxograma simplificado dos processos de produção de chapa, lata e reciclagem de latas de alumínio

2.4 Avaliação da Influência da Reciclagem no ICV de Latas de Alumínio para Bebidas

O alumínio pode ser reciclado tanto a partir de sucatas geradas por produtos de vida útil esgotada quanto de sobras do processo produtivo. Utensílios domésticos, latas de bebidas, esquadrias de janelas, componentes automotivos, entre outros, podem ser fundidos e empregados novamente na fabricação de novos produtos.

Em 2004, o Brasil reciclou 281 mil toneladas de alumínio, equivalente a 38% do consumo doméstico do metal, enquanto a média mundial foi de 29%. Na figura 2.4 são apresentados os resultados dessa relação

para vários países, segundo cálculos elaborados pela ABAL com informações divulgadas pela *The Aluminum Association* (ABAL, 2006).

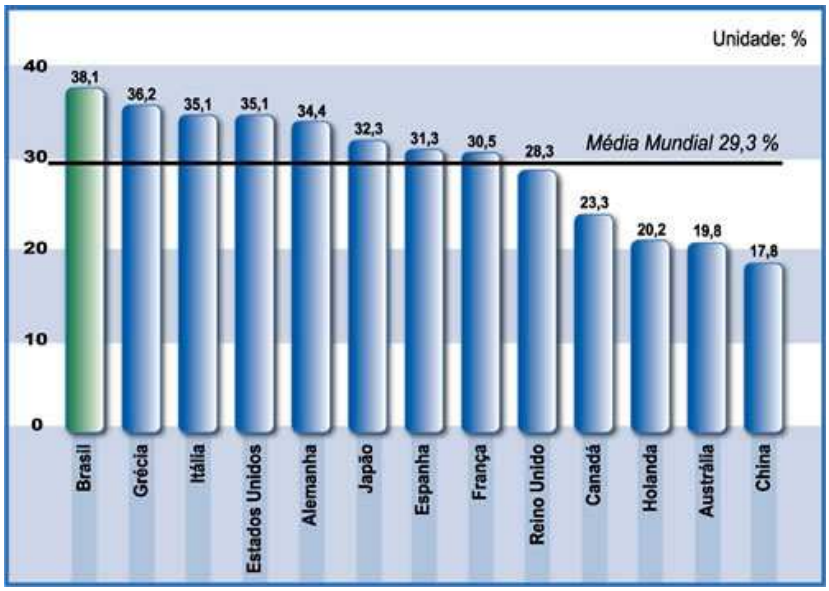
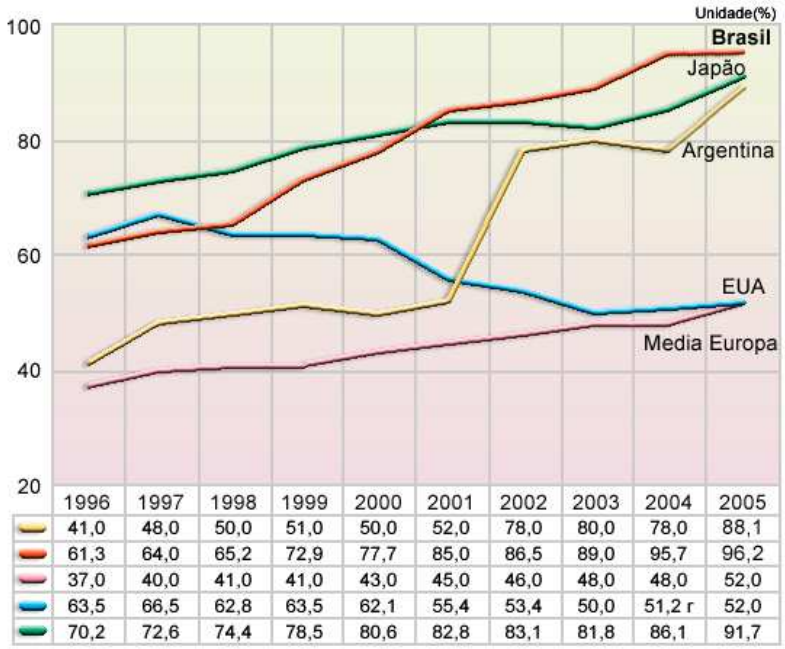


Figura 2.4 – Relação entre sucata recuperada e consumo doméstico relativa ao ano de 2004 (ABAL, 2006)

Em 2005 foram recicladas 96,2% das latas, índice superior ao de países como Japão (91,7%) e Estados Unidos (52%). Pelo quinto ano consecutivo, o Brasil liderou a reciclagem de latas de alumínio para bebidas, entre os países em que a atividade não é obrigatória por lei.

Atualmente, o ciclo da lata é de 30 dias, ou seja, nesse período, uma lata de alumínio pode ser comprada no supermercado, utilizada, coletada, reciclada e voltar às prateleiras para o consumo. Na figura 2.5 é apresentada a evolução dos índices de reciclagem de diversos países nos últimos 10 anos (ABAL, 2007b).



	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
	41,0	48,0	50,0	51,0	50,0	52,0	78,0	80,0	78,0	88,1
	61,3	64,0	65,2	72,9	77,7	85,0	86,5	89,0	95,7	96,2
	37,0	40,0	41,0	41,0	43,0	45,0	46,0	48,0	48,0	52,0
	63,5	66,5	62,8	63,5	62,1	55,4	53,4	50,0	51,2 r	52,0
	70,2	72,6	74,4	78,5	80,6	82,8	83,1	81,8	86,1	91,7

Figura 2.5 – Evolução dos índices de reciclagem de diversos países nos últimos 10 anos (ABAL, 2007c)

As figuras 2.6 a 2.10 apresentam gráficos ilustrando a redução no consumo de recursos naturais e de energia e emissões para ar e água, bem como geração de resíduo sólido no Ciclo de Vida de latas de

alumínio de duas peças para bebidas com capacidade de 350 mL, em função da taxa de reciclagem do alumínio.

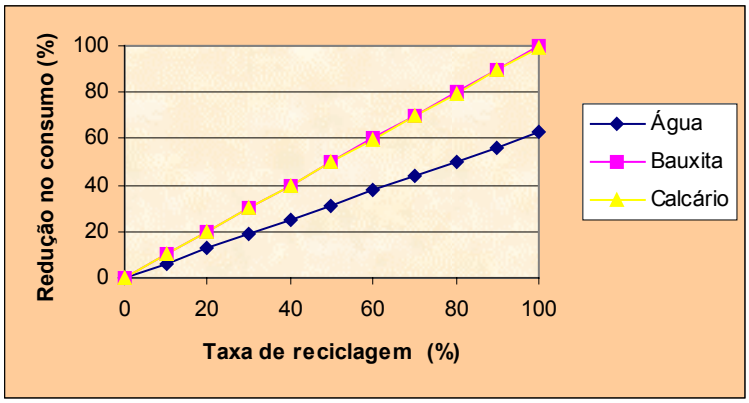


Figura 2.6 – Redução no consumo de recursos naturais em função da taxa de reciclagem do alumínio no Ciclo de Vida de 1.000 kg de latas de alumínio de duas peças para bebidas

Em geral, a diminuição do consumo de recursos naturais como bauxita, calcário e água tornam-se mais expressivas conforme a taxa de reciclagem aumenta. A diminuição do consumo de água, no entanto, é menor que as taxas de reciclagem praticadas porque não faz parte exclusivamente do processo de produção de alumínio, sendo consumida praticamente em todas as etapas da cadeia de produção e nas etapas de transporte.

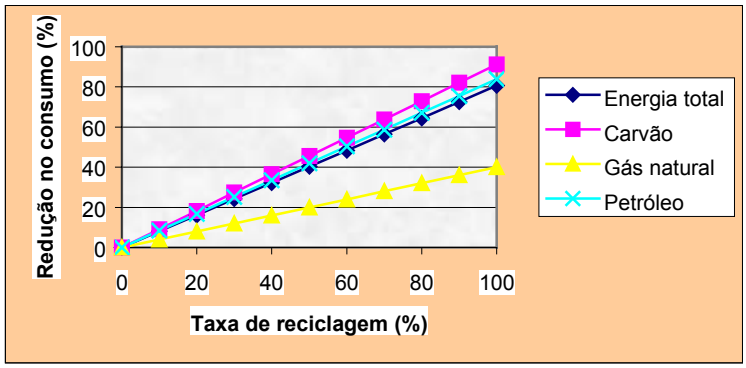


Figura 2.7 – Redução no consumo de energia total e de recursos energéticos em função da taxa de reciclagem do alumínio no Ciclo de Vida de 1.000 kg de latas de alumínio de duas peças para bebidas

A redução do consumo de recursos naturais como petróleo, gás natural e carvão é bastante significativa, de modo geral, conforme a taxa de reciclagem de alumínio aumenta. Verifica-se uma menor redução no consumo de gás natural para uma mesma taxa de reciclagem comparativamente aos outros recursos avaliados em função do amplo emprego desse gás em outras etapas da cadeia produtiva, destacando-se a cura de vernizes no processo de produção de latas.

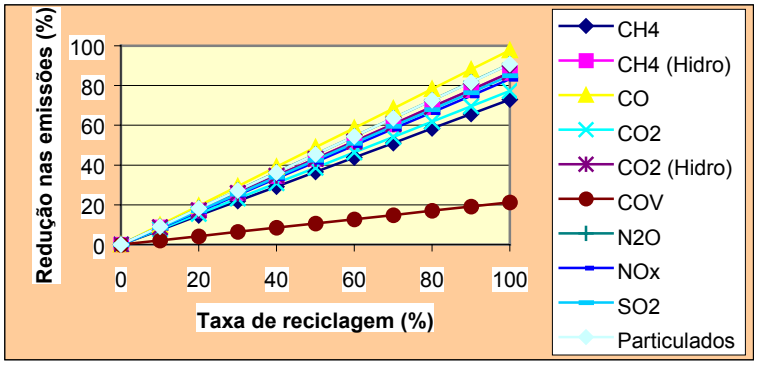


Figura 2.8 – Redução nas emissões para o ar em função da taxa de reciclagem do alumínio no Ciclo de Vida de 1.000 kg de latas de alumínio de duas peças para bebidas

A redução das emissões para o ar em função da taxa de reciclagem é verificada em todos os parâmetros inventariados, sendo que, para aqueles cuja emissão é verificada principalmente no processo de produção do alumínio primário a taxa de redução é mais significativa. No caso dos compostos orgânicos voláteis (COV), a principal fonte de emissão é o processo de cura de vernizes e como a reciclagem do alumínio influencia muito pouco esta etapa, a redução desta emissão em função da reciclagem é bem menor, quando comparada às demais.

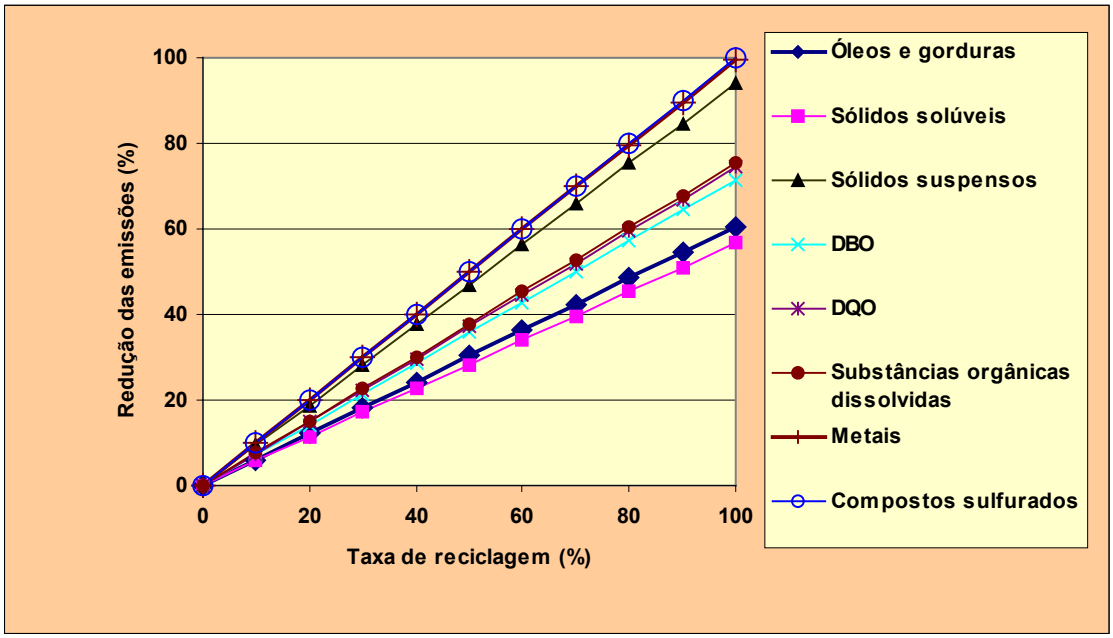


Figura 2.9 – Redução nas emissões para a água em função da taxa de reciclagem do alumínio no Ciclo de Vida de 1.000 kg de latas de alumínio de duas peças para bebidas

Em relação à emissões para a água, deve-se seguir o mesmo raciocínio feito para as emissões para o ar, ou seja, para aquelas emissões típicas do processo de produção do alumínio primário, verifica-se reduções mais intensas em função do aumento da taxa de reciclagem. Para aquelas emissões relacionadas às etapas posteriores do processo, incluindo até mesmo o processo de reciclagem, as reduções são menos significativas, como por exemplo as emissões de sólidos solúveis e óleos e gorduras inventariadas principalmente nos processos de produção de combustíveis empregados no transporte terrestre.

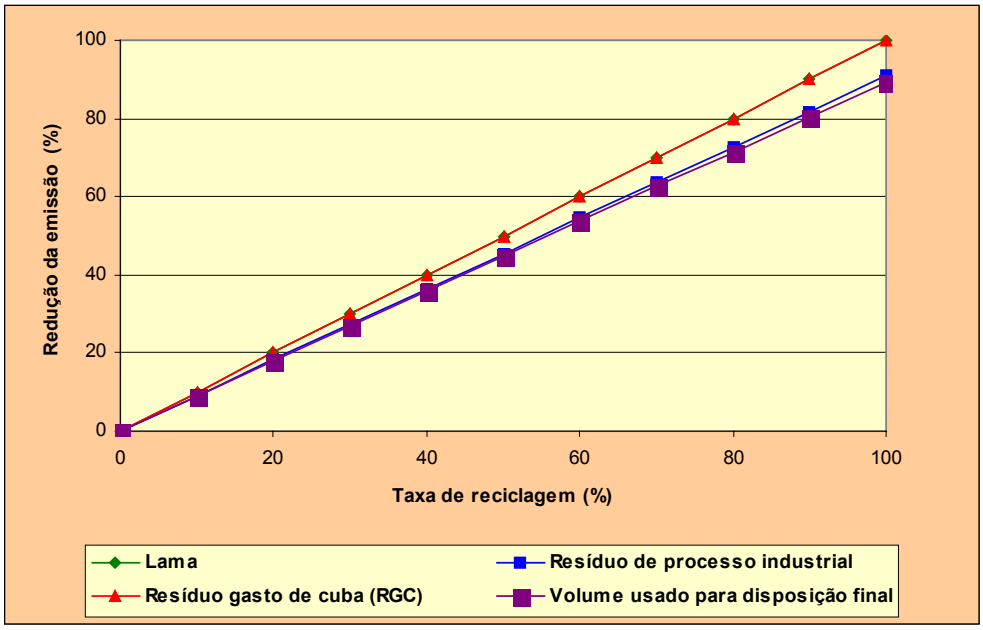


Figura 2.10 – Redução nas emissões de resíduos sólidos em função da taxa de reciclagem do alumínio no Ciclo de Vida de 1.000 kg de latas de alumínio de duas peças para bebidas

Quanto aos resíduos sólidos, verifica-se que a quantidade de lama gerada na etapa de produção da alumina e a quantidade de resíduo gasto de cubas (RGC) gerada durante a produção do alumínio primário são reduzidas à mesma taxa que o alumínio primário é substituído pelo alumínio reciclado durante o Ciclo de Vida da lata de alumínio para bebida. Outros resíduos de processos industriais e o volume usado para a disposição final têm sua taxa de redução ligeiramente inferior, uma vez que foram levantados em outras etapas desse Ciclo de Vida, incluindo o processo de reciclagem.

De forma geral, a influência da taxa de reciclagem do alumínio nos parâmetros inventariados é similar, uma vez que os valores aumentam conforme a taxa de reciclagem diminui porém, as proporções variam de acordo com o parâmetro, dependendo da contribuição da etapa de produção do alumínio primário aos valores finais do inventário. Este comportamento é esperado, uma vez que, a contribuição da etapa de produção do alumínio primário é predominante sobre a maior parte das outras etapas do Ciclo de Vida da lata.

De acordo com os resultados apresentados é possível concluir que o balanço da reciclagem é sempre positivo devido à importância dos estágios que precedem à produção da embalagem e o problema do aumento do volume do resíduo sólido municipal. A reciclagem de latas reduz parte do consumo de recursos naturais e das emissões associadas aos estágios anteriores à produção da embalagem e os parâmetros relacionados especificamente à produção de alumínio primário sofrem redução diretamente proporcional ao aumento da taxa de reciclagem. Assim sendo, todos os esforços realizados no sentido de aumentar a taxa de reciclagem terão uma contribuição positiva no inventário de Ciclo de Vida da lata de alumínio.

2.5 Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração da Associação Brasileira do Alumínio – ABAL e do Grupo de Meio Ambiente do CETEA.

Referências Bibliográficas

ABAL - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **Alumínio para futuras gerações**. São Paulo. São Paulo: ABAL, 2000. 45p.

_____. **Anuário estatístico ABAL 2005**. São Paulo: ABAL, 2006. 48p.

_____. **O alumínio:** introdução. Disponível em: <http://www.abal.org.br/aluminio/introducao.asp)>. Acesso: 04 mai 2007a.

_____. **Reciclagem:** latinhas campeãs. Disponível em: <http://www.abal.org.br/reciclagem/latas.asp>. Acesso: 04 mai 2007b.

_____. **Reciclagem:** números da reciclagem. Disponível em: <http://www.abal.org.br/industria/estatisticas_recicla_latas.asp?canal=8>. Acesso: 04 mai 2007c.

_____. **O alumínio**: processos de produção. Disponível em: <http://www.abal.org.br/aluminio/processos_laminacao.asp>. Acesso: 09 mai 2007d.

ABRALATAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE LATAS DE ALTA RECICLABILIDADE. **Como se fabrica a lata**. Disponível em: <http://www.abralatas.org.br/comofab_chapalata.asp>. Acesso: 02 mai 2007>.

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

NOVELIS. **Processo de reciclagem.** Disponível em: <http://www.novelis.com.br/NovelisBrasil/Reciclagem/ProcessoReciclagem/>. Acesso em 09 mai 2007.

SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY. Guidelines for life-cycle assessment: A code of practice. Pensacola: SETAC, 1993, 73p.

3 ACV de Embalagem de Vidro para Sistemas Retornável e Descartável

Sandra Balan Mendoza Jaime

3.1 Introdução

O tema "embalagem" tornou-se o alvo principal de muitas discussões ambientais, especialmente no que diz respeito ao resíduo sólido gerado após o consumo do produto. Uma vez que, após a utilização do produto o que resta é a embalagem, as pressões sobre a sua participação no resíduo sólido urbano são intensas. Entretanto, a embalagem é fundamental para a preservação dos produtos e, consequentemente, para o uso racional dos recursos naturais e do trabalho humano.

Voltada a este cenário, em 20 de dezembro de 1994 a Comunidade Européia publicou a Directiva 94/62/CE relativa a embalagens e resíduos de embalagens, aplicável a todas as embalagens colocadas no mercado europeu e a todos os resíduos de embalagem, quer sejam utilizados ou rejeitados como refugo pelas indústrias, estabelecimentos comerciais, serviços, dentre outros, independentemente dos materiais que as constituem. Dentre os vários aspectos abordados nesta Directiva, foi prevista a realização de programas nacionais para o desenvolvimento de sistemas de reutilização das embalagens (PARLAMENTO..., 2006).

Como conseqüência, as discussões sobre as vantagens ambientais relacionadas aos sistemas de embalagem retornável ou não-retornável (*one-way*) tornaram-se ainda maiores e a técnica de Avaliação do Ciclo de Vida – ACV vem sendo cada vez mais empregada como ferramenta para o levantamento de informações sobre as vantagens e desvantagens dos diversos sistemas produtivos.

3.2 O Vidro e a Embalagem de Vidro

Como material de embalagem, o vidro apresenta características ainda não encontradas em outros materiais. Pode ser considerado totalmente inerte e impermeável, não interagindo com o conteúdo, mesmo em condições ambientais desfavoráveis.

O vidro é o resultado da fusão de diversas matérias-primas inorgânicas minerais, as quais depois de submetidas a um processo de resfriamento controlado, transformam-se num material rígido, homogêneo, estável, inerte, amorfo e isótropo (possui propriedades idênticas em todas as direções). Sua principal característica é ser moldável a uma determinada temperatura, sem qualquer tipo de degradação.

O vidro de embalagem pode apresentar grande diversidade de valores em sua composição final, embora sempre estejam presentes alguns constituintes básicos, conforme apresentado na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Composição básica aproximada do vidro de embalagem do tipo sodo-cálcico (TOOLEY, 1984)

Óxido	Percentagem em peso (%)
SiO_2	71 a 74
Na_2O	10 a 14
CaO	7 a 11
MgO	0 a 2
Al_2O_3	1 a 3
K_2O	0 a 2

A principal fonte de matéria-prima para a produção do vidro é o óxido de silício ou a sílica (substância vitrificante ou formadora do vidro), obtida geralmente por extração convencional, tanto de origem marinha como fluvial, ou de jazidas naturais. Embora possa ser produzido um vidro à base de sílica pura, este material isolado apresenta um ponto de fusão elevado, na faixa de 1.700°C a 1.800°C, exigindo fornos especiais e que o torna economicamente inviável. Mesmo a essa temperatura elevada, o vidro de sílica pura apresenta uma viscosidade muito alta, imprópria para os processos de moldagem.

Para reduzir a temperatura de fusão da sílica e permitir que o processo de fabricação do vidro seja técnico e economicamente viável, adiciona-se à sílica o óxido de sódio (Na_2O) e/ou de potássio (K_2O), os quais atuam como fundentes ou fluxos. O carbonato de sódio (Na_2CO_3), fornecedor do óxido de sódio na composição do vidro, é o componente mais significativo no custo das matérias-primas do vidro, podendo representar até 60% desse valor. O óxido de potássio é obtido do feldspato, mineral complexo constituído por aluminosilicato duplo de sódio e potássio - $KNa(AlSi_3O_8)$, também extraído de jazidas naturais. Além do óxido de potássio, o feldspato é fonte de outros elementos do vidro, tais como o óxido de alumínio (Al_2O_3) ou alumina, o óxido de sódio (Na_2O) e a sílica.

Um vidro formado exclusivamente a partir de sílica e sódio possui um baixo ponto de fusão, mas uma alta solubilidade e, conseqüentemente, baixa resistência química, podendo favorecer um ataque preferencial do material pela água e levar a uma perda progressiva da transparência e da superfície lisa características do vidro. Portanto, faz-se necessária a substituição de parte do Na_2O por óxido de cálcio (CaO), óxido de magnésio (MgO) ou óxido de alumínio ou alumina (Al_2O_3). Essas substâncias são denominadas estabilizantes, uma vez que a sua presença confere um significativo aumento da resistência química e mecânica do vidro, evitando que seja solubilizado pela água. Os estabilizantes também conferem uma curva de viscosidade mais adequada ao processo de fabricação do vidro. O óxido de cálcio é fornecido ao vidro através do carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e o óxido de magnésio através da dolomita, mineral constituído de carbonato duplo de cálcio e magnésio ($CaMgCO_3$), ambos extraídos de jazidas naturais (pedreiras).

O vidro de embalagem é, portanto, obtido a partir desses três elementos básicos, sendo constituído fundamentalmente pelo óxido de silício.

A incorporação de vidro reciclado às matérias-primas naturais também tem adquirido grande importância no processo de fabricação das embalagens de vidro, devido às questões ambientais e econômicas.

Do ponto de vista ecológico, com a adição de caco de vidro reduz-se a quantidade de resíduo descartado, além de reduzir a extração e utilização dos minerais que constituem as matérias-primas do vidro. Também é possível reduzir o consumo de combustíveis para a geração de energia, minimizando os problemas de poluição ambiental.

O caco de vidro recuperado e tratado, seja proveniente de rejeitos de fabricação ou de outras fontes, constitui uma matéria-prima que apresenta vantagens tecnológicas, pois melhora sensivelmente o processo de fusão, gerando economia no consumo de energia, além de possibilitar um aumento de produtividade sem incrementar significativamente o consumo de energia.

O caco de vidro pode ser classificado em três grupos quanto à sua origem:

- Material gerado na própria vidraria e no mesmo forno, portanto, com a mesma composição química do vidro em produção e podendo retomar à mistura sem qualquer correção;
- Material proveniente de outra fonte geradora como, por exemplo, um outro forno de fusão. Neste caso, o caco de vidro deve ser considerado no cálculo da composição do vidro à qual será incorporado;
- Material de origem desconhecida, proveniente de um processo de reciclagem. Neste caso, deve ser considerado como uma matéria-prima qualquer, realizando-se análises químicas que assegurem a compatibilidade com a composição na qual será agregado.

O maior problema relativo à utilização de vidro reciclado é a presença de contaminantes, mais freqüente no caco coletado fora da vidraria. Como exemplo, tem-se metais que atacam os refratários dos fornos e materiais que não fundem e podem constituir inclusões sólidas no produto final.

Outra questão referente ao uso de material reciclado é a necessidade de separação por cor, uma vez que na produção do vidro incolor só é possível adicionar cacos de vidro incolor.

Para facilitar a análise de cada uma das várias etapas que integram o processo de fabricação das embalagens de vidro, apresenta-se na figura 3.1 um diagrama esquemático simplificado indicando as principais etapas de produção.

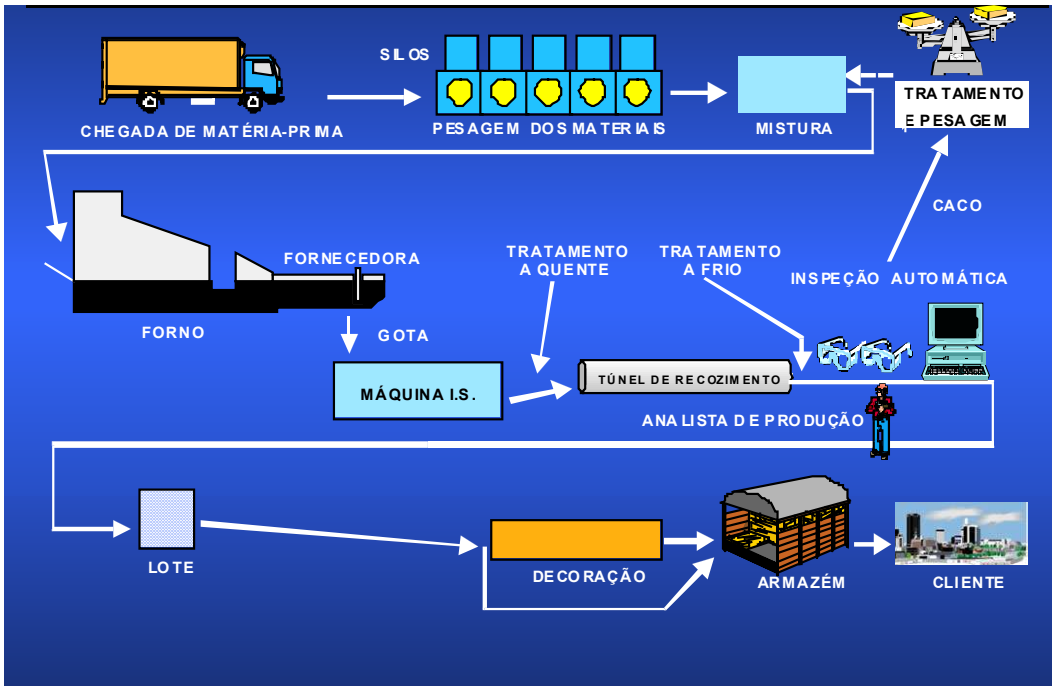


Figura 3.1 – Diagrama esquemático da produção de embalagens de vidro (JAIME; DANTAS, 2005)

As matérias-primas são pesadas, misturadas e introduzidas no forno de fusão por meio de processo contínuo, juntamente com o caco de vidro reciclado e tratado. O vidro fundido é retirado do forno em pequenas quantidades (suficiente apenas para produzir uma unidade da embalagem) e introduzido no equipamento de conformação.

Em geral, as embalagens são produzidas através de duas etapas sucessivas de moldagem do vidro a uma temperatura inicial em torno de 1.100ºC. Após a moldagem e resfriamento, as embalagens são submetidas a processos sucessivos para o aliviamento de tensões residuais presentes na massa de vidro e à tratamentos superficiais, seguindo diretamente para os sistemas de acondicionamento (paletização). Dependendo do tipo de embalagem e da especificação do projeto, a embalagem de vidro poderá ainda ser submetida à processos de decoração dentro da própria vidraria, anteriormente ao seu envio ao cliente.

3.3 ACV Aplicada a Sistemas Retornável e Descartável de Embalagem de Vidro

Uma embalagem retornável pode ser definida como uma embalagem de uso múltiplo, sendo dimensionada para manter as características de resistência mecânica durante os vários ciclos de reutilização. Essa classe de embalagem de vidro é constituída especialmente por garrafas de maior peso, que podem ser de uso comum ou personalizadas (decoradas) para uso específico (JAIME; DANTAS, 2005).

O número de retornos que uma determinada embalagem de vidro chega a desenvolver, contudo, é de difícil predição, visto que algumas embalagens podem sofrer ruptura em alguma etapa do processo produtivo/cadeia de distribuição ou mesmo ficar guardada por anos em alguma residência sem retornar novamente às unidades envasadoras.

De acordo com a Associação de Reciclagem da Califórnia, uma embalagem retornável é reutilizada em média 25 vezes e, como conseqüência desse número de reutilização, esta embalagem utiliza 95% menos vidro e 90% menos energia do que o processo produtivo de 25 embalagens de vidro, incluindo a sua reciclagem em sistema fechado (INDIANA ..., s.d.).

Em virtude da reutilização da mesma embalagem diversas vezes para a comercialização do produto, um sistema de embalagem retornável apresenta uma boa relação de massa de embalagem por quantidade de produto distribuído, ou seja, menor massa de embalagem por unidade de produto distribuído comparativamente a um sistema que utiliza embalagem descartável (não-retornável). Entretanto, seu desempenho é influenciado pelo número de retornos realizado pela embalagem e pela distância média de distribuição do produto.

Quanto maior a distância de distribuição do produto acondicionado, maior o custo ambiental associado ao transporte (consumo de combustíveis e emissões para o ar), devendo ser considerado o tipo de transporte e a capacidade de carga dos meios de transporte empregados na distribuição do produto e no retorno das embalagens vazias para um novo ciclo de uso. Deve ser contabilizado ainda o gasto energético e de água para a higienização das embalagens de retorno anteriormente ao acondicionamento do novo produto.

A energia envolvida num determinado sistema ou produto, de forma geral, é caracterizada como um importante parâmetro quando aplicado em estudos envolvendo Avaliação do Ciclo de Vida ou em estudos envolvendo Análise de Impacto Ambiental, pois podem ser associados ao consumo de recursos naturais e a emissões de poluentes para o ar, como o gás carbônico (CO_2), monóxido de carbono (CO), particulados, compostos orgânicos voláteis (COV), óxidos de nitrogênio (NOx) e de enxofre (SOx), etc.

Um exemplo teórico, apresentado na figura 3.2, ilustra a interpretação dos resultados de aplicação de ACV para um sistema de embalagem retornável, por meio de um modelo que considera a energia total requerida no ciclo de vida em função do número de retornos (GARCIA, 2002).

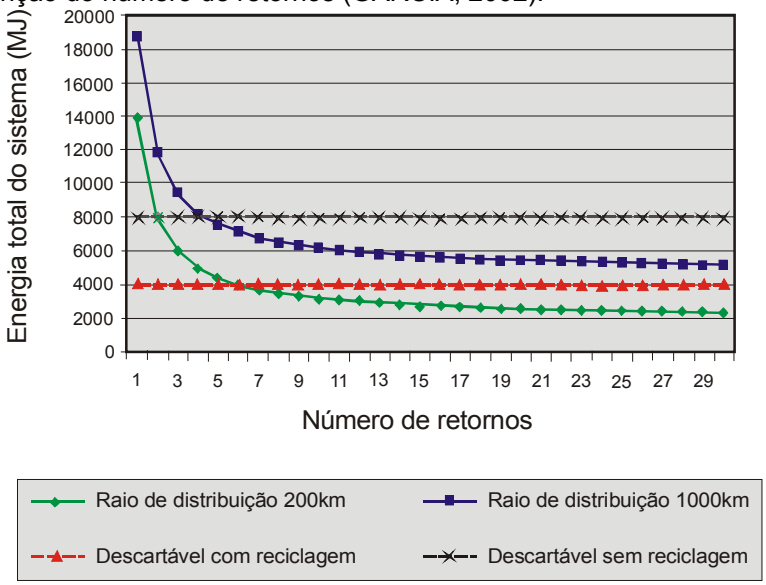


Figura 3.2 – Relação entre a energia total associada a um sistema de embalagem e o número de retornos para a unidade funcional de 1.000 kg de produto comercializado/consumido (GARCIA, 2002)

De acordo com a figura 3.2, pode-se observar que, para uma mesma distância ou raio de distribuição, a energia total diminui à medida que aumenta o número de retornos (viagens), tendendo a um valor mínimo que expressa o gasto energético associado à etapa de lavagem, higienização, transporte do produto, embalagens secundárias, retorno das embalagens vazias e reposição de embalagens que deixam o sistema (devido à quebra). Desta forma pelo exemplo apresentado, a partir de cerca de 20 retornos, o aumento do número de viagens da embalagem retornável não interfere significativamente na energia total requerida pelo sistema.

Comparando-se as curvas obtidas para os cenários de 200 e de 1.000 km de raio de distribuição, observa-se que o aumento da distância de distribuição requer maior consumo de energia, reduzindo a vantagem do sistema retornável.

Encontram-se ainda ilustrados na figura 3.2, dois exemplos de embalagem descartável de mesmo material, considerando duas situações:

- sem reciclagem
- com alta taxa de reciclagem pós-consumo

Neste exemplo, é possível observar que, para uma distância de distribuição de 200 km, a partir de 6 retornos o sistema retornável passa a consumir menos energia do que o sistema descartável (com alta taxa de reciclagem). Entretanto, no cenário de 1.000 km, o sistema descartável com alta taxa de reciclagem pós-consumo revela-se uma melhor opção que o sistema retornável.

É importante ressaltar que as embalagens descartáveis, normalmente, são mais leves (possuem menor massa comparativamente às embalagens retornáveis) e, portanto, encontram-se associadas a um menor

consumo de energia por unidade funcional de produto acondicionado do que a embalagem retornável em seu primeiro uso.

Outro estudo de ACV de embalagens de vidro retornáveis *versus* embalagens de vidro não-retornáveis ou descartáveis (*one-way*) foi desenvolvido no Instituto de Embalagem de Bruxelas, na Bélgica (VAN DOORSSELAER; LOX, 1999), visando o levantamento de dados sobre a energia envolvida em ambos os sistemas de embalagem (retornável e descartável) para cerveja.

Em geral, os estudos sobre embalagem de vidro iniciam-se com a estimativa da taxa de quebra da embalagem, uma taxa média de retorno da embalagem e consideram ainda o sistema de distribuição em um estado de equilíbrio. Assim, todos os trabalhos tendem à conclusão que o sistema retornável possui menor carga ambiental do que o sistema de embalagem não-retornável (descartável), quando o sistema de distribuição permanece dentro de um raio de 100 a 150 km.

No estudo desenvolvido por Van Doorsselaer e Lox (1999), os sistemas de distribuição de cerveja em embalagens de vidro retornáveis e não-retornáveis tiveram seu início na produção da embalagem de vidro, levando-se em consideração uma taxa de reciclagem de 15%.

Outros aspectos importantes para estudos envolvendo ACV que fizeram parte do escopo do estudo são:

- Transporte: foi considerado o transporte associado à distribuição das embalagens de vidro a partir da unidade produtiva até as empresas envasadoras;
- Embalagem secundária e terciária: foi considerada a produção das embalagens secundária e terciária utilizadas no sistema de embalagem retornável e seu o transporte até os centros distribuidores;
- Energia: a energia associada à re-utilização das embalagens retornáveis, incluindo a lavagem/higienização, transporte e a colocação de novas embalagens e seu transporte, além do transporte associado à reciclagem de embalagens que são retiradas do mercado foram considerados neste estudo;
- Unidade funcional: a unidade funcional adotada foi de 1.000 L de cerveja comercializada em garrafas de vidro de 250 mL. A energia envolvida no sistema foi expressa em Joules (J) e encontra-se relacionada às fontes de energia primária do país, sendo considerado um fator de eficiência de 33% para a produção de eletricidade.

A energia envolvida na distribuição de 1.000 litros de cerveja em embalagens de 250 mL para uma distância de 155 km utilizando caminhões de 30 e 10 toneladas foi apresentada como sendo:

- E0 (energia necessária para a produção de embalagens não-retornáveis (*one-way*) = 9.321 MJ
- E1 (energia independente do retorno da embalagem, ou seja, a energia necessária para a distribuição do produto) = 1.269 MJ
- E2 (energia dependente do retorno da embalagem) = 12.668 MJ

As embalagens não-retornáveis avaliadas no estudo foram produzidas com menor massa de vidro (142 g) comparativamente à garrafa retornável (242 g), sendo também considerada uma menor energia associada a distribuição do produto descartável. A influência da distância do transporte (do acondicionamento do produto ao centro distribuidor e retorno) sobre a energia necessária para a distribuição do produto, com base na unidade funcional avaliada é apresentada na tabela 3.2. A energia associada ao transporte foi calculada tomando-se por base o consumo médio de um caminhão de 30 toneladas (0,44 MJ/km.ton) multiplicado pela carga e pela distância de transporte, estando relacionada à unidade funcional adotada no estudo.

Tabela 3.2 – Quantidade de energia necessária em função da distância de transporte (VAN DOORSSELAER; LOX, 1999)

Distância de transporte para a distribuição (km)	Energia necessária (MJ)	
	Embalagem retornável	Embalagem não-retornável (*one-way*)*
100	320	143
250	800	358
500	1.600	715
750	2.401	1.073
1.000	3.201	1.431

** Na energia envolvida neste sistema foi considerado um fator adicional de 20% associado ao retorno vazio do caminhão.*

A relação entre o consumo de energia associada ao uso da embalagem para a unidade funcional estudada, considerando-se uma taxa de quebra de 3% da embalagem, encontra-se apresentada graficamente na figura 3.3. O número mínimo de retornos equivalente a uma mesma quantidade de energia consumida, seja para um sistema retornável ou não-retornável (*one-way*) foi calculado graficamente pela interseção das linhas E0 (considerada constante para a embalagem *one-way*) e a energia associada ao sistema retornável (E1+E2), sendo considerado pelo autor como um ponto de equilíbrio entre os sistemas. Entretanto, este ponto de equilíbrio é alterado em função da taxa de quebra das embalagens de retorno.

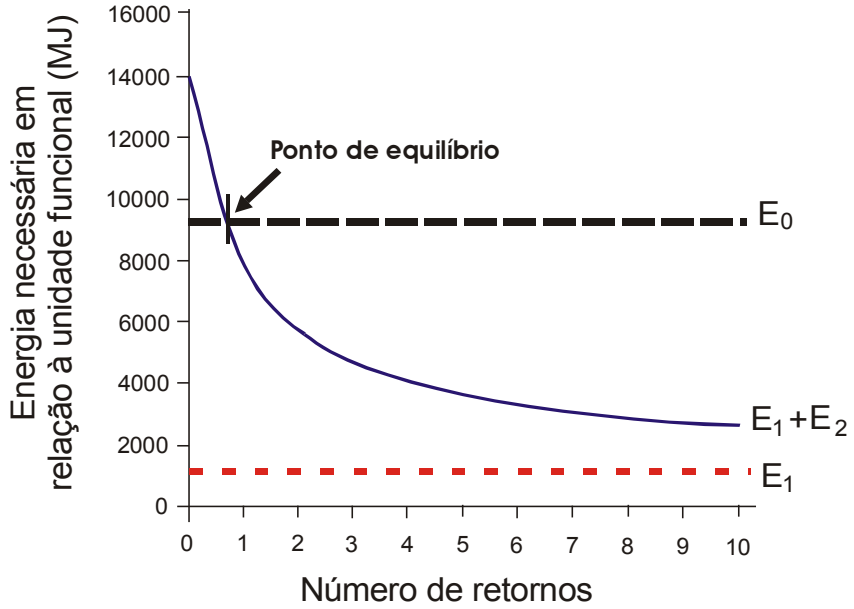


Figura 3.3 – Avaliação comparativa entre o consumo de energia por 1000 litros de cerveja em função do número de retornos da embalagem (VAN DOORSSELAER; LOX, 1999)

Embora o consumo de energia associado ao transporte represente 57% (para uma distância de distribuição de 155 km) ou 75% (para 500 km) da energia total associada à distribuição do produto (E1), o número de retornos da embalagem não interfere significativamente neste ponto de equilíbrio. Isso decorre do fato de que tanto E0 quanto E1, aumentam com a distância de distribuição, tornando desprezível a influência relativa do número de retornos sobre o ponto de equilíbrio.

Por meio de diversas equações desenvolvidas no estudo, os autores estimaram um número mínimo de retornos de garrafas considerado como viável para o sistema retornável, tendo sido considerado ainda um determinado índice de quebra da embalagem de vidro que, neste caso, deve ser reposta por novas embalagens. Assim, por meio desses cálculos e baseando-se na unidade funcional estudada, foi estimado que o sistema retornável somente é viável quando o índice de quebra das embalagens é inferior a 35%. Acima deste percentual de quebra, o sistema descartável passa a ser mais favorável ecologicamente.

Na figura 3.4 é representada esquematicamente a dependência do ponto de equilíbrio do sistema retornável/descartável em função da distância de distribuição do produto e do índice de quebra da embalagem.

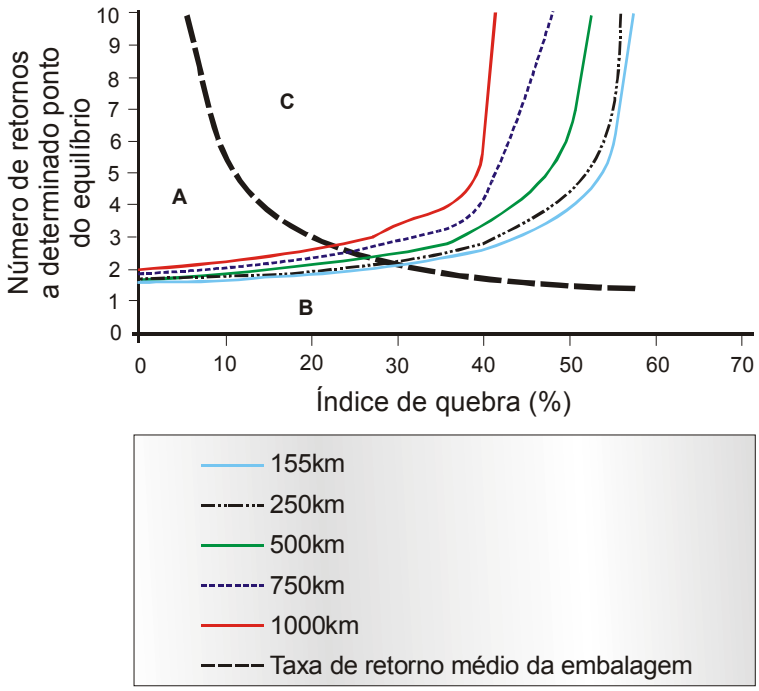


Figura 3.4 – Número estimado de retornos da embalagem de vidro (a um determinado ponto de equilíbrio) em função da distância de distribuição e do índice de quebra da embalagem (VAN DOORSSELAER; LOX, 1999)

Como resultado deste estudo, o sistema retornável somente passa a ser vantajoso quando para um determinado número de retornos está associado um baixo índice de quebra da embalagem (inferior a 5%), especialmente quando a distribuição envolver grandes distâncias de transporte. Em outras palavras pode-se dizer que, quando o índice de quebra das embalagens de vidro e as distâncias de transporte forem muito grandes, a utilização de embalagens descartáveis passa a ser ambientalmente mais favorável, desde que associada a um processo de reciclagem efetivo.

Por meio de estudos de ACV, portanto, é possível evidenciar as vantagens e desvantagens associadas à um determinado sistema de comercialização de produtos, a exemplo de embalagens retornáveis ou descartáveis, podendo-se inclusive evidenciar os pontos críticos associados a um ou outro sistema ou, até mesmo, estimar o raio de distribuição mais favorável a cada sistema de produto analisado.

Referências Bibliográficas

GARCIA, E.E.C. A ACV e as Embalagens. In: **AVALIAÇÃO do ciclo de vida:** princípios e aplicações. Campinas: CETEA/CEMPRE, 2002. cap. 12, p. 78-83.

INDIANA INSTITUTE ON RECYCLING. **Glass bottles, milk, refillable**. Case study nº 9613. Disponível em: <http://web.indstate.edu/recycle/9613.html>. Acesso em: 20 junho 2006.

JAIME, S.B.M.; DANTAS, F.B.H. **Embalagens de vidro para alimentos e bebidas**: propriedades e requisitos de qualidade. Campinas: CETEA/ITAL, 2005. 180 p.

PARLAMENTO EUROPEU E CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA. Directiva 94/62/CE, de 20 de dezembro de 1994. Embalagens e resíduos de embalagens. **JO L** 365 de 31 dez.1994. p. 10-23. Disponível em: <http://europa.eu/scadplus/leg/pt/lvb/l21207.htm>. Acesso em: 20 junho 2006.

TOOLEY, F.V. **The handbook of glass manufacture**. 3rd. ed., New York: Ashlee Publishing Co. Inc., 1984. 1243 p.

VAN DOORSSELAER, K.; LOX, F. Estimation of the energy needs in life cycle analysis of one-way and returnable glass packaging. **Packaging Technology and Science**, West Sussex, v. 12, n. 5, p. 235-239, 1999.

4 ACV de Produtos Alimentícios

Leda Coltro
Anna Lúcia Mourad

4.1 Introdução

Os primeiros estudos de ACV de produtos alimentícios foram realizados no início da década de 90 e a partir daí o número de estudos de ACV destes produtos tem crescido constantemente. Paralelamente a este crescimento, fez-se necessário o desenvolvimento de novas metodologias para expressar estes produtos em termos de ACV (DIERS et al., 1999; MATTSSOM; SONESSOM, 2003; MOURAD et al., 2006; HALBERG, 2003; SALOMONE, 2003; WEIDEMA, 2000).

O pensamento sobre todo o ciclo de vida (*life cycle thinking*) na indústria australiana de grãos vem crescendo em resposta ao anseio dos consumidores sobre os aspectos ambientais dos alimentos que eles compram e consomem. Por este motivo, Narayanaswamy et al. (2004) desenvolveram três estudos de caso de ACV para produtos à base de grãos cultivados, processados e consumidos na Austrália. Estes estudos de caso incluíram o crescimento e processamento de trigo para produção de pão, cevada para cerveja e canola para óleo comestível. Como resultado deste estudo, os autores identificaram os pontos de melhoria para os três produtos estudados (tabela 4.1). As etapas do processo que representam mais de 10% das principais categorias de impacto ambiental foram identificadas como “pontos de melhoria” potenciais. Os resultados deste estudo mostraram que o impacto da produção agrícola no ciclo de vida do produto depende do tipo de produto agrícola avaliado, podendo ter maior ou menor contribuição para o impacto ambiental total.

Tabela 4.1 – Pontos de melhoria ambiental para as cadeias de suprimento de pão, cerveja e óleo comestível (NARAYANASWAMY et al., 2004)

Categoria de impacto ambiental	Pão*				Cerveja*				Óleo comestível*			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Consumo de energia		X	X			X	X		X	X	X	
Mudança climática	X	X	X			X	X		X	X	X	
Acidificação		X	X			X	X			X	X	
Toxicidade humana	X	X	X			X			X	X		X
Ecotoxicidade terrestre	X				X				X			
Eutrofização	X				X	X			X			

** Etapas do ciclo de vida: 1 = produção dos insumos e cultivo agrícola; 2 = estocagem e processamento; 3 = distribuição e consumo; 4 = transporte.*

Vale ressaltar que existem algumas diferenças entre os estudos de ACV de sistemas industriais e de sistemas agrícolas que tiveram de ser consideradas nestes estudos. A figura 4.1 exemplifica um fluxograma de ACV de sistemas agrícolas - produção de pão: neste caso o estudo pode envolver a comparação de diferentes tipos de produção de pão (por exemplo, pão feito de trigo de produção agrícola convencional *versus* orgânico) (COWELL; CLIFT, 1997).

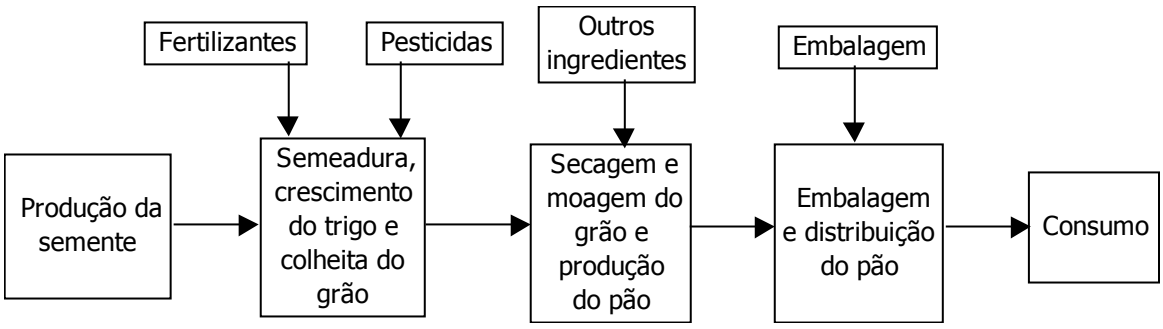


Figura 4.1 - Fluxograma simplificado da ACV de produtos alimentícios (COWELL; CLIFT, 1997)

Como em todo estudo de ACV, o delineamento das cadeias produtivas em estudo é de fundamental importância, pois norteia a definição das fronteiras do sistema em estudo e o dimensionamento da extensão da amostragem para o levantamento de dados. Diferentemente dos ACVs de sistemas industriais, muitas "entradas" têm origem na natureza como a energia solar ou o uso de terra.

Todos os dados do estudo de ACV estão relacionados a uma unidade funcional. Os estudos de ACV de produtos alimentícios normalmente adotam a massa do produto em estudo como a unidade funcional, por exemplo 1 kg de pão disponível para venda na padaria, 1 kg de atum acondicionado pronto para distribuição, 1.000 kg de café disponível para venda na fazenda, etc. No entanto, a seleção da unidade funcional dos produtos alimentícios não é óbvia uma vez que estes produtos têm diversas funções como, por exemplo, valor nutricional (conteúdo nutritivo ou de fibras ou valor calórico), vida de prateleira, qualidade sensorial, etc. Como o estudo de ACV é relacionado a apenas uma unidade funcional, as demais funções são melhor descritas em termos qualitativos na fase de interpretação do estudo (MATTSSOM; SONESSOM, 2003).

A definição das fronteiras do sistema, ou seja, separar o sistema em estudo do meio ambiente natural, não é uma tarefa muito clara quando está sendo considerada a agricultura, uma vez que o sistema produtivo está inserido no meio ambiente natural. Uma das decisões a ser tomada diz respeito à inclusão ou não do solo na fronteira do sistema. A fronteira temporal é outra escolha não muito clara: considerações sobre a inclusão ou não da rotação de culturas no estudo ou mesmo se a avaliação deve abranger uma ou duas safras são questões que precisam ser consideradas e estar bem definidas.

A alocação é uma questão bastante complexa em estudos de ACV de um modo geral. E no caso do ciclo de vida de produtos alimentícios podem haver diversos processos multifuncionais, tais como a etapa agrícola, o processo industrial, a etapa de distribuição e a etapa de consumo. Como exemplos, pode-se citar o gado leiteiro que produz tanto o leite quanto a carne ou a cultura do trigo que produz o trigo e a palha, etc. Por este motivo, é difícil dividir o sistema agrícola em sub-sistemas. Muitos produtos são obtidos concomitantemente, como a produção do suco de laranja concentrado congelado que além do suco de laranja também produz a ração animal e os óleos essenciais durante o processamento da laranja. Além disso, se o produto é armazenado sob refrigeração, ele divide este impacto ambiental com os demais produtos refrigerados. Existem diversos métodos de alocação, porém os mais utilizados baseiam-se na massa, volume ou valor econômico do produto. Vale ressaltar que existe uma tendência em se adotar este último critério nos estudos de ACV.

Quanto ao impacto ambiental da atividade agrícola relacionado com o uso de terra ainda não há uma metodologia amplamente aceita. Uma vez que a ACV é uma metodologia que se baseia em fluxos de material e de energia, é difícil vinculá-la ao impacto sobre a biodiversidade. Muitos estudos de ACV de produtos alimentícios incluem como uso de terra somente a área necessária para a produção agrícola do produto em estudo sem nenhuma correlação com a biodiversidade. Entretanto, o uso de terra é uma questão vital nos estudos de ACV de produtos alimentícios, especialmente quando a agricultura é considerada. Assim, segundo Milà i Canals *et al.* (2007) os futuros métodos de avaliação de impacto do uso de terra deverão vincular o fluxo elementar do uso de terra e os aspectos ambientais registrados no ICV aos aspectos de impacto na biodiversidade, no potencial de produção biótica e na qualidade ecológica do solo, os quais eventualmente poderão ser associados aos danos causados ao meio ambiente e recursos naturais.

4.2 A ACV Agrícola como Instrumento de Gestão Ambiental no Brasil

O CETEA, pioneiro no desenvolvimento de estudos de ACV de embalagens no Brasil, desenvolveu também o primeiro estudo de ACV na área agrícola.

Embora o café como cultura permanente não seja uma das lavouras mais intensivas em termos de uso de insumos agrícolas, devido a sua importância em âmbito nacional e internacional em função do seu largo consumo, foi desenvolvido no CETEA um minucioso estudo envolvendo as principais regiões produtoras de café do país, utilizando-se da ferramenta de ACV para a caracterização ambiental do setor. Os resultados aqui apresentados são um resumo do trabalho completo "Environmental Profile of Brazilian Green Coffee" publicado no *International Journal of Life Cycle Assessment* (COLTRO et al., 2006a).

4.2.1 A Produção Brasileira de Café

O café é um produto consumido em todo o mundo. Aproximadamente 60 países produzem café, sendo que o Brasil e a Colômbia produzem aproximadamente a metade do café consumido no mundo. Em 2005, o Brasil exportou 2,5 bilhões de dólares em café (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR, 2006).

Em 2006 , o Brasil produziu 2,6 milhões de toneladas de café beneficiado numa área total cultivada de 2,32 milhões de hectares, obtendo um rendimento médio de 1.115 kg/hectare. O Brasil também é um grande consumidor de café, tendo consumido cerca de 40% de sua produção neste mesmo ano (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2007).

Em 2005, cerca de 92% do café em grão exportado pelo Brasil foi produzido em três estados brasileiros: Minas Gerais (71%), Espírito Santo (10%) e São Paulo (11%), sendo também produzido em menor quantidade nos estados do Paraná e da Bahia (figura 4.2).

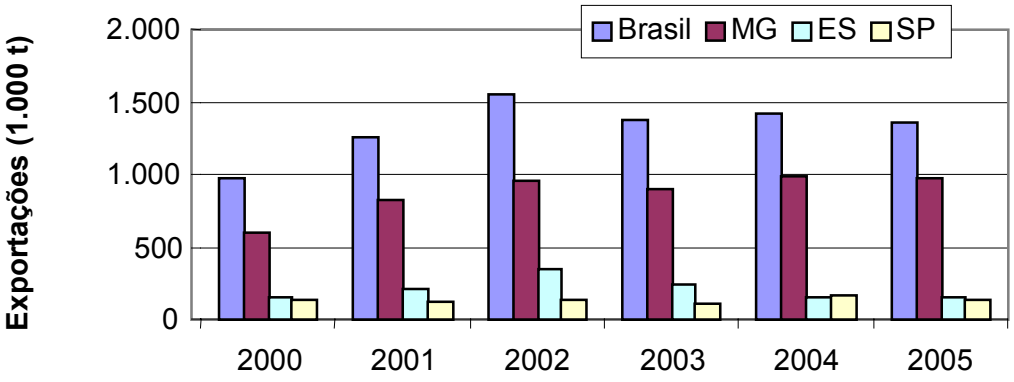


Figura 4.2 – Exportações de café em grão pelo Brasil (MDIC, 2006)

4.2.2 Tipos de Café

O cafeeiro é uma planta perene, pertencente à família *Rubiaceae* e ao gênero *Coffea*. O sucesso da cafeicultura deve-se, em parte, ao trabalho de melhoramento genético dessa cultura. No caso da cafeicultura brasileira, os cultivares empregados atualmente para a produção comercial produzem cerca de quatro vezes mais do que o primeiro cultivar introduzido no país.

Entre as aproximadamente 100 espécies do gênero *Coffea* descritas, somente duas espécies produzem frutos que têm importância econômica no mercado internacional: *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex-Froehner. Seus produtos são designados como café arábica e café robusta, respectivamente. O café arábica representa cerca de 70% do mercado internacional, enquanto o robusta representa cerca de 30%.

Apenas a *Coffea arabica* L. produz bebida de qualidade fina, reunindo um bom número de variedades, algumas das quais bastante conhecidas em todos os países tradicionalmente produtores de café (FAZUOLI et al., 1999).

A *Coffea canephora* Pierre ex-Froehner, conhecida pelo nome geral de café robusta, é, com certeza, a variedade mais amplamente distribuída em termos geográficos, sendo por isso, conhecida por vários nomes. Tem forma bem diferente da variedade típica da *Coffea arabica:* é multicaule, ou seja, muitos ramos partem do solo, no estado espontâneo, e atingem de 2 a 5 metros de altura. Em algumas regiões de clima quente, o *Coffea canephora* foi muito plantado. É o caso do Vale do Rio Doce, no Espírito Santo, onde foram instaladas grandes lavouras de cafeeiros *kouillou* – uma variedade originária da Costa do Marfim, também conhecida como café conilon.

A semente de café (figura 4.3) é na verdade o mesmo grão que dá origem ao café torrado. A diferença reside no modo de colheita e dos cuidados posteriores. A coleta das sementes é realizada anualmente, de abril à junho. Colhem-se apenas frutos maduros (cereja), para em seguida serem lavados, despolpados (retirada da casca e da polpa) e, finalmente, secos até atingir 15 a 20% de umidade quando, então, estão aptos para o semeio.

Figura 4.3 – Sementes de café (Fonte: <http://www.cafearanas.com.br>)

4.2.3 Características do Estudo de ACV do Café

O estudo foi conduzido de acordo com a norma ISO 14040 (1997) – Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework.

Todas as informações utilizadas neste estudo foram obtidas a partir de coleta de dados feita por meio de questionários específicos aplicados nas fazendas e/ou enviados por correio, considerando as entradas de água, energia, fertilizantes, pesticidas, corretivos e disposição de resíduos.

A seleção das regiões estudadas foi feita considerando-se as fronteiras geográficas. As quatro principais regiões produtoras de café avaliadas foram Sul de Minas Gerais e Cerrado Mineiro, no estado de Minas Gerais e Mogiana e Alta Paulista, no estado de São Paulo, determinadas pelas seguintes coordenadas geográficas: 44 a 50° W de longitude e 18 a 24° S de latitude.

Os dados coletados referem-se a produção aproximada de 420.000 sacas de café (de 60 kg), cultivados numa área aproximada de 14.300 ha. As variedades de café consideradas neste estudo foram Mundo Novo, Catuaí (amarelo e vermelho), Icatu (amarelo e vermelho), Catucaí (amarelo e vermelho) e Obatã.

Foram contabilizados todos os insumos necessários para a produção do café em termos de uso de fertilizantes, corretivos, defensivos agrícolas, água, óleo diesel e energia.

O sistema avaliado incluiu o cultivo agrícola nas fazendas comerciais, a colheita, o beneficiamento, a estocagem e o transporte por caminhões até os portos para exportação. Somente as entradas e saídas associadas ao cultivo do café foram consideradas nas fronteiras deste estudo. A produção de fertilizantes, corretivos e pesticidas não foi incluída na fronteira do estudo, mas somente seu consumo e transporte até as fazendas.

A unidade funcional adotada foi de 1.000 kg de café grão verde destinado para exportação.

A abrangência temporal deste estudo foi de duas safras completas (2001/02 e 2002/03), incluindo os períodos de maior e de menor produtividade.

O fluxograma elaborado para a produção de café foi adaptado para cada fazenda / empresa avaliada no decorrer do estudo, considerando os principais processos da cadeia produtiva.

Os dados foram modelados, balanceados e analisados mediante o uso do *software* PEMS4 - *PIRA Environmental Management System* elaborado pelo *Pira International*.

Para construção do ICV foram utilizados os modelos de Transporte de Cargas e de Geração de Energia Elétrica da Rede Pública desenvolvidos pelo CETEA para ACV de produtos brasileiros (COLTRO et al, 2003).

Além das diferenças regionais e de variedades na produção de café, existem as diferenças decorrentes dos processos de beneficiamento praticados. Existem duas rotas tecnológicas básicas atualmente praticadas: a rota úmida e a rota seca. As etapas comuns às duas rotas são: limpeza, separação, secagem, estocagem, processamento e classificação. Na via úmida, ocorre adicionalmente a separação do café cereja, a remoção da polpa e da mucilagem. Na via seca, o café é seco em terreiros, sem a adição de água (figura 4.4). Entretanto, na via úmida, o uso de água é essencial para obtenção dos cafés lavados e/ou despolpados (ALVES, 1999; FILHO et al., 2002; ANDRADE et al., 1999; NANNETTI, 1999a-c; THOMAZIELLO, 2000a-b; ZAMBOLIN, 2000).

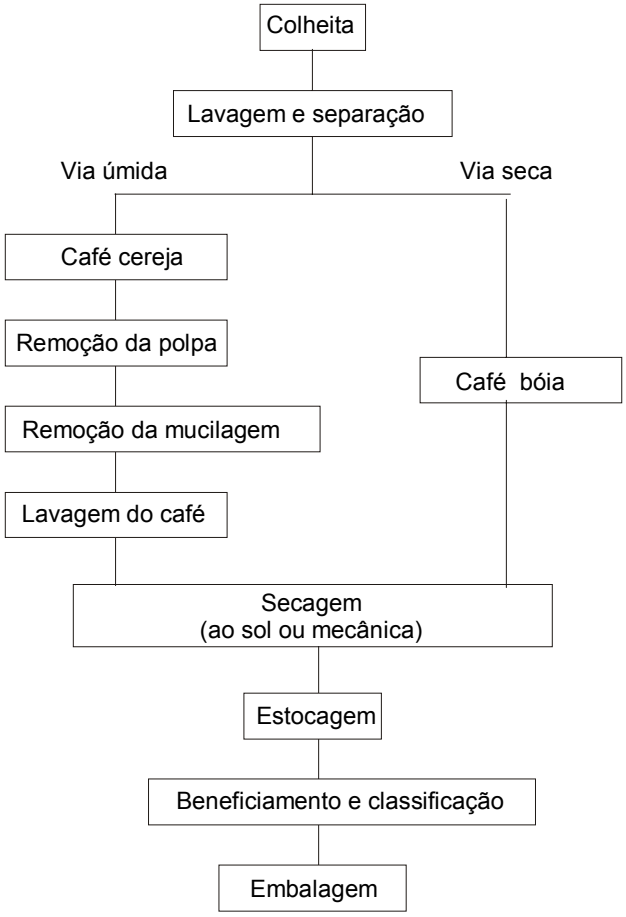


Figura 4.4 – Principais etapas de beneficiamento do café pelas vias úmida e seca

4.2.4 Características do Cultivo de Café no Brasil

O estudo de ACV do café grão verde revelou que existem grandes diferenças nos aspectos produtivos do café no Brasil (COLTRO et al., 2006a), dos quais pode-se destacar:

- Dimensão das áreas agrícolas: as áreas de produção de café das propriedades avaliadas variam de poucos hectares (propriedades familiares) até milhares de hectares (propriedades empresas), o que acarreta diferentes "perfis" de produtores de café;
- Diferenças edafoclimáticas: estas diferenças decorrem do fato destas áreas de cultivo estarem localizadas, principalmente, entre as latitudes que variam de 10° a 24° Sul e longitudes que variam de 40° a 54° Oeste, e entre os mais diversos tipos de climas, tais como: a) quente semi-úmido, com 4 a 5 meses secos (região do Cerrado de Minas Gerais); b) sub-quente semi-úmido, com 4 a 5 meses secos (região da Alta Mogiana e Sul de Minas Gerais); c) sub-quente úmido, com 1 a 3 meses secos (regiões da Média e Baixa Mogiana); d) sub-quente super-úmido, subseco (região da Alta Paulista); e) mesotérmico brando semi-úmido, com 4 a 5 meses secos (região Sul de Minas Gerais);

- Variedades de café: as principais variedades encontradas nas regiões avaliadas foram: Mundo Novo, Catuaí (amarelo e vermelho), Icatu (amarelo e vermelho), Catucaí (amarelo e vermelho), Obatã, Acaiá e Tupi;
- Espaçamento: os espaçamentos utilizados nas propriedades são os mais diversos, variando desde os mais tradicionais, de 4,0 m x 2,5 m, passando pelos mais atuais, de 3,5 m x 0,7 m (cultivos colhidos mecanicamente), até os mais adensados, de 2,5 m x 0,7 m;
- Manejo das culturas: as principais diferenças observadas foram o uso de agroquímicos (qualitativo e quantitativo) e o tipo de colheita (manual ou mecanizada) que devem afetar diretamente os resultados do inventário de impactos ambientais;
- Condições de topografia: a topografia local afeta a aptidão ao uso de máquinas e implementos na cultura do café e influencia indiretamente no espaçamento a ser utilizado na área de café plantada (talhão). Este componente varia de região para região e, até mesmo, dentro da mesma propriedade em análise;
- Tecnologia para produção e beneficiamento: a tecnologia aplicada varia de acordo com o grau de capitalização do produtor e sua informação técnico-científica, além dos recursos sócio econômicos e de desenvolvimento, locais e regionais da propriedade.

4.2.5 Principais Resultados do Estudo de ACV do Café

A redução do consumo de insumos, ou "entradas" de qualquer sistema é uma das primeiras regras para se reduzir o impacto ambiental de qualquer sistema, de acordo com o princípio da sustentabilidade. A análise da quantidade de fertilizantes (figura 4.5) ou pesticidas (figura 4.6) em função da produtividade de cada fazenda avaliada não mostrou a existência de uma correlação direta entre estes parâmetros.

Nestes gráficos, identificou-se ainda 3 fazendas que apresentaram, simultaneamente, alto rendimento e baixo consumo de fertilizantes e defensivos agrícolas (valores circulados nas figuras 4.5 e 4.6). Assim, dentre os participantes do estudo, estes 3 produtores podem ser considerados como os de melhor desempenho ambiental.

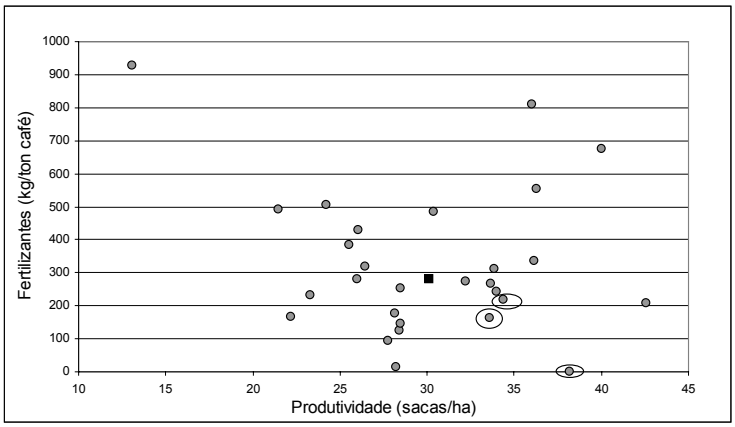


Figura 4.5 – Consumo de fertilizantes (N, P, K e outros elementos) em relação a produtividade do café grão verde para as safras de 2001/02 e 2002/03. O ponto em negrito refere-se a média aritmética da amostra (COLTRO et al., 2006a)

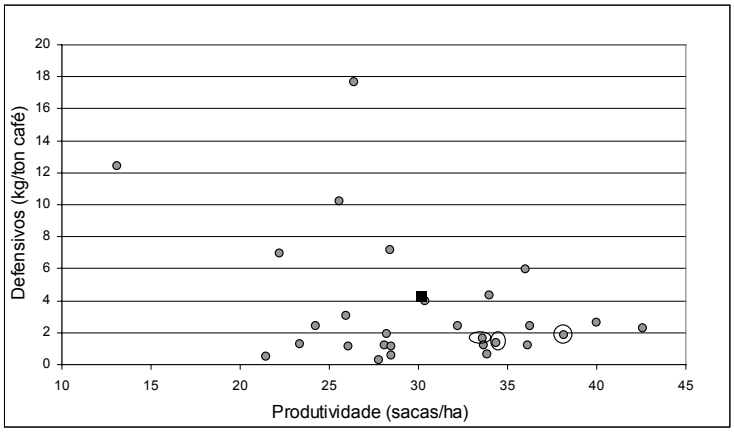


Figura 4.6 – Consumo de defensivos agrícolas (massa de ativos) em relação a produtividade do café grão verde para as safras de 2001/02 e 2002/03. O ponto em negrito refere-se a média aritmética da amostra (COLTRO et al., 2006a)

Por outro lado, foram identificadas propriedades com elevado consumo de insumos e baixa produtividade. Uma reavaliação de seus procedimentos agrícolas poderá melhorar seu desempenho ambiental e econômico.

Neste estudo, 39% dos produtores de café apresentaram um bom desempenho ambiental, isto é, consumo de pesticidas, fertilizantes e corretivos inferiores às respectivas médias regionais, com exceção do uso de terra de aproximadamente metade destas fazendas que apresentaram valores ligeiramente superiores às médias regionais (COLTRO et al., 2006b).

Portanto, a análise dos resultados da ACV do cultivo de café em função da especificidade de cada região geográfica, junto ao setor produtivo proporciona uma base científica para a implementação de um futuro rótulo ambiental para este produto, de forma a melhorar a sustentabilidade do setor.

4.3 Agradecimentos

As autoras agradecem à FINEP, ao CNPq e ao MCT pelo apoio financeiro e pelas bolsas de estudo. As autoras também agradecem à todos aqueles que contribuíram com este estudo.

Referências Bibliográficas

ALVES, O. **Colheita e preparo do café.** Brasília: SENAR, 1999. v. 6, 52 p. (Trabalhador no cultivo de plantas industriais – café).

ANDRADE, C. et al. **Da escolha da área ao plantio da lavoura**. Brasília: SENAR, 1999. v. 3, 52 p. (Trabalhador no cultivo de plantas industriais – café).

COLTRO, L; GARCIA, E.E.C.; QUEIROZ, G.C. Life cycle inventory of electric energy system in Brazil. **Int. J. Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 8, n. 5, p. 290-296, 2003.

COLTRO L., MOURAD A.L., OLIVEIRA P.A.P.L.V., BADDINI J.P.O.A., KLETECKE R.M. Environmental profile of Brazilian green coffee. **Int. J. Life Cycle Assessment**, Landsberg**,** v. 11, n. 1, p. 16-21, 2006a.

COLTRO, L.; MOURAD, A,L.; OLIVEIRA, P.A.P.L.V.; BADDINI, J.P.O.A.; VILELA, G.B. Environmental profile of several green coffee producers assessed by LCA. In: GLOBAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE PRODUCT DEVELOPMENT AND LIFE CYCLE ENGINEERING, 4., 2006, São Carlos. **Anais**... São Carlos: Suprema, 2006b. 7 p.

COWELL, S.J.; CLIFT, R. Impact assessment for LCAs involving agricultural production. **Int. J. Life Cycle Assessment**, Landsberg , v. 2, n. 2, p.99-103, 1997.

DIERS, A.; LANGOWSKI, H.C.; PANNKOKE, K.; HOP, R. **LCA Documents. Produkt-ökobilanz vakuumverpackter röstkaffee.** Landsberg: Ecomed Publishers and Eco-Informa Press, 1999. v. 3, 214 p.

FAZUOLI, L. C.; MEDINA, FILHO, H. P.; GUERREIRO FILHO, O.; GONÇALVES, W.; SILVAROLLA, M. B.; LIMA, M. M. A. Coffee cultivars in Brazil. In: ÉME COLLOQUE HELSINKI, 18., Hensinki. **Proceedings...** Finlândia: Association Scientifique International du Café, 1999. p. 396-404.

FILHO J. et al. **Cultura do café.** Campinas: CATI, 2002. 103 p. (Boletim Técnico No. 187).

HALBERG, M. (ed.) Life Cycle Assessment in the Agri-food sector. INTERNATIONAL CONFERENCE, 4., 2003, Bygholm. **Proceedings...** Tjele: Danish Institute of Agricultural Sciences, 2003. 293 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/defaulttab.shtm> Acesso em: 25 maio 2007.

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

NANNETTI, A. et al. **Do semeio aos tratos culturais**. Brasília: SENAR, 1999a. v. 2, 60 p. (Trabalhador no cultivo de plantas industriais – café).

NANNETTI, A. et al. **Formação da lavoura**. Brasília: SENAR, 1999b. v. 4. 52 p. (Trabalhador no cultivo de plantas industriais – café)

NANNETTI, A. et al. **Cafezal em produção:** principais tratos culturais. Brasília: SENAR, 1999c. v. 5. (Trabalhador no cultivo de plantas industriais – café)

NARAYANASWAMY, V.; ALTHAM, W.J.; BERKEL, R.V.; MCGREGOR, M. **Environmental life cycle assessment (LCA) case studies for Western Australian grain products**. Perth: Curtin University of Technology , 2004. 55 p.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR - MDIC. **ALICE-Web**. Disponível em: <http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br/default.asp>. Acesso em: 09 julho 2006.

MILÁ i CANALS, L.; BAUER, C.; DEPESTELE, J.; DUBREUIL, A.; KNUCHEL, R.F.; GAILLARD, G.; MICHELSEN, O.; MULLER-WENK, R.; RYDGREN, B. Key elements in a framework for land use impact assessment within LCA. **Int. J. Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 12, n. 1, p. 5-15, 2007.

MOURAD, A.L.; COLTRO, L.; OLIVEIRA, P.A.P.L.V.; KLETECKE, R.M.; BADDINI, J.P.O.A. A simple methodology for elaborating the life cycle inventory of agricultural products. **Int. J. Life Cycle Assessment**, Landsberg, 2006. (OnlineFirst).

MATTSSON, B.; SONESSON, U. **Environmentally-friendly food processing.** Cambridge: Woodhead Publishing Ltd., 2003. 337p.

SALOMONE, R. Life cycle assessment applied to coffee production: investigating environmental impacts to aid decision making for improvements at company level. **Food, Agriculture & Environment,** v. 1, n. 2, p. 295-300, 2003.

THOMAZIELLO, R. et al. **Café Arábica:** cultura e técnicas de produção. Campinas: IAC, 2000a. 82 p. (Boletim Técnico No. 187).

THOMAZIELLO, R., FILHO, J., NETO, B. Café de São Paulo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Anais....** Brasília : Embrapa Café, 2000. p.1469-1472.

WEIDEMA, B.P.; MEEUSEN, M.J.G. (ed.) **Agricultural data for life cycle assessment.** The Hage: Agricultural Economics Research Institute (LEI), 2000. v. 1, 208 p.

ZAMBOLIN, L. (Ed.). **Café:** produtividade, qualidade e sustentabilidade**.** Viçosa: UFV, 2000. 396 p.

5 Rotulagem Ambiental

Leda Coltro

5.1 Introdução

A rotulagem ambiental é um método voluntário de certificação de desempenho ambiental que é praticada em todo o mundo. O rótulo ambiental identifica a preferência ambiental de um produto ou serviço dentro de uma categoria específica de produto e/ou serviço baseando-se em considerações sobre o ciclo de vida, sendo concedido por programas de rotulagem ambiental de terceira parte, imparciais (tabela 5.1).

Tabela 5.1 – Classificação da rotulagem ambiental (GLOBAL ECOLABELLING NETWORK, 2004a)

Tipo I ISO 14024	Tipo II ISO 14021	Tipo III ISO 14025
Sistema de premiação aprova / reprova	Declaração na forma de texto * e/ou logo	Informação quantificada
Licença concedida por terceira parte para uso do rótulo (normalmente um logo)	Melhorias devem ser quantificáveis	Pode ser apresentado de diversas forma, por exemplo texto, gráfico, ilustração
Voluntário	Voluntário	Voluntário
Critérios múltiplos, baseados em impactos do ciclo de vida do produto	Normalmente baseia-se em critério único, mas pode ser de múltiplos critérios	Critérios múltiplos, baseados em estudo de avaliação do ciclo de vida do produto
Conjunto de critérios e avaliação do produto determinados por terceira parte	Auto-declaração, sem envolvimento de terceira parte	Conjunto de dados ambientais quantitativos determinados por terceira parte, mas que devem ser submetidos a uma revisão crítica
Exemplos: *Blue Angel* - Alemanha *Nordic Swan* – Países Nórdicos *The Flower* – União Européia	Exemplo: “Feito com X% de material reciclado”	Exemplo: Folheto da Volvo para o automóvel S80

** Declarações indefinidas devem ser evitadas, por exemplo “amigo do meio ambiente”, “sustentável”, etc.*

Os rótulos ambientais têm por objetivo aperfeiçoar os produtos de modo a torná-los menos agressivos ao meio ambiente do que os produtos tradicionais, além de desempenhar suas funções com alta qualidade, consumindo o mínimo possível de recursos naturais. Estes produtos também não podem conter nenhuma substância que possa ser perigosa ao meio ambiente ou à saúde humana quando utilizados de acordo com suas funções (BLUE ANGEL, 2004).

Em 1977, a Alemanha foi o primeiro país a implementar um Programa de Rotulagem Ambiental nacional para produtos – *Blue Angel*, que serviu de modelo para muitos outros países.

No entanto, os critérios para rotulagem ambiental foram normalizados pela ISO somente no final da década de 90 por meio da série de normas ISO 14020 relativas à rotulagem ambiental:

- ISO 14020 – *Environmental labels and declarations – General principles* (1998);
- ISO 14021 – *Environmental labels and declarations – Type II Self-declared environmental claims* (1999);
- ISO 14024 – *Environmental labels and declarations – Type I environmental labelling – Principles and procedures* (1999);

- ISO/TR 14025 – *Environmental labels and declarations – Type III environmental declarations* (2000).

As normas NBR ISO 14020 (2002), NBR ISO 14021 (2004) e NBR ISO 14024 (2004) foram internalizadas no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, mediante trabalho desenvolvido pelo Sub-Comitê de Rotulagem Ambiental - SC-03 do Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental - ABNT/CB-38. A norma NBR ISO 14025 está sendo internalizada no Brasil pelo mesmo Sub-Comitê.

Portanto, os três tipos de rótulos ambientais que foram normalizados pela ISO são:

1. Rótulo Ambiental Tipo I: conhecido como "Selo Verde", baseia-se em critérios múltiplos obtidos de estudos de ACV setoriais e tem por objetivo reduzir os impactos ambientais da categoria de produto selecionada. O "Selo Verde" consiste em um símbolo impresso no rótulo da embalagem e é concedido por um programa de terceira parte (normalmente um Órgão de Certificação nacional, que no caso do Brasil é a ABNT) que fornece uma licença autorizando o uso do rótulo ambiental. Os dados das ACVs setoriais são utilizados como orientação na definição dos parâmetros de controle das categorias de produtos;

2. Rótulo Ambiental Tipo II: declarações de cunho ambiental que a empresa divulga no rótulo das embalagens de seus produtos e que fazem referência ao desempenho ambiental do produto, como por exemplo "reciclável", "consumo de energia reduzido", etc. As autodeclarações foram normalizadas pela ISO com o objetivo de evitar o uso de expressões indefinidas, tal como "produto verde".

3. Rótulo Ambiental Tipo III: contém uma série de dados ambientais quantitativos baseados em estudos de ACV desenvolvidos por terceira parte especificamente para o produto em questão, devendo ser submetido a uma revisão crítica. Por ser complexo, este rótulo tende a ser mais aplicado em relações comerciais ao invés de ser divulgado ao público em geral.

5.2 Programas de Rotulagem Ambiental Tipo I

A figura 5.1 apresenta alguns exemplos de rótulos ambientais Tipo I. Atualmente existem 28 programas principais de rotulagem ambiental no mundo, sendo que sete destes programas de rotulagem ambiental contavam com mais de mil produtos/serviços certificados em 2004 (*Nordic Swan Label* – Países Nórdicos, *Green Mark* – Taiwan, *Ecolabel Blue Angel* – Alemanha, *Eco Mark Program* – Japão, *Environmental Labelling Program* – Coréia e *Environmental Choice Program* – Canadá), conforme apresentado na tabela 5.2.

Blue Angel - Alemanha

Environmental Choice - Canadá

Qualidade Ambiental - Brasil

Nordic Swan – Países Nórdicos

Eco Mark - Japão

Green Mark - Taiwan

Figura 5.1 – Alguns exemplos de rótulos ambientais Tipo I

Tabela 5.2 – Organizações membro do *Global Ecolabelling Network* e seus respectivos programas de rotulagem ambiental Tipo I (GEN, 2004b)

País	Organização membro	Programa de Rotulagem	Critérios de certificação	Produtos certificados
5 Países Nórdicos	*Nordic Ecolabelling Board*	*Nordic Swan Label*	59	> 3.000
Alemanha	*Federal Environmental Agency (FEA)*	*Ecolabel Blue Angel*	86	3.359
Austrália	*The Australian Environmental Labelling Association Inc (AELA)*	*Australian Ecolabel Program*	24	280
Brasil	*Associacao Brasileira de Normas Tecnicas (ABNT)*	*Rótulo Ecológico ABNT – Qualidade Ambiental*	----	----
Canadá	*Terra Choice Environmental Service Inc. - TESI*	*Environmental Choice Program*	160	> 3.000
Cingapura	*Singapore Environment Council - SEC*	*Singapore Green Labeling Scheme – SGLS*	35	130
Coréia	*Korea Environmental Labelling Association - KELA*	*Environmental Labelling Program*	102	1.765
Espanha	*Asociacion Espanola de Normalizacion y Certificacion (AENOR)*	*AENOR Medio Ambiente*	13	275
EUA	*Green Seal, Inc.*	*Green Seal*	43	493
Filipinas	*Clean & Green Foundation, Inc.*	*Green Choice Philippines*	7	2
Grécia	*Supreme Council for Awarding the Ecolabel*	*ASAOS / The Flower*	Incluso na U.E.	----
Hong Kong	*Green Council*	*Hong Kong Green Label*	41	20
Hong Kong (HKFEP)	*Hong Kong Federation of Environmental Protection (HKFEP) Limited*	*Environmental Label Certification*	16	16
Índia	*Central Pollution Control Board (CPCB)*	*Ecomark Scheme of India*	16	9
Japão	*Japan Environment Association (JEA)*	*Eco Mark Program*	45	> 5.074
Luxemburgo	*Ecolabel Commission, Ministry of Environment*	*European Ecolabel / The Flower*	Incluso na U.E.	----
Nova Zelândia	*The New Zealand Ecolabelling Trust - NZET*	*Environmental Choice New Zealand*	23	207
Reino Unido	*Department for Environment, Food and Rural Affairs(DEFRA)*	*European Ecolabel / The Flower*	Incluso na U.E.	----
República Checa	*Ministry of the Environment & Czech Environment Agency*	*National Program of Labelling Environmentally Products*	39	176
República da Croácia	*Ministry of Environmental Protection and Physical Planning*	*Environmental Label of the Republic of Croatia*	40	18
Suécia	*Swedish Society for Nature Conservation (SSNC)*	*Good Environmental Choice*	13	786
Suécia (base internac.)	*TCO Development*	*Quality and Ecolabelling Program*	10	2.302
Tailândia	*Thailand Environment Institute (TEI)*	*Thai Green Label Program*	39	162
Taiwan (R.O.C.)	*Environment and Development Foundation (EDF)*	*Green Mark*	88	2.556
Ucrânia	*Living Planet*	*Program for Development of Ecological Marking in Ukraine*	13	63
União Européia U.E.	*European Commission - DG ENVIRONMENT (DG3)*	*European Ecolabel / The Flower*	23	----

Estes programas pertencem a organizações membro do *Global Ecolabelling Network* – GEN, que foi estabelecido com o objetivo de ser um fórum para troca de informações e cooperação entre as organizações que operam os programas de rotulagem ambiental.

Mais recentemente, o GEN desenvolveu um procedimento para reconhecimento mútuo específico para a rotulagem ambiental, o qual foi baseado em acordos de reconhecimento mútuo com base bilateral e/ou regional; uma base comum de critérios de desempenho ambiental para certos produtos; iniciou o desenvolvimento de critérios harmonizados, etc. (GEN, 2004b; GEN, 2006).

Os programas de rotulagem ambiental consideram critérios ambientais do produto estabelecidos a partir de indicadores oriundos de considerações sobre o ciclo de vida do produto. A razão para este fato é que há uma necessidade crescente de assegurar os consumidores, os produtores e os prestadores de serviço, de que todos os aspectos do desenvolvimento do produto, suprimento, uso e disposição final foram considerados durante a rotulagem ambiental deste produto (GEN, 2004a).

Os critérios de certificação adotados por estes programas são desenvolvidos de modo a distinguir o segmento líder de uma categoria de produto do restante da mesma categoria, o que não é nada fácil, mas é essencial para evitar arbitrariedade e adoção de critérios irrelevantes. Por este motivo, existe uma tendência em se considerar uma revisão do ciclo de vida total dos produtos na maioria dos programas. Os programas operam de maneira consistente com as forças e requerimentos do mercado, respondendo às mudanças tecnológicas e de mercado. Por este motivo, é feita uma revisão periódica (normalmente a cada três anos) e, quando necessário, atualização das categorias e critérios ambientais com a finalidade de garantir que os mesmos estão de acordo com os novos desenvolvimentos.

A maioria dos programas de rotulagem ambiental demonstram consistência com os princípios estabelecidos nas normas ISO 14020 e ISO 14024, o que confere maior legitimidade e solidez a estes programas, uma vez que consideram, entre outras diretrizes, o ciclo de vida completo do produto para o estabelecimento dos critérios, os quais visam distinguir produtos preferíveis ambientalmente a partir de diferenças mensuráveis em termos de impacto ambiental (ISO 14020, 2000; ISO 14024, 1999; GEN, 2004a).

5.3 Exemplo de Programa de Rotulagem Ambiental Tipo I

O programa de rotulagem ambiental do Japão, *Eco Mark*, que tem o maior número de produtos certificados, conta atualmente com 135 categorias de produtos, 47 destas disponíveis em inglês. Alguns exemplos de categorias de produtos deste programa são: produtos feitos de pneus usados (n. 22), óleo lubrificante biodegradável (n. 110), embalagem de papel (n. 113), materiais para embalagem de papel (n. 114), produtos plásticos e produtos plásticos usando reciclado (n. 118), recipientes / materiais de embalagem retornáveis (n. 121), produtos de vidro (n. 124), tintas (n. 126), sabão reciclado feito de óleo de cozinha (n. 129), produtos para engenharia civil (n. 131), relógios (n. 134), entre outros (Eco Mark, 2006).

Os produtos com o rótulo *Eco Mark* devem satisfazer um dos seguintes requisitos e pertencer a uma categoria de produtos recomendados do ponto de vista de conservação ambiental:

- Produtos que apresentam menor impacto ambiental do que produtos similares durante sua produção, uso e disposição final;
- Produtos que reduzem o impacto ambiental de outros modos, contribuindo significativamente para a conservação do meio ambiente.

A Associação Ambiental do Japão (JEA) é o órgão que administra o programa *Eco Mark*. Para assegurar a operação efetiva deste programa, existem diversas divisões:

- Comitê Diretor: formado por especialistas em conservação ambiental, bem como especialistas em agências administrativas, grupos de consumidores e empresas relevantes. Este comitê estabelece e revisa o orçamento do programa, planos e normas de implementação do programa, estabelece e revisa as normas para os demais comitês vinculados ao programa e delibera sobre outros itens importantes para o programa;
- Comitê para estabelecimento das categorias e critérios: delibera as categorias de produtos e estabelece os critérios de certificação, bem como os itens relativos à revisão;
- Comitê para certificação de produtos: formado por especialistas de instituições neutras para os quais são fornecidos dados sobre avaliação do impacto ambiental, determinações para reduzir este impacto e certificação dos produtos;

- Grupo de trabalho: formado por membros de organizações setoriais para as categorias de produtos, organizações de consumidores e especialistas de instituições neutras que deliberam sobre o ciclo de vida dos produtos e decidem sobre a proposta para certificação.

Para avaliar o impacto ambiental destes produtos, o programa *Eco Mark* considera o ciclo de vida completo do produto para decidir sobre uma proposta de certificação. Na tabela 5.3 são apresentados os impactos ambientais que normalmente são considerados neste programa para os diversos produtos. A revisão dos critérios de certificação é feita a cada 3-5 anos. O período de contrato é válido por um ano, com renovação automática anual mediante o pagamento de taxa específica.

Portanto, a ACV utilizada como base para os rótulos ambientais tem por objetivo melhorar a rotulagem ambiental, tornando-a mais transparente e científica.

Tabela 5.3 – Seleção de categorias de impacto ambiental para cada estágio do ciclo de vida do produto (JAPAN ENVIRONMENT ASSOCIATION, 2006)

Categoria de impacto ambiental	Estágio do ciclo de vida do produto					
	Extração de recursos naturais	Produção	Distribuição	Uso / consumo	Disposição final	Reciclagem
Consumo de recursos naturais						
Emissão de gases de efeito estufa						
Emissão de substâncias que reduzem a camada de ozônio						
Deterioração do ecossistema						
Emissão de poluentes atmosféricos						
Emissão de poluentes para a água						
Emissões para o solo						
Uso / emissão de materiais perigosos						
Outros impactos ambientais						

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14020:** rótulos e declarações ambientais – princípios gerais. Rio de Janeiro, 2002. 5 p.

_____. **NBR ISO 14021:** rótulos e declarações ambientais – autodeclarações ambientais – rotulagem do tipo II. Rio de Janeiro, 2004. 26 p.

_____. **NBR ISO 14024:** rótulos e declarações ambientais – rotulagem ambiental do tipo I – princípios e procedimentos. Rio de Janeiro, 2004. 13 p.

BLUE ANGEL. **The ecolabel jury's roadmap from 2004 to mid-2007:** adopted by the ecolabel jury. 2004. 3 p. Disponível em: <http://www.blauer-engel.de/downloads/Roadmap2004_2007_eng.doc>. Acesso em: 31 ago. 2006.

DG ENVIRONMENT, EUROPEAN COMMISSION. **Study on different types of environmental labelling (ISO type II and III labels):** proposal for na environmental labelling strategy. Oxford: Environmental Resources Management, sept. 2000. 108 p. Final report. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/pdf/studies/erm.pdf>. Acesso em: 14 set. 2006.

ECO MARK Committee for establishing category and criteria (43rd Meeting). **Eco Mark News**, Japan, n. 65, ago. 2006. p. 2.

GLOBAL ECOLABELLING NETWORK - GEN. **Introduction to ecolabelling.** Tokyo: GEN, 2004a. 17 p. Disponível em: <www.gen.gr.jp/pdf/pub_pdf01.pdf>. Acesso em: 15 set. 2006

GLOBAL ECOLABELLING NETWORK - GEN. **Annual report 2004**. Tokyo: GEN, 2004b. 24 p. Disponível em: <http://www.gen.gr.jp/pdf/04annual_report2004.pdf>. Acesso em: 1 set. 2006.

GLOBAL ECOLABELLING NETWORK - GEN. **Product categories and criteria documents of ecolabelling programs worldwide**. Tokyo: GEN, 2006. Disponível em <http://www.gen.gr.jp/product.html> Acesso em: 1 set. 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14020:** environmental labels and declarations – general principles. 2nd ed. Genève: ISO, 2000. 5 p.

_____. **ISO 14024**: environmental labels and declarations – type I environmental labelling - principles and procedures. Genève: ISO, 1999. 12 p.

_____. **ISO/TR 14025:** environmental labels and declarations – type III environmental declarations. Genève: ISO, 2000. 25 p.

JAPAN ENVIRONMENT ASSOCIATION - JEA. **Guidelines for Eco Mark program implementation.** Tokyo: Eco Mark Office, 2006. Disponível em: <http://www.ecomark.jp/english/youkou.html>. Acesso em: 14 set. 2006.

6 Análise de Custo do Ciclo de Vida (ACCV): Metodologia e Aplicação em Eficiência Energética

Guilherme de Castilho Queiroz
Eloísa Elena Corrêa Garcia

6.1 Introdução

Após 1992, quando ocorreu a ECO-92 no Rio de Janeiro, iniciou-se a construção da Agenda 21 Global com a formatação de ferramentas práticas para se buscar o Desenvolvimento Sustentável[1]. As normas da série ISO 14000 focadas em produtos, que têm como base o Ciclo de Vida do produto (bens e serviços), são algumas destas ferramentas práticas para se atingir o desenvolvimento sustentável. São metodologias transparentes, compreensíveis, operacionais e aplicáveis em rotinas de tomada de decisão envolvendo os pilares da AGENDA 21 (2002): ecológico (desempenho ambiental do produto – Avaliação do Ciclo de Vida, Rotulagem Ambiental, etc.), econômico (Análise de Custo do Ciclo de Vida – ACCV, etc.), social (múltiplos grupos interdisciplinares tomadores de decisão, etc.), entre outros.

Independente das críticas que possa haver sobre o tema desenvolvimento sustentável[2], ferramentas como as normas da série ISO 14000 têm facilitado a implantação de políticas para incentivo da melhoria da qualidade de produto com menores impactos ambientais na sua produção e consumo.

A implantação e o desenvolvimento das normas ISO 9000 está estreitamente ligada à globalização e ao aumento das transações internacionais, como se pode verificar pelas definições de qualidade apresentadas no quadro 6.1.

Quadro 6.1 – A Qualidade no Século XX (GARCIA; QUEIROZ, 2002)

- Em 1987 foi publicada a série ISO 9000 para estabelecer um padrão de qualidade entre países, de forma a diminuir as barreiras técnicas e facilitar o comércio internacional de mercadorias e serviços.
- A ISO 9000 (Qualidade Total) foi uma resposta encontrada pelos europeus ao sistema de qualidade total criado pelos Estados Unidos (EUA), mas desenvolvido, com maestria, pelos japoneses.
- Os princípios das normas ISO são definidos pela *International Organization for Standardization*, entidade com sede em Genebra, na Suíça, formada por cerca de 120 países (seus organismos de normalização), entre os quais a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).
- Ambas as séries de normas ISO 9000 e ISO 14000 fornecem ferramentas e estabelecem padrões de sistema de gestão, visando a melhoria contínua do processo produtivo em empresas de qualquer porte e ramo de atividades. A certificação é uma demonstração da qualidade de cada empresa ao mercado. A incorporação da variável ambiental é mais um passo adiante no ajuste competitivo das empresas em face das imposições da globalização econômica.

1 Desenvolvimento Sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades e aspirações da geração atual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades e aspirações (WORLD COMMISSION ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 1987).

2 Numa discussão bastante compreensível de que se deve aprofundar o conceito dentro de uma visão holística em que realmente fazemos parte da natureza e devemos preservá-la, etc.

A ABNT, entre tantas outras atividades, tem trabalhado ativamente nas normas ISO 14000 relacionadas ao produto, que se referem à Avaliação do Ciclo de Vida (ACV – série de normas NBR ISO 14040: 2001), Rotulagem Ambiental (série de normas NBR ISO 14020: 2002) e *Design for Environment* (desenvolvimento de produto com menor impacto ambiental – relatório técnico ISO/TR 14062: 2002). Estas normas dão suporte para a avaliação da relação do produto com o meio ambiente desde a extração dos recursos naturais consumidos até a disposição final dos resíduos gerados.

A ABNT tem um programa, conhecido como Programa Brasileiro de Qualidade Ambiental, que já tem um selo básico (figura 6.1a) que pretende apoiar os diversos produtos/setores que apresentarem interesse na certificação deste programa de qualidade ambiental brasileiro, como o programa de certificação florestal (figura 6.1b).

(a) "selo verde" - básico

(b) selo CERFLOR

Figura 6.1 – "Selo Verde" Brasileiro (QUEIROZ, 2004)

Programas de Rotulagem Ambiental são fundamentais para o desenvolvimento sustentável, pois com eles se consegue difundir aos consumidores informações resumidas e confiáveis de como se pode contribuir para o crescimento econômico com menor agressão ao meio ambiente.

O objetivo deste capítulo é discutir a metodologia de Análise de Custo do Ciclo de Vida – ACCV e sua aplicação, como ferramenta para o estabelecimento de padrões de eficiência energética, complementares aos rótulos atualmente voluntários já existentes para refrigeradores populares brasileiros.

6.2 Análise de Custo do Ciclo de Vida - ACCV

A ACCV é uma metodologia de análise de custo do ciclo de vida de um produto que envolve tanto os custos e benefícios econômicos "contabilizáveis" quanto os impactos muitas vezes quantificáveis, porém não "contabilizáveis", denominados na literatura como externalidades[3] (QUEIROZ, 1999). Isto pode ser exemplificado através de um esquema ilustrativo como da figura 6.2.

3 Um exemplo de externalidade poderia ser "emissões de dióxido de carbono (CO_2)" que poderia ser contabilizada como "taxas antecipadas de CO_2" e daí "internalizadas na ACCV.

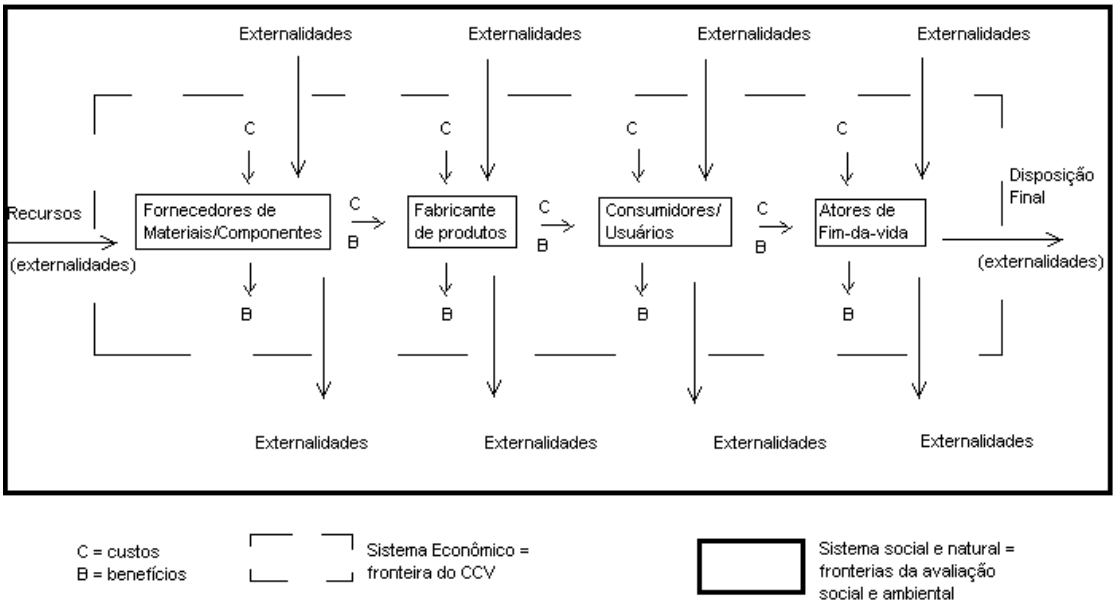
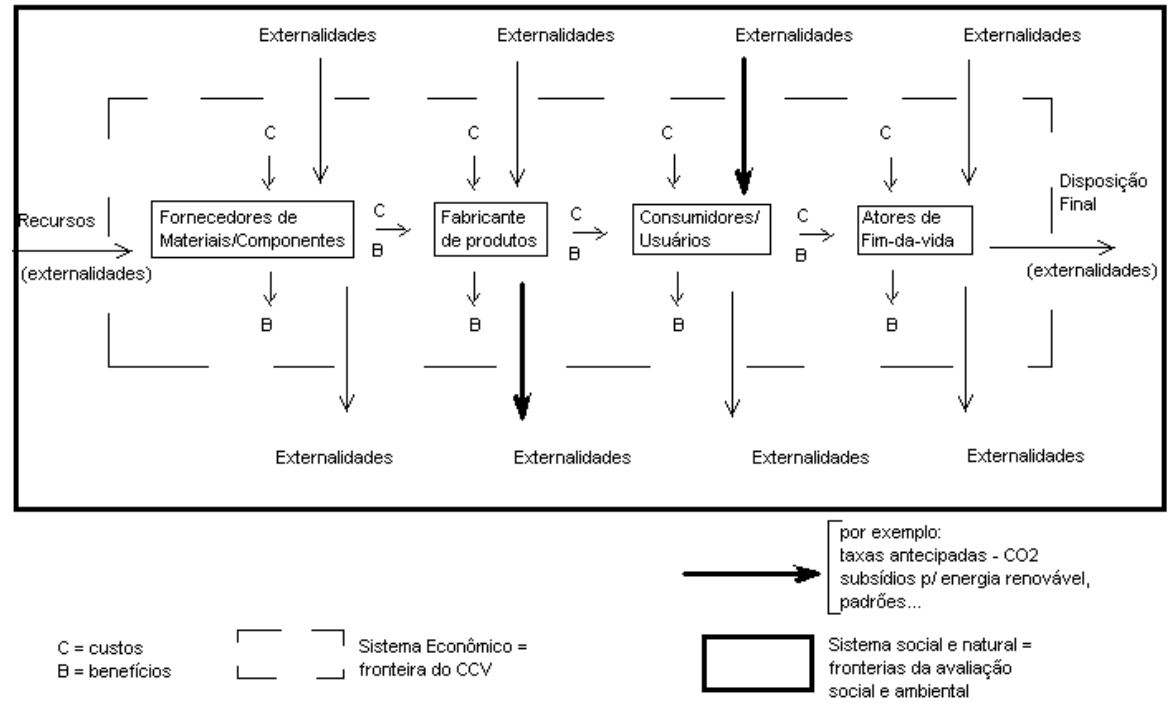


Figura 6.2 – Fronteiras do custo do ciclo de vida - CCV (QUEIROZ, 2004)

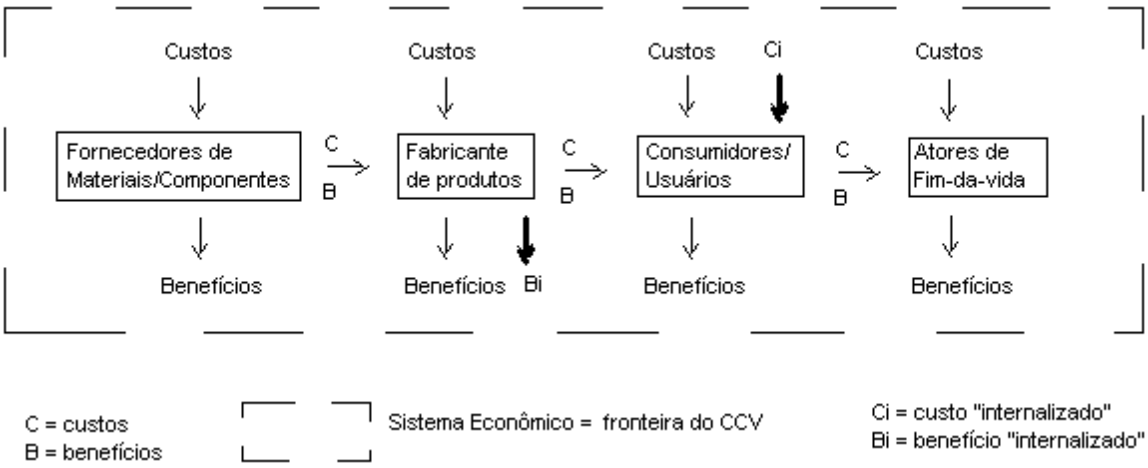
A fronteira do sistema econômico do ciclo de vida de um produto engloba desde a extração das matérias-primas (recursos como, por exemplo, petróleo, madeira, cana-de-açúcar etc.) até o destino final do produto após seu uso. Avalia-se, inclusive, a contribuição em termos de gestão de resíduos, de todas as etapas da cadeia de suprimentos, do consumo e do aproveitamento no fim-da-vida do produto, com os denominados atores de fim-da-vida como, por exemplo, processos de reciclagem pós-consumo (mecânica, energética, etc.), reutilização, entre outros.

Uma vez que a metodologia de ACCV exige uma praticidade, passa-se a "internalizar" algumas externalidades (possíveis e importantes) como, por exemplo, subsídios ao uso de energia renovável, que poderiam ser "antecipados" nos processos de cálculos econômicos para apoiar as tomadas de decisão. Estas deixam, então, de ser externalidades, uma vez que passam a ser custos "contabilizados" (figura 6.3), sempre seguindo os critérios científicos da ISO 14000.

Além desta "internalização" das externalidades de possível "contabilização" (Ci e Bi das figuras 6.4, 6.5 e 6.6), é possível fazer uma análise de ACCV a partir de diferentes perspectivas, como, por exemplo, perspectiva do fabricante de determinado equipamento/máquina (figura 6.4), perspectiva do fabricante e seus fornecedores (cadeia de suprimentos - figura 6.5), perspectiva do consumidor (figura 6.6), etc.



(a) Seleção das externalidades



(b) Internalização das externalidades

Figura 6.3 – Seleção (a) e Internalização (b) das externalidades (QUEIROZ, 2004)

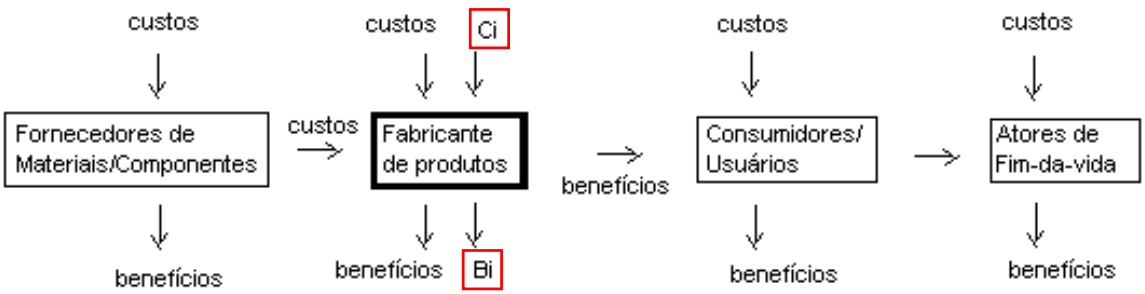


Figura 6.4 - Perspectiva do fabricante (QUEIROZ, 2004)

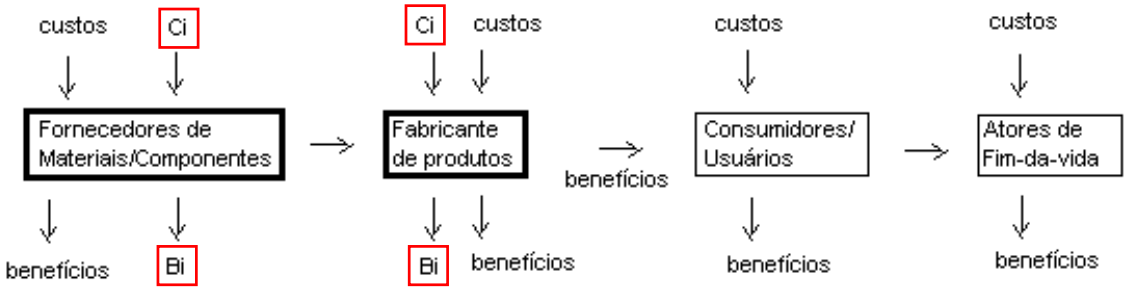


Figura 6.5 – Perspectiva do fabricante e fornecedores – *supply chain* (QUEIROZ, 2004)

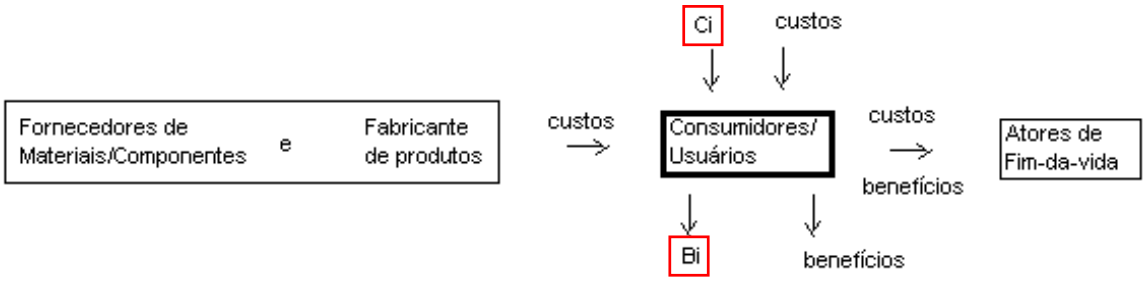


Figura 6.6 – Perspectiva do consumidor (QUEIROZ, 2004)

O suporte aos órgãos governamentais (figura 6.7) passa a ser uma das maiores aplicações da ACCV, uma vez que possibilitam analisar os diversos atores envolvidos e/ou as diversas cadeias/setores, como, por exemplo, o uso de resíduos de alguns *clusters* industriais (por exemplo, cinzas das termelétricas) por outros setores (por exemplo, construção civil), etc.

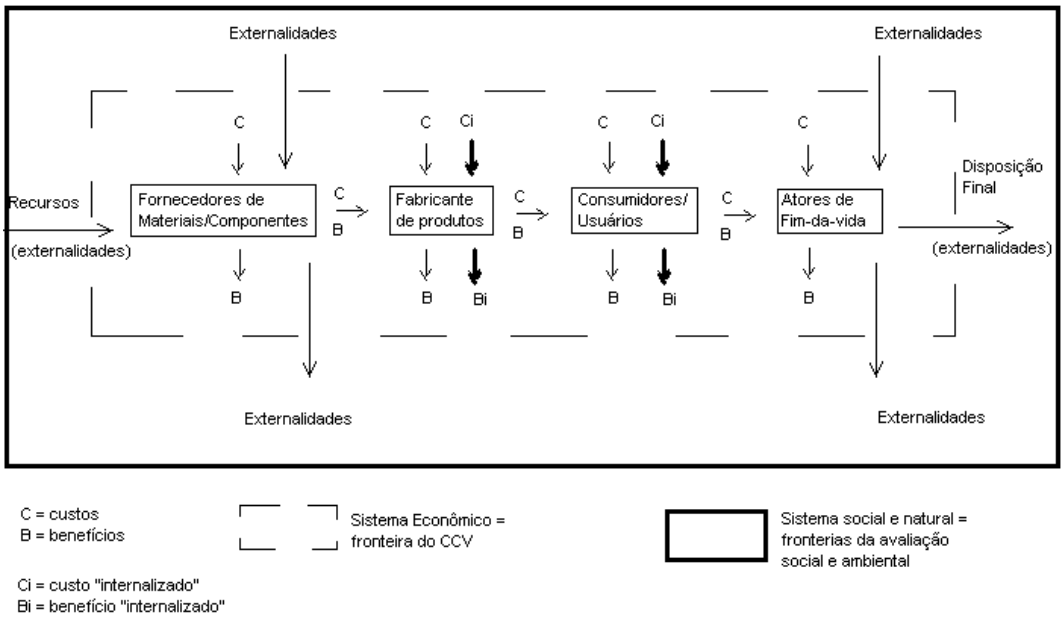


Figura 6.7 – Perspectiva do Governo/País (QUEIROZ, 2004)

O governo deve, então, estar preparado, com pessoal capacitado nas mais diversas áreas de aplicação destes conceitos de ciclo de vida (como, por exemplo, eletrodomésticos, construção civil, produtos para exportação e substituição de importações, etc.), pois, este será um fator cada vez mais importante num mundo globalizado.

Além desta importância como ferramenta de suporte às tomadas de decisões de investimentos e postura política internacional, o conceito de ciclo de vida possibilita um maior conhecimento sobre os produtos, evitando, por exemplo, que se criem leis isoladas sem se conhecer o impacto total ao longo do ciclo de vida dos diversos produtos, que em muitos casos têm seus maiores impactos durante o uso de combustíveis como pode ser exemplificado pelo setor automobilístico, de eletrodomésticos, etc., ao invés de, por exemplo, no destino dos seus resíduos.

6.3 Metodologia de ACCV

Existem diferentes metodologias para se estimar o custo do ciclo de vida de um produto. A ACCV utilizada aqui, tem como suporte o documento CLASP - *Collaborative Labeling and Appliance Standards Program* (WIEL; MCMAHON, 2001), considerando o consumidor, economia de energia e impacto econômico nacional, impacto nos fabricantes, impactos na oferta de energia e impactos ambientais.

Uma análise de engenharia econômica mostra os custos extras de fabricação que acompanham o aumento da eficiência energética. Estes devem ser ponderados em relação aos custos da energia referentes às metas (padrões) de redução. O procedimento de engenharia econômica não prescreve que os fabricantes devam usar as opções técnicas usadas na ACCV para atingir os padrões de eficiência energética. A metodologia simplesmente assegura que existe pelo menos um caminho prático para atingir o padrão. Uma vez que a análise de engenharia econômica é completada, analisam-se os impactos econômicos das melhorias potenciais em eficiência energética para os consumidores, utilizando as metodologias de período de retorno do investimento (*payback period*) e ACCV.

A ACCV tem como instrumento o Custo do Ciclo de Vida (CCV) que é a somatória do custo de compra (P) e dos custos operacionais anuais (O) descontados do tempo de vida útil (N, em anos) do aparelho (quadro 6.2). Comparado ao período de retorno do investimento, o CCV inclui considerações de dois fatores adicionais: vida útil do aparelho e taxa de desconto para o consumidor.

Quadro 6.2 – Cálculo do CCV e do período de retorno do investimento (WIEL; MCMAHON, 2001)

CCV:

$$CCV = P + \sum_{t=1}^{N} \frac{Ot}{(1+r)^t}$$

P = preço de venda ao consumidor ($);
O = custos operacionais (eletricidade, etc.);
r = taxa de desconto real para o consumidor;
N = tempo de vida útil (anos);
t = tempo (anos) desde a aquisição do equipamento (eletrodoméstico).

Se, os custos operacionais são constantes no tempo:
CCV = P + PWF * O
Sendo que o PWF (fator de atualização presente) é:

$$PWF = \sum_{t=1}^{N} \frac{1}{(1+r)^t} = \frac{1}{r}\left[1 - \frac{1}{(1+r)^N}\right]$$

Payback period (PAY):

$$\Delta P + \sum_{1}^{PAY} \Delta O_t = 0$$

e PAY é o momento onde se encontra a inversão do sinal da equação, ou seja, é onde o investimento (no preço de compra) se iguala às economias operacionais (conta de energia elétrica):

$$PAY = -\frac{\Delta P}{\Delta O}$$

6.4 Aplicações da ACCV na Área de Eficiência Energética no Mundo

É importante salientar que a ACCV é aplicada tanto nos EUA quanto na Europa, de forma complementar a outras ferramentas, como, por exemplo, os selos de eficiência energética.

6.4.1 Eficiência Energética na Europa

Na Europa, já desde o início dos anos 90 se desenvolve a padronização de eficiência energética mínima. A CLASP salienta um trabalho desenvolvido pelo GEA (Grupo de Eficiência Energética) que verificou que utilizando a metodologia de ACCV atingiam-se padrões de eficiência energética de longo prazo com consumos de eletricidade bem menores que os alcançados pelas metodologias estatísticas (WIEL; MCMAHON, 2001).

Na figura 6.8 é ilustrado o consumo de energia (kWh/ano) em função do volume ajustado (litros) das geladeiras, considerando uma metodologia de ACCV (padrão de longo período) e o procedimento estatístico (curvas média, 10% de economia e 15% de economia).

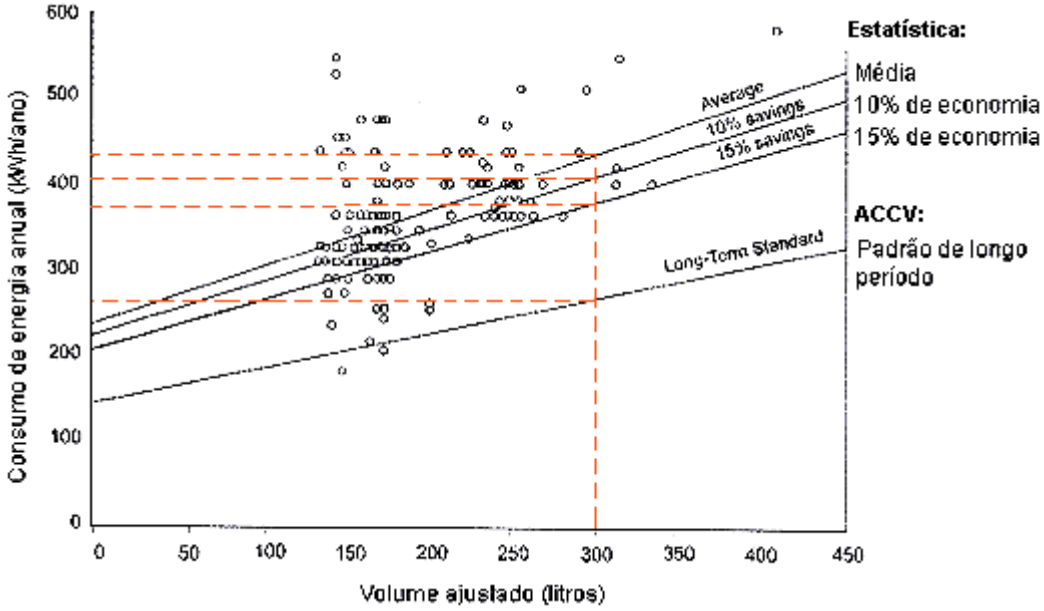
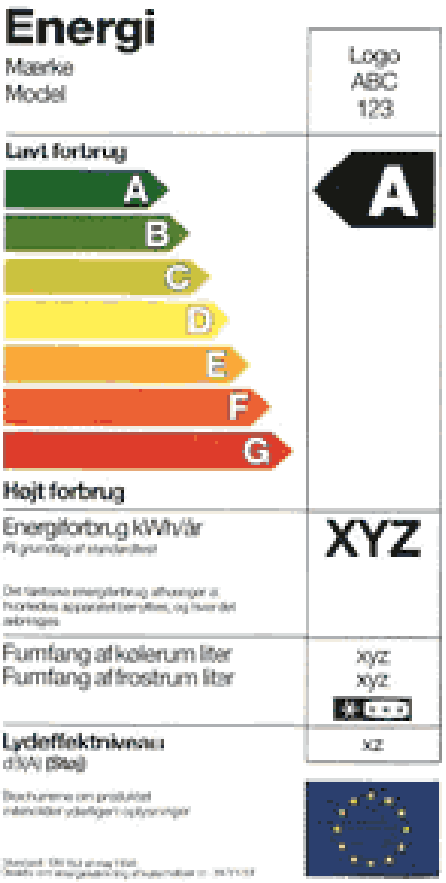


Figura 6.8 – Estudo do GEA utilizando metodologia estatística e ACCV (WIEL; MCMAHON, 2001)

Tomando como exemplo um volume ajustado de aproximadamente 300 litros e 430 kWh/ano, os resultados mostrados na figura 6.8 indicam que para a metodologia de ACCV (padrão de longo período) resulta em um consumo anual de aproximadamente 260 kWh/ano, ao passo que para o procedimento estatístico este valor é de cerca de 390 kWh/ano, para a curva de 10% de economia e de 350 kWh/ano, para a curva de 15% de aconomia. Esta diferença deve-se ao melhor conhecimento do setor proporcionado pela metodologia de ACCV em comparação à metodologia estatística, uma vez que a ACCV deverá envolver as indústrias produtoras (inclusive com o apoio de outras legislações que proporcionem o acesso a dados técnicos, de custos, etc.) permitindo uma maior competição pela qualidade, inclusive ambiental.

Estes padrões de eficiência energética mínima são complementados por programas de etiquetagem energética, com selos de eficiência energética (figura 6.9.a) e de rotulagem ambiental, com “selo verde” (figura 6.9.b).



(a) selo de eficiência energética

(b) rótulo ambiental – “selo verde”

Figura 6.9 – Selo de eficiência energética e rótulo ambiental da Comunidade Européia (WIEL; MCMAHON, 2001)

Os “selos verdes” (figura 6.9b) são *logos* para produtos que o programa de rotulagem ambiental julga ser menos agressivo ao meio ambiente que os produtos comparáveis, baseado num conjunto específico de critérios (ACV setorial, não necessariamente completa). Estes programas de rotulagem ambiental geralmente seguem 3 passos: definição da categoria do produto, desenvolvimento do critério do prêmio e avaliação do produto. Os “selos verdes” são complexos e requerem a consideração de muitos fatores, incluindo metas de políticas ambientais, atenção do consumidor com as questões ambientais (educação e cultura do consumo sustentável), posição no comércio, efeitos na importação e exportação e efeitos econômicos na indústria doméstica. Na figura 6.10 tem-se uma ilustração dos 14 grupos de produtos com rótulo ambiental para equipar uma casa da Comunidade Européia (EU, 2002).

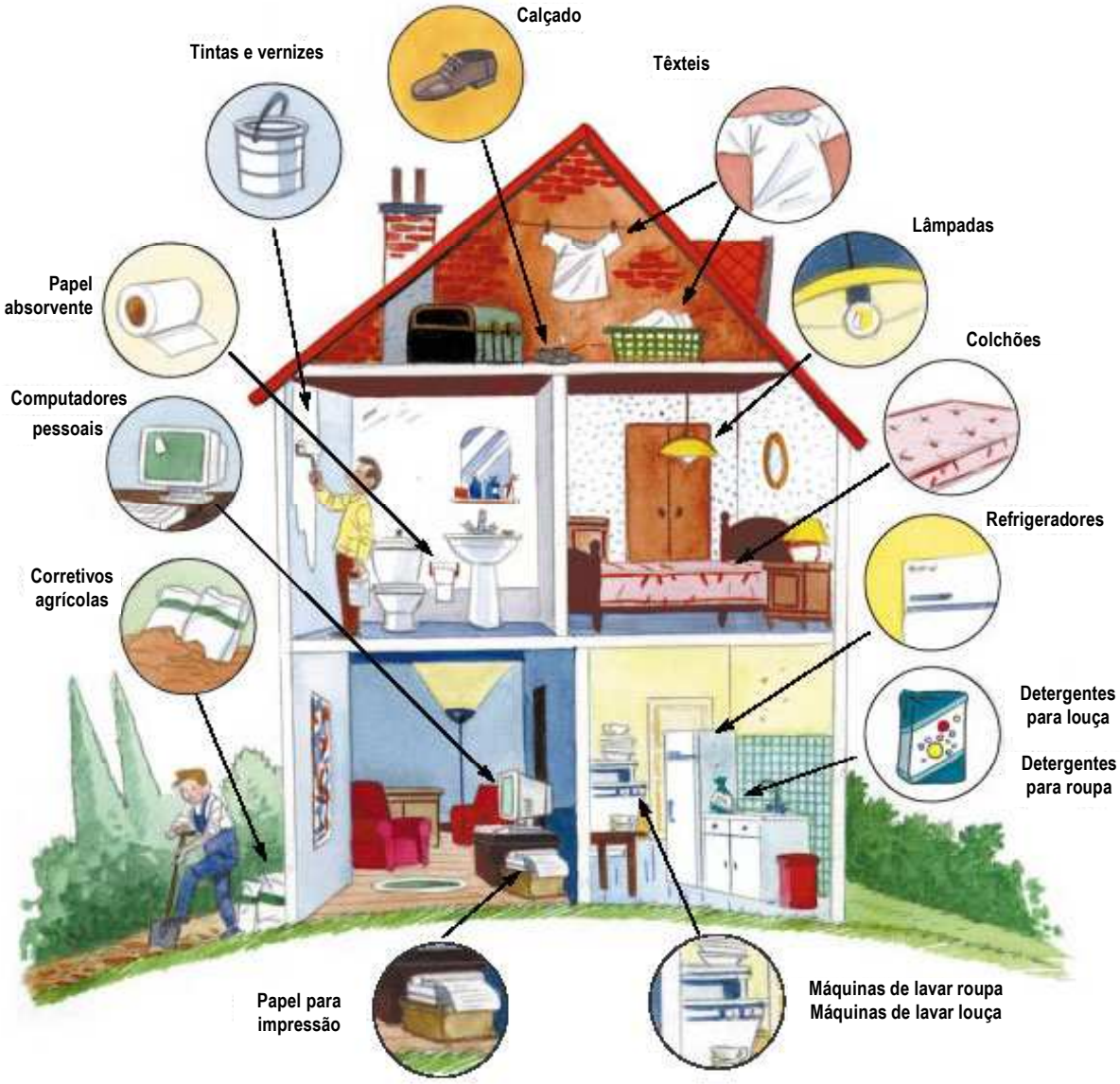


Figura 6.10 – Os 14 grupos de produtos com rótulo ambiental para uma casa européia (EU, 2002)

Verifica-se que na Comunidade Européia o conceito de ciclo de vida está incorporado na metodologia de padrões de eficiência energética e na metodologia de rotulagem ambiental, conforme ilustra a figura 6.11 para geladeiras lá comercializadas.

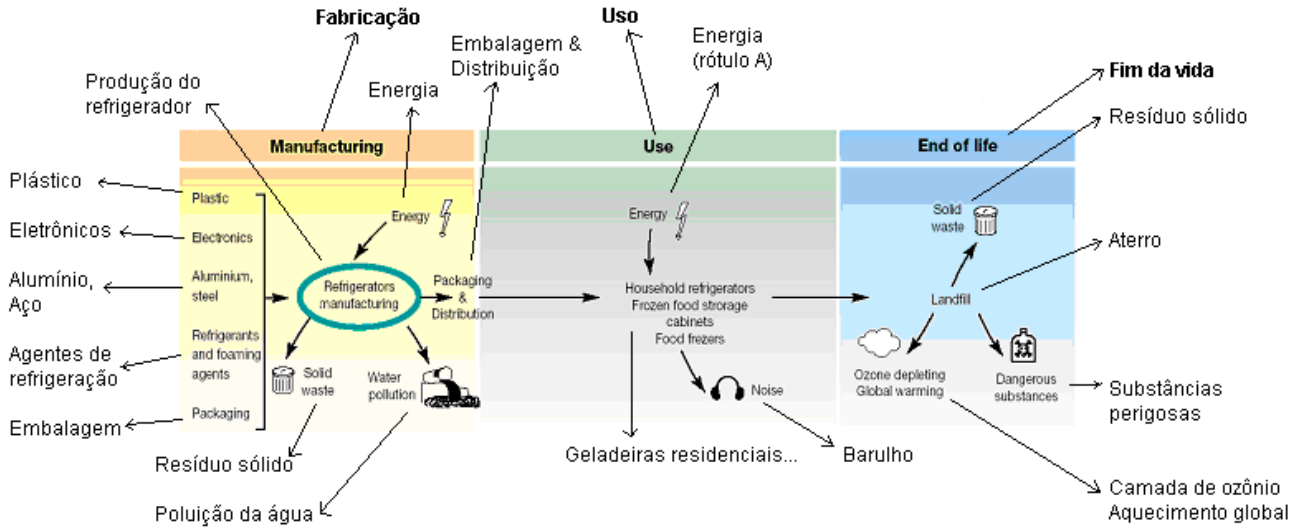


Figura 6.11 – ACV da geladeira na Comunidade Européia (ECOLABEL, 2005)

Um rótulo ambiental vai além do selo de eficiência energética, pois além do produto, por exemplo geladeira, ter que ser mais eficiente energeticamente – rótulo de eficiência energética "A" – e não fazer muito "barulho" este ainda tem que ter outros atributos, tais como melhor eficiência ambiental na etapa de fabricação e na disposição final dos resíduos no fim da vida do produto (figura 6.11).

6.4.2 Eficiência Energética nos Estados Unidos (EUA)

Nos EUA, também já desde o início dos anos 90 se desenvolve a padronização de eficiência energética mínima. Os padrões são revistos periodicamente (WIEL; MCMAHON, 2001) como ilustra a figura 6.12, numa constante negociação entre governo, setor industrial e consumidores residenciais.

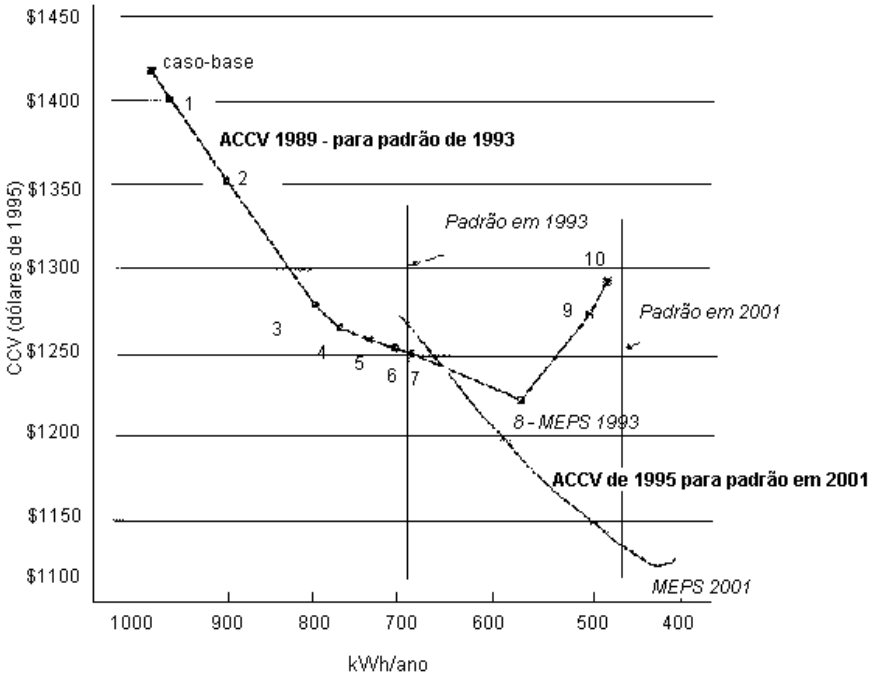


Figura 6.12 – Metodologia de ACCV dos EUA (WIEL; MCMAHON, 2001)

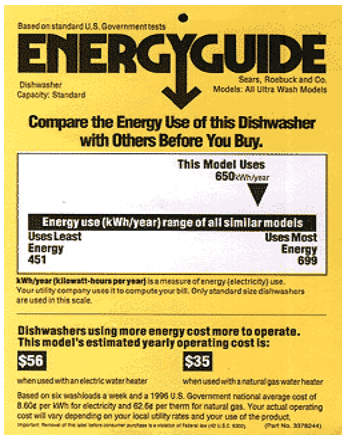
O gráfico da figura 6.12 ilustra como a ACCV é uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão e um ponto base para a negociação entre os diversos setores. Por exemplo, no estudo de ACCV norte-americano, desenvolvido em 1989 para estipular um padrão para 1993, mesmo com uma proposta de eficiência

energética mínima "MEPS" (*minimum energy performance standards* – ponto 8 da figura 6.12) bastante interessante para os consumidores residenciais que teriam o menor custo do ciclo de vida, o governo, negociando com o setor industrial e entendendo suas dificuldades, propôs um "padrão em 1993" um pouco menos restritivo para o ano projetado. Desta forma, em 1989 o governo norte-americano fez um estudo de ACCV que mostrou que os refrigeradores poderiam ser melhorados a tal ponto que o consumo de aproximadamente 950 kWh/ano poderia passar para cerca de 580 kWh/ano (MEPS). A figura 6.12 ilustra, através da curva superior, que o MEPS foi obtido quando oito alterações técnicas (inovações tecnológicas indicadas por números e pontos sobre a curva) foram embutidas no refrigerador.

Em 1995 foi desenvolvido um novo projeto de ACCV nos EUA que já partiu de um consumo médio anual (da classe de refrigerador analisada) de aproximadamente 700 kWh/ano (padrão definido para 1993). Esta nova etapa do processo de ACCV e padronização da eficiência energética dos refrigeradores norte-americanos sugeria, então, um MEPS para 2001 de aproximadamente 450 kWh/ano. Entretanto, em nova negociação com os setores envolvidos (fabricantes, consumidores, etc.) estipulou-se um padrão para 2001 de cerca de 480 kWh/ano para aquela classe de refrigeradores analisados.

A figura 6.12 ilustra o gráfico final de ACCV com os CCVs de cada alternativa analisada. A ACCV pode ser definida como uma análise sistemática do processo de avaliação de várias alternativas em andamento (várias inovações dando origem a vários CCVs) e de ações cujo objetivo é de selecionar o melhor caminho para empregar os recursos disponíveis (FABRYCKY; BLANCHARD, 1991). O gráfico da figura 6.12 ilustra bem essa definição, pois, com este gráfico (CCV x consumo de energia em kWh/ano) ilustram-se todas as inovações analisadas em um produto (por exemplo, geladeira) entendendo-se que o refrigerador de referência (caso-base da figura 6.12) seria o do mercado norte-americano em 1989. Já no ponto 1 analisa-se a implantação da inovação tecnológica 1 (por exemplo, um compressor padrão comum no mercado sendo substituído por um compressor mais eficiente, conseguindo assim, um ganho de eficiência no ciclo de refrigeração resultando em economia de energia). Mas, pode ocorrer uma pergunta: se for inserido um componente (por exemplo, compressor mais eficiente) mais caro no refrigerador, o seu valor final irá aumentar? Isto provavelmente é verdadeiro, contudo, fazendo a ACCV chega-se ao resultado que a economia de energia obtida pelo consumidor com a inovação (devido à economia de energia ao longo do ciclo de vida do refrigerador) é superior ao custo devido à inserção do compressor mais eficiente. Desta forma, o CCV do produto reduz compensando o aumento do preço de compra da geladeira. Da mesma forma, no ponto 2 onde poderia ocorrer, por exemplo, além da inserção da inovação tecnológica 1, também a inserção da inovação tecnológica 2 (por exemplo, a diminuição da perda de calor pela vedação devido a um novo material ou formato da gaxeta da porta). A junção destas duas inovações possibilitou um ganho ainda maior de eficiência, compensando novamente o aumento de preço ocasionado por elas. Mas, quando se analisa o ponto 9 nota-se que houve um ganho de eficiência superior ao anterior, contudo, desta vez o CCV subiu. Isto se dá, por exemplo, porque ao se acumular algumas das inovações anteriores com a inovação 9 (por exemplo, um aumento muito grande da espessura do isolamento nas paredes do refrigerador) ocasionou em um custo de inovação superior à economia obtida, embora ainda inferior ao caso-base. Mesmo que o CCV do ponto 9 tivesse sido superior ao do caso-base, dever-se-ia analisar se esse aumento do CCV é recuperado durante a vida útil do equipamento (por exemplo, 16 anos de vida útil do refrigerador). Se isso for verdadeiro, o projeto ainda poderia ser viabilizado. Caso isso não ocorresse, dever-se-ia pesquisar novas alternativas (por exemplo, pesquisar novos materiais mais baratos e tão eficientes quanto os seus antecessores) para a obtenção do nível desejado de economia de energia, etc.

Também nos EUA, os padrões de eficiência energética mínima são complementados por programas de rotulagem, principalmente selos de eficiência energética (comparativos de consumo, conforme ilustra a figura 6.13a) e *endorsement* - que, no caso das geladeiras, indicam que são no mínimo 15% mais eficientes que a legislação/padrão obrigatória (figura 6.13b).



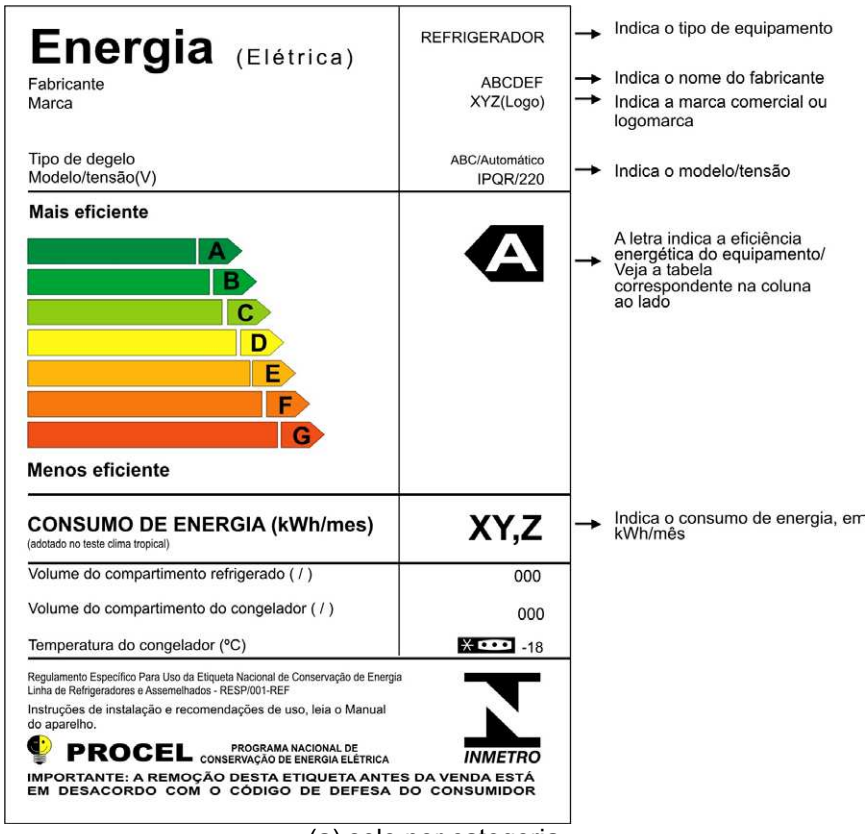
(a) selo de eficiência energética

(b) selo *endorsement*

Figura 6.13 – Selos de eficiência energética dos EUA (WIEL; MCMAHON, 2001; ENERGYSTAR, 2005)

6.4.3 Eficiência Energética no Brasil

No Brasil, os rótulos de eficiência energética são atualmente usados de forma voluntária, mas a partir de 2007 deverão ser compulsórios/obrigatórios (figura 6.14). No ano de 2001, o governo brasileiro introduziu a Lei 10.295 (2001) de padrões de eficiência mínima que deverão ser obrigatórios nos próximos anos.



(a) selo por categoria

(b) selo *endorsement* - PROCEL

Figura 6.14 – Selos de eficiência energética no Brasil (PROCEL, 2004)

Observa-se que o selo de eficiência energética é por categoria, baseado no modelo europeu (figura 6.14a) e, o selo *endorsement* de eficiência energética PROCEL (figura 6.14b) é dado a todos os equipamentos (geladeiras, *freezers* etc.) que participam do programa brasileiro de etiquetagem (PBE), do PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (2004) e atingem a categoria "A". Observa-se também que o PBE do PROCEL está vinculado à Eletrobrás (MME - Ministério de Minas e Energia), com

apoio do INMETRO, que apresenta uma conotação mais "econômica" do que "ambiental" (como no caso dos EUA), ainda que isto contribua, em muito, com a diminuição dos impactos ambientais.

6.5 Comentários e Sugestões

O uso de ferramentas e métodos que simulam o desempenho do refrigerador para propor inovações técnicas e, o uso da ACCV mostra que é possível obter reduções significativas no consumo de eletricidade dos refrigeradores.

A ACCV apresentada neste capítulo representa uma metodologia importante para subsidiar discussões mais aprofundadas com os fabricantes num processo de estipular padrões de eficiência energética para os refrigeradores brasileiros.

Quanto à metodologia de ACCV, salienta-se que o processo deve ter base científica, como propõem as normas NBR ISO 14040 (2001) de avaliação de ciclo de vida e, portanto, complexo, porém, possibilitando uma maior compreensão do ciclo de vida dos produtos.

Apesar de existirem outras metodologias, como as estatísticas, que não levam em conta os custos, a ACCV permite que se conheça melhor o mercado (custos, capacidades tecnológicas, etc.) subsidiando, assim, propostas de padrões de desempenho energético mínimo (MEPS), como pode ser verificado pelo trabalho apresentado na *American Council for an Energy-Efficient Economy* - ACEEE 2003 (QUEIROZ et al., 2003).

E por final, é importante relembrar que o Planejamento Energético Integrado, não só planejando o aumento de oferta, mas também programas do lado da demanda como conservação de energia (emissões, recursos, etc.), é fundamental, pois também contribui com a educação para o consumo sustentável.

Referências Bibliográficas

AGENDA 21. **Agenda 21 global.** Disponível em: www.mma.gov.br. Acesso em: ago. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14020:** rótulos e declarações ambientais: princípios gerais. Rio de Janeiro, 2002. 5 p.

_____. **NBR ISO 14040**: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida, princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001. 10 p.

WIEL, S.; MCMAHON, J. E. Energy-efficiency labels and standards: **A Guidebook for appliances, equipment, and lighting**. E nd ed. Collaborative Labeling and Appliance Standards Program (CLASP), February 2005. 340 p. Disponível em: http://repositories.cdlib.org/cgi/viewcontent.cgi?article=3955&context=lbnl Acesso em: 10 maio 2007.

ECOLABEL. The European Ecological Label for refrigerators. Disponível em: http://europa.eu.int/comm/environment/ecolabel/producers/pg_refrigerators.htm, acesso em: 14 jan. 2005.

ENERGYSTAR. Energy Star. Disponível em: http://www.energystar.gov. Acesso em: 29 jun. 2005.

EU. **O Rótulo Ecológico Europeu em Síntese**. União Européia. Disponível em: http://europa.eu.int/ecolabel. Acesso: ago. 2002.

FABRYCKY, W. J.; BLANCHARD, B. S. **Life-cycle cost and economic analysis**, New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1991. p. 384.

GARCIA, E. E. C. ; QUEIROZ, G. C. Rotulagem e cultura ambiental. In: GERMER, S. P. M., VIALTA, A. , MOURAD A. L. et al. **A indústria de alimentos e o meio ambiente**. Campinas: ITAL, 2002. p. 101-112.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/TR 14062**: Environmental management: integrating environmental aspects into product design and development. Geneve, 2002. 24 p.

BRASIL. Lei 10.295 de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil,** Brasília, DF, 18 out. 2001. Seção I-E.

PROCEL. *Programa Nacional de Conservação de Energia* (PROCEL/Eletrobrás). Disponível em: http://www.eletrobras.gov.br/procel/1.htm, 2004, acesso em 04 mar.2004.

QUEIROZ, G.C., Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV). In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE APLICAÇÕES DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA. Campinas: CETEA/ITAL, 2004. CD-ROM.

QUEIROZ, G.C. Uma metodologia para tomada de decisão combinando princípios do PIR (Planejamento Integrado de Recursos Energéticos) e critérios de estudos de impactos ambientais. 1999. 219f Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos). UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 1999.

QUEIROZ, G. C.; JANNUZZI, G. M.; VENDRUSCULO, et.al. A life-cycle cost analysis (LCCA) for setting energy-efficiency standards in Brazil: the case of residential refrigerators. In: ACEEE, 2003, New York. **Proceedings...** New York, 2003.

WORLD COMMISSION ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our common future**: the brundtland report. Oxford: Oxford University Press, 1987.

7 ACV como Ferramenta do Gerenciamento Integrado do Resíduo Sólido (GIRS)

Guilherme de Castilho Queiroz
Eloísa Elena Corrêa Garcia

7.1 Introdução

Políticas Públicas relacionadas com o desenvolvimento sustentável são indispensáveis para um país que planeja um Desenvolvimento Integrado "Econômico, Social, Ambiental, Político e Institucional". O Gerenciamento Integrado do Resíduo Sólido - GIRS visando a revalorização do resíduo pós-consumo deve ser apoiado em todas as suas iniciativas. A rotulagem ambiental, por exemplo, deve ser uma política pública coordenada por uma forte Instituição Governamental para evitar, por exemplo, um rótulo de "embalagem biodegradável" quando este não for apoiado por um programa de revalorização via "compostagem" do resíduo de embalagem pós-consumo. Programas federais e boas políticas públicas, com metodologias baseadas em conceitos como análise de produtos e serviços por ACV, como de gerenciamento integrado de resíduo sólido, educação ambiental, consumo sustentável, rotulagem ambiental, integração de aspectos ambientais no desenvolvimento de produto (*Ecodesign* ou *Design for Environment),* etc., são ferramentas fundamentais para guiar o desenvolvimento sustentável de uma nação.

Desenvolvimento sustentável é definido como o "desenvolvimento que satisfaz as necessidades e aspirações da geração atual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades" (WORLD COMMISSION ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 1987).

Em se falando de GIRS é sempre bom relembrar a definição de embalagem: "todo produto feito de material de qualquer natureza que é usado para conter, proteger, transportar, distribuir e apresentar os bens, desde os bens materiais naturais até os bens processados, do produtor ao usuário ou consumidor..." Ou seja, a embalagem tem uma função social e econômica vital! (OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 1994). Por outro lado, o resíduo pós-consumo deve ser gerenciado de forma a otimizar o uso de recursos naturais, reduzindo o consumo e a disposição de resíduos ao mesmo tempo que minimizando as emissões para a água e ar.

A gestão com a correta destinação do resíduo sólido interessa aos estudos de ACV, pois constitui-se em uma das etapas do ciclo de vida de produtos de consumo. Por outro lado, a ACV é uma ferramenta interessante para gerar informações para orientar o gerenciamento integrado do resíduo sólido (GIRS), tanto dos resíduos orgânicos úmidos (restos de alimentos) quanto dos resíduos secos (materiais, embalagens, etc.).

A partir destes conceitos de embalagem e desenvolvimento sustentável, a questão central que se coloca para discussão neste capítulo é o gerenciamento integrado do resíduo de embalagem pós-consumo sob a óptica do desenvolvimento sustentável em contraponto a alguns conceitos mono-criteriosos/orientados do que seria uma embalagem "ambientalmente adequada", ou ainda, preconceitos de um "*marketing* verde" sem fundamento técnico, a exemplo da super-valorização de materiais biodegradáveis como alternativa de gestão.

O aproveitamento indevido da rotulagem ambiental, através de um "*marketing* verde" ilusório muitas vezes causa danos irreparáveis à educação/cultura ambiental, como é o caso da rotulagem de algumas

embalagens como "biodegradáveis"[1] confundindo o consumidor, fazendo-o pensar que esta seria uma solução "fácil e perfeita" para o gerenciamento do resíduo de embalagem e que esta poderia ser descartada em qualquer lugar, pois seu resíduo desapareceria do meio ambiente "como por mágica".

A propaganda de que o uso de materiais degradáveis e/ou biodegradáveis é uma solução para a redução do resíduo sólido também pode ter efeito negativo sobre a educação ambiental da população, quando induz o consumidor a pensar que pode jogar o "lixo" em qualquer lugar, pois ele desaparecerá.

É importante ter ciência de que um material biodegradável não "desaparece" do meio ambiente (o que muitas vezes a rotulagem faz o consumidor pensar), mas é transformado em, por exemplo, dióxido de carbono (CO_2) ou metano (CH_4) contribuindo para problemas como o efeito estufa. Na natureza "nada se perde, tudo se transforma", ou seja, o que é um resíduo sólido pode transformar-se em emissões para o ar e/ou para a água. A "desculpa" que se coloca de que as embalagens plásticas contribuem para a maior impermeabilização do solo também deve ser bem analisada, mesmo porque uma das grandes diferenças entre os aterros sanitários e os "lixões" (que diga-se de passagem, não deveriam nem existir) é a contenção do resíduo sólido para que este (e seus sub-produtos como o chorume) não contaminem o meio ambiente (lençol freático etc.).

Existem normas e métodos de ensaio para avaliar o potencial de, por exemplo, "biodegradação em meio aquoso[2]", para produtos como detergente, amaciante, xampú, etc., que certamente vão ser descartados nas nossas pias domésticas e deverão ser submetidos ao tratamento biológico de esgoto. Estes métodos de ensaio não podem ser confundidos com os das normas de compostagem num processo de revalorização de um resíduo sólido através da desintegração da embalagem durante o tratamento biológico, a biodegradação (com produção de CO_2, CH_4) etc. até o controle da qualidade do adubo composto resultante (EN 13432, 2000). Logo, soluções para o GIRS são diferentes das soluções de emissões para a água.

A figura 7.1 exemplifica o ciclo de vida de produtos alimentícios e suas embalagens, dando uma idéia do conceito que deve embasar o GIRS. O objetivo é a otimização constante com base na ACV dos resíduos, ou seja, a redução da disposição de resíduos (em aterros sanitários) ao mesmo tempo da minimização de emissões para a água e ar, buscando transformar o resíduo em produto em outros processos produtivos, ou seja, revalorizando os resíduos através da reciclagem, etc.

1 Mesmo que um país/região possua um programa de compostagem para revalorização dos resíduos biodegradáveis, ainda é necessário pensar na "eficiência agrícola" para o uso do adubo composto resultante (produto final da revalorização via compostagem). Em alguns países a compostagem funciona apenas como uma inertização do resíduo biodegradável, transformando, por exemplo, restos de alimentos em resíduos denominados bio-estáveis, para, então, destiná-los a um aterro.

2 Existem normas internacionais para esta determinação, como por exemplo, a ISO 14851 (2003) e ISO 14852 (1999). Não se pode comparar um resíduo de embalagem pós-consumo com detergentes, amaciantes, shampoo, etc. que certamente vão ser descartados em pias e ralos domésticos e deverão ser submetidos ao tratamento de esgoto, logo, a biodegradação em meio aquoso é bastante importante e, por este motivo, existem ensaios normalizados que avaliam esta biodegradabilidade. Ressalta-se que, mesmo um material biodegradável em meio aquoso, quando descartado diretamente nos rios, irá contribuir para o aumento da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) do meio, o que pode afetar o equilíbrio ecológico desse ambiente.

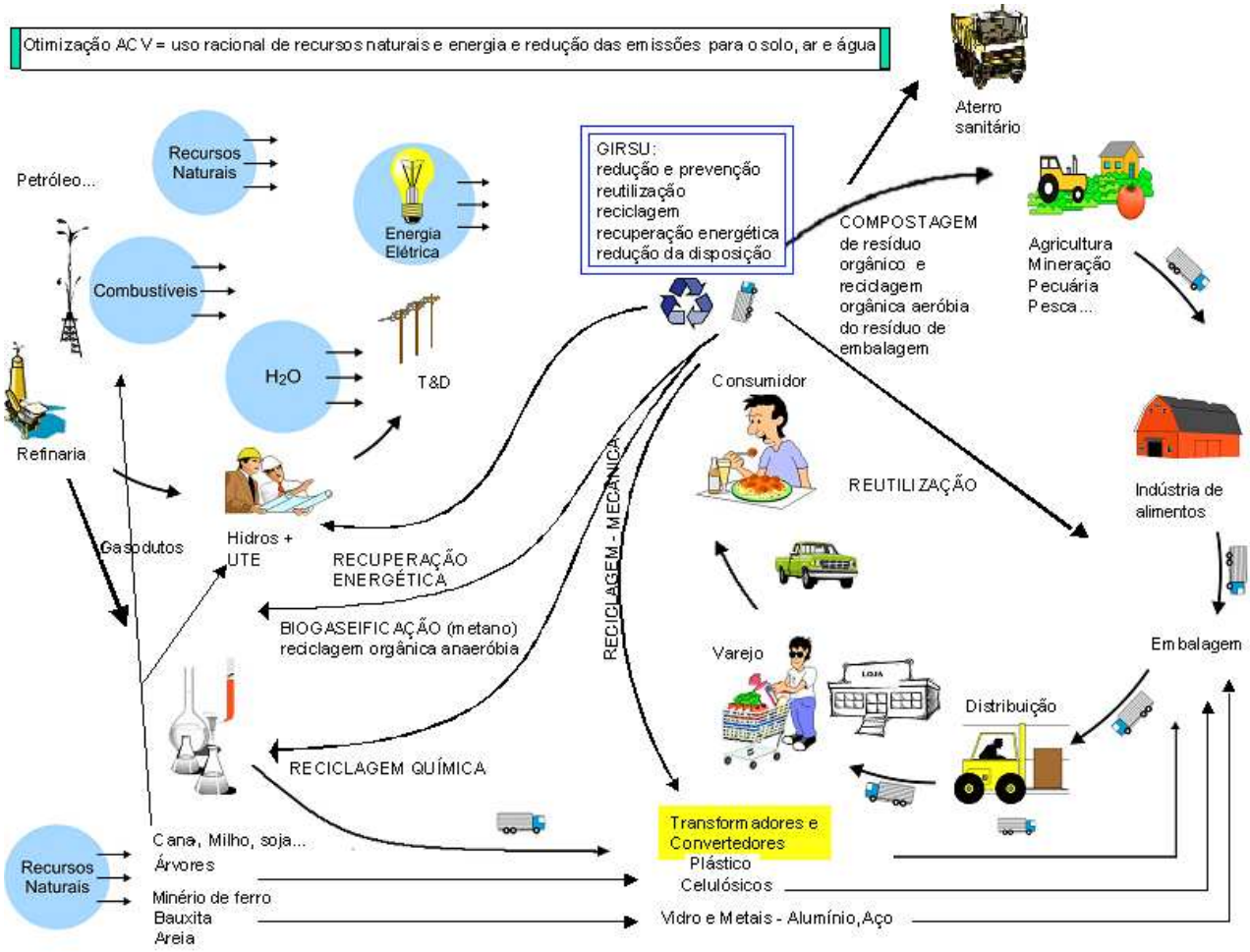


Figura 7.1 – Fluxos de materiais e energia dentro do conceito de ACV e GIRS

Conforme ilustra a figura 7.1, a revalorização do resíduo de embalagem (EN 13427, 2004) deve apoiar simultaneamente todas as suas iniciativas como Redução (EN 13428, 2004), Reuso (reutilização - EN 13429, 2004), Reciclagem (EN 13430, 2004), Recuperação Energética (EN 13431, 2004) e Compostagem (EN 13432, 2000).

A discussão que importa é a da necessidade de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento sustentável como, por exemplo, programas de rotulagem ambiental, de gerenciamento integrado do resíduo sólido, de consumo sustentável, de educação ambiental, de uso racional e otimizado dos recursos naturais, de minimização das emissões para o solo, água e ar, etc., que são ferramentas fundamentais para um país que planeja de forma holística um desenvolvimento integrado "econômico, social, ambiental e institucional", re-valorizando seus resíduos e gerando tecnologia, emprego e renda na cadeia de revalorização como, por exemplo, de reciclagem.

O GIRS voltado para a revalorização do resíduo de embalagem deve apoiar simultaneamente todas as suas iniciativas, tais como a redução, a reutilização, a reciclagem mecânica, química e energética. Não basta trabalhar apenas pontualmente em alternativas da disposição final dos resíduos das embalagens nos aterros sanitários, como é o caso da "propaganda" pelo uso dos materiais biodegradáveis, pois estes podem deixar de ser um problema de quantidade de resíduo sólido, mas sua degradação reverte em emissões para o ar (CO_2 e CH_4) e para água, também importantes para o meio ambiente, contribuindo para outros impactos ambientais como para o aquecimento global (mudanças climáticas), redução de oxigênio disponível em rios, contaminação de lençóis freáticos, etc.

Com outros materiais, como papel, aço, alumínio, vidro, etc. o conceito é o mesmo, ou seja, por que tirar continuamente recursos da natureza, e com muita energia transformá-los em produtos de consumo, para depois deixá-los degradar ou enterrá-los sem reutilizá-los ou reciclá-los?

Além disso, os materiais degradáveis podem perder propriedades de proteção ao produto acondicionado durante seu uso e mesmo que os materiais das embalagens sejam degradáveis ou biodegradáveis, ainda

podem deixar resíduos como tintas, pigmentos, aditivos, vernizes, oligômeros, cargas, nanopartículas, etc., resíduos estes de tamanho reduzido e que podem interferir no metabolismo animal e vegetal presentes no meio ambiente onde é deixado degradar. O mais importante é ter programas como o de separação e coleta seletiva para evitar que materiais com potencial de revalorização cheguem aos aterros para disposição final ou que sejam simplesmente descartados no meio ambiente.

Os resíduos orgânicos biodegradáveis, a exemplo dos restos de alimentos, deveriam ser aproveitados via compostagem, opção de gerenciamento de resíduo sólido pós-consumo, infelizmente, ainda pouco utilizada no Brasil. Mesmo biodegradável, o resíduo requer coleta e destinação adequadas, preferencialmente via reciclagem mecânica a exemplo das caixas de papelão ondulado, etc. Outro exemplo de resíduo biodegradável para o qual a biodegradação não é solução é o bagaço da cana-de-açúcar, cuja grande viabilidade econômica de aproveitamento é via recuperação energética. É importante levar em conta a viabilidade econômica dos processos de revalorização de resíduos. Não basta ser biodegradável, as formas de revalorização via reciclagem orgânica aceitas internacionalmente para resíduos orgânicos em geral, são através da compostagem[3] e biodegradação via biogaseificação ou biometanização[4], que é uma das formas de aproveitamento energético do metano (CH_4).

Outra iniciativa num processo de desenvolvimento de embalagem é a da “prevenção”, evitando substâncias que dificultam o gerenciamento integrado de resíduo sólido de embalagem, uma vez que, após a revalorização dos materiais, ainda podem restar resíduos como cinzas das tintas/pigmentos, da recuperação energética via incineração, que requerem cuidados na disposição final.

Vale ressaltar que o uso indevido de termos de rotulagem ambiental e de “*marketing* verde” iludindo o consumidor com, por exemplo, a denominação de biodegradável para alguma embalagem que ao ser analisada num processo de compostagem não seja biodegradada pelos microorganismos naturais do solo, deveria ser evitado, pois pode afetar todo um investimento de décadas em educação ambiental, além de ferir o Código de Defesa do Consumidor que assegura à este o direito à informação (além da embalagem dever ser realmente compostável, deve-se saber o real uso desta como adubo composto após o processo industrial de revalorização). Por isto, os países devem agilizar suas normalizações para definir seus requisitos de avaliação para sustentarem seus programas de rotulagem.

Uma rotulagem ambiental ilusória pode fazer perder todo o investimento em cultura e educação ambiental para o consumo sustentável e os avanços conseguidos nos últimos anos com programas como o de separação de resíduo seco e úmido nas residências brasileiras e de coleta seletiva com recuperação dos materiais, etc.

Finalmente, é importante salientar que o fato de um material plástico ser biodegradável não deve ser confundido com o fato de ser um “biopolímero”, que são polímeros fabricados a partir de fontes renováveis (milho, cana-de-açúcar etc.) e têm importância estratégica para o futuro, principalmente quando utilizam energia renovável em todo seu ciclo de vida.

Um GIRS sustentável deve ter por objetivo recuperar o valor dos materiais descartados, ocupando menos espaço e com o menor impacto possível sobre o meio ambiente.

A sustentabilidade de um sistema de GIRS deve ser efetiva:

- Ambientalmente: o princípio fundamental é a minimização da própria geração de resíduos. Todos os parâmetros ambientais devem ser reduzidos (consumo de materiais e de energia e emissões para o ar, água e solo);
- Economicamente: o custo do sistema deve ser viável e distribuído entre todos os setores da sociedade que se beneficiam (consumidores, comércio, indústria, instituições e governo);
- Socialmente: o sistema deve atender às necessidades da comunidade local e refletir seus valores e prioridades.

Nenhum tratamento individual pode dar conta de todos os materiais presentes no resíduo sólido. São necessários um sistema de coleta adequada e a aplicação de uma série de opções de tratamentos incluindo

3 Reciclagem orgânica aeróbia – padrão internacional ISO 14855 (1999); padrão britânico e europeu BS EN 14045 (2003) e 14046 (2003); padrão europeu EN 13432 (2000) seguindo a Diretiva da Comunidade Européia 94/62/EC, 1994 (OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 1994); padrão norte-americano ASTM D 6400 (2004).

4 Reciclagem orgânica anaeróbia - padrão europeu EN 13432 (2000) seguindo a Diretiva da Comunidade Européia 94/62/EC (OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 1994).

reciclagem, tratamento biológico (compostagem), incineração com recuperação de energia e aterro sanitário (que é diferente dos aterros controlados que são, até onde se diz, "lixões" cobertos por terra).

O impacto sobre o meio ambiente de todo o sistema de gestão pode ser reduzido por meio da seleção das opções mais adequadas de destinação para cada fração do resíduo sólido. Esta abordagem é conhecida como sistema de gerenciamento integrado, que considera a aplicação simultânea das seguintes opções, visando a otimização do sistema:

- Recuperação de materiais que possam ser reciclados mecanicamente;
- Tratamento biológico da fração orgânica, ou seja, compostagem;
- Incineração com recuperação de energia;
- Aterro do resíduo inerte (quando não viável de destinação aos processos de revalorização).

7.2 ACV como Ferramenta para o GIRS

No final da vida de um produto que foi extraído, processado, usado, transportado, algumas vezes reciclado, ele transforma-se em resíduo.

Numa ACV de produto, a etapa de disposição final dos resíduos sólidos pós-consumo deve expressar o consumo de energia e de recursos naturais e as emissões decorrentes do descarte desses resíduos. Como toda etapa do ciclo de vida, a disposição final deve ser modelada refletindo a situação real do produto analisado. Logo, a modelagem deve incluir dados práticos da disposição final dos resíduos da localidade ou região e considerar a composição do material descartado (se é inerte ou degradável, se é reciclável, se tem componentes tóxicos que podem ser extraídos para água, etc.).

No caso de materiais recicláveis, deve-se conhecer a taxa de reciclagem praticada e o processo de reciclagem em si. Neste caso, a logística da coleta dos resíduos sólidos urbanos pós-consumo e o processo de reciclagem passam a ser etapas adicionais do ciclo de vida do sistema de produto em estudo.

Para se modelar a disposição de resíduos urbanos deve-se conhecer a forma de coleta pela municipalidade, a distância média percorrida pelos caminhões da coleta, as formas disponíveis para disposição do resíduo sólido na localidade em estudo ou na região analisada (disposição em aterro sanitário, incineração, tratamento biológico, etc.).

No caso de resíduos destinados a aterros:

- para materiais orgânicos: devem ser calculadas as emissões para água e para o ar originárias da sua biodegradação além da massa e volume do resíduo na disposição final, pois a degradação não é imediata e muitas vezes envolve longo tempo;
- para materiais com tempo de degradação elevado: devem ser estimados a massa e o volume do resíduo na disposição final.

As formas de disposição final utilizadas pela localidade ou região devem ser conhecidas e modeladas adequadamente, pois cada uma delas tem sua relação específica com o meio ambiente, por exemplo:

- devem ser verificadas quais as condições disponíveis no aterro (se há queima de gases ou não[5], qual o sistema de tratamento de efluentes, etc.);
- no caso da incineração de resíduos, deve-se estimar quais as emissões esperadas, considerando a composição do resíduo e o sistema de lavagem de gases disponível; se há aproveitamento da energia na incineração; quais os cuidados na disposição das cinzas, etc.
- deve ser verificado se parte do material orgânico é aproveitado via compostagem e em que proporção.

Logo, fica claro que não se deve utilizar uma modelagem da disposição de resíduo sólido, por exemplo, da Suíça, que prioriza a alternativa de incineração com recuperação de energia, em estudos de ACV brasileiros onde, infelizmente, a forma predominante de disposição de resíduos ainda é em aterros, e muitas vezes, infelizmente é a céu aberto (lixões).

5 A captação de gases de aterros: sua queima reduz a emissão de metano (transformando o CH_4 em CO_2 que tem um potencial de aquecimento global - GWP de aproximadamente 23 vezes menor que o do metano) e de outros compostos orgânicos voláteis e, além disso, pode-se aproveitar o valor energético desta queima.

Num estudo de ACV do resíduo sólido são avaliadas as atividades de coleta, transporte, aterro, segregação, triagem, reciclagem, tratamento biológico e incineração com recuperação de energia, que têm impactos ambientais, bem como benefícios. A partir daí, criam-se diferentes cenários, para que, numa comparação entre eles, seja possível escolher o conjunto de atividades que produza o menor impacto ambiental possível e com o menor custo.

A ACV tem sido usada para auxiliar o GIRS fornecendo informações e orientando as decisões na busca de otimização do sistema. Dada uma quantidade de resíduo coletada (unidade funcional) e sua composição média estimada, é possível:

- conhecer o perfil ambiental do sistema de gestão em prática;
- simular situações de divisão dos fluxos para os diversos tratamentos e justificar investimentos;
- selecionar os materiais que devem ser separados e destinados à:
  - **reciclagem mecânica** para fabricação de novos produtos;
  - **reciclagem química** para recuperação de matérias-primas;
  - **reciclagem energética** para reaproveitamento de energia: geração de calor ou de energia elétrica;
- contabilizar os ganhos da aplicação da compostagem aos resíduos orgânicos: o composto orgânico pode ser aproveitado na agricultura, reduzindo o volume de resíduo a ser disposto em aterros, etc.

Logo, a ACV é uma ferramenta de:

- planejamento, pois permite avaliar uma série de cenários que podem ser investigados e comparados;
- conscientização ambiental, pois gera informações que permitem esclarecer a cadeia produtiva, bem como a sociedade quanto aos impactos potenciais dos resíduos gerados;
- geração de dados numéricos que retratam as vantagens e limitações de cada opção de tratamento de resíduo sólido.

A ACV gera dados para orientar o GIRS, listando o consumo de energia e de emissões para o ar, água e solo e prevendo a quantidade de produtos utilizáveis que podem ser gerados a partir do resíduo sólido como, por exemplo, composto orgânico, materiais secundários para reciclagem mecânica e energia utilizável (figura 7.2).

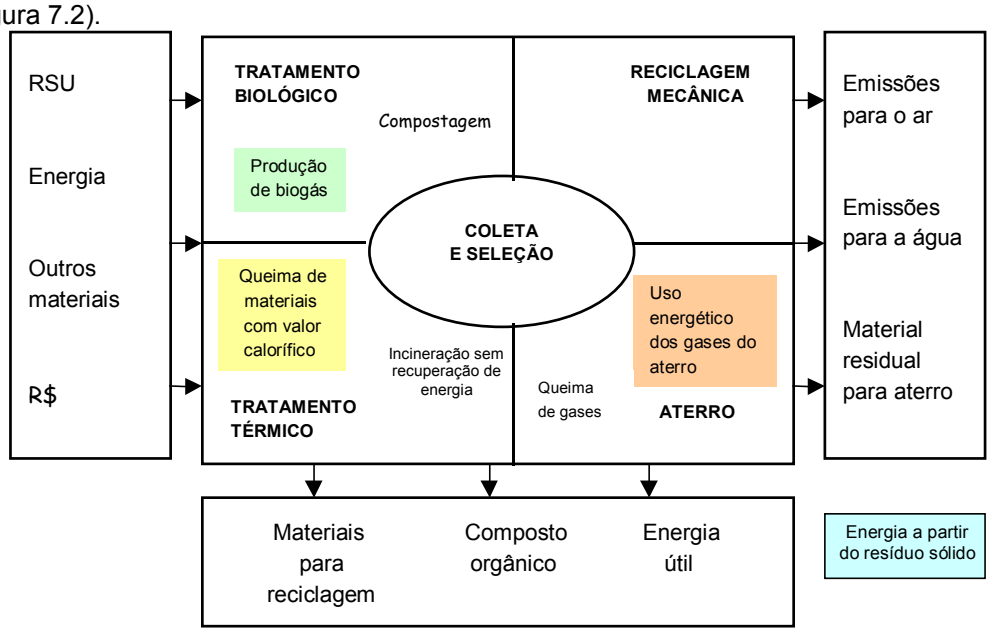


Figura 7.2 – Visão do GIRS segundo a técnica de ACV (WHITE; FRANKE; HINDLE, 1995)

7.3 Comentários e Sugestões

O desenvolvimento sustentável exige uma visão holística do nosso ambiente de vida e, portanto, não existe solução fácil, sendo necessário o desenvolvimento de políticas públicas de educação ambiental, consumo sustentável, rotulagem ambiental, gerenciamento integrado de resíduos sólidos, etc. com o objetivo de uso racional de recursos naturais e de energia e redução de emissões para o ar, água e solo.

Referências Bibliográficas

ASTM INTERNATIONAL. **D 6400-04**: especificação padrão para plásticos compostáveis. Philadelphia, 2004. 3 p.

BRITISH STANDARD - **BS EN 14045**: packaging. evaluation of the disintegration of packaging materials in practical oriented tests under defined composting conditions . United Kindon, 2003. 18 p.

_____. **BS EN 14046**: packaging. evaluation of the ultimate aerobic biodegradability and disintegration of packaging materials under controlled composting conditions. Method by analysis of released carbon dioxide. United Kindon, 2003. 26p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 13427**: packaging – requirements for the use of European Standards in the field of packaging and packaging waste. Brussels, 2004a. 13 p.

_____. **EN 13428**: packaging – requirements specific to manufacturing and composition – Prevention by source reduction. Brussels, 2004b. 43 p.

_____. **EN 13429:** Reuse. Brussels, 2004c. 33 p.

_____. **EN 13430**. packaging – requirements for packaging recoverable by material recycling. Brussels, 2004d. 35 p.

_____. **EN 13431:** packaging – requirements for packaging recoverable in the form of energy recovery, including specification of minimum inferior calorific value. Brussels, 2004e. 33 p.

_____. **EN 13432**: packaging – requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation – test scheme and evaluation criteria for the final acceptance of packaging. Brussels, 2000. 37 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION **– ISO 14851**: determinação da biodegradabilidade aeróbia definitiva de materiais plásticos em meio aquoso – método por meio de medição da demanda de oxigênio em um respirômetro fechado. Genève, 2003.

_____. **ISO 14852***:* determinação da biodegradabilidade aeróbia definitiva de materiais plásticos em meio aquoso – método por meio de análise de dióxido de carbono emitido. Genève, 1999.

_____. **ISO 14855**: determinação da biodegradabilidade aeróbia definitiva e da desintegração de materiais plásticos sob condições de compostagem controladas – método por meio de análise de dióxido de carbono emitido. Genève, 1999.

OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. European Parliament and Council Directive 94/62/EC of 20 December 1994 on packaging and packaging waste. Disponível em: <http://europa.eu.int/comm/environment/docum/01729_en.htm>. Acesso em: 07 jul. 2005.

WHITE, P. R.; FRANKE, M.; HINDLE, P. **Integrated solid waste management:** a life cycle inventory. Glasgow: Blakie Academic and Professional, 1995, 362 p.

WORLD COMMISSION ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our common future**: the brundtland report. Oxford: Oxford University Press, 1987.

8 Integração de Aspectos Ambientais no Desenvolvimento de Produto

Guilherme de Castilho Queiroz
Eloísa Elena Corrêa Garcia

8.1 ISO/TR 14062: *Ecodesign ou Design for Environment* - DfE

O DfE (*design for environment* ou *Ecodesign*) é a integração dos aspectos ambientais no desenvolvimento de produto (processo ou sistema, bens e serviços) com base em avaliação de ciclo de vida - ACV. O DfE é uma política organizacional de instituições, empresas, etc. envolvidas estrategicamente com as questões ambientais (INTERNATIONAL..., 2002).

A estratégia/metodologia de DfE proporciona um estímulo à inovação, novas oportunidades de negócio, diminuição de custos e aumento da qualidade do produto e define a base do desenvolvimento tendo em vista:

- função;
- desempenho;
- segurança e saúde;
- *marketing* do produto e
- requisitos legais e regulatórios aplicados ao produto.

As vantagens e benefícios de apresentar metas de DfE, além do objetivo de agregação de valor ao produto com benefícios para a organização em termos de competitividade, são:

- baixar custos;
- otimizar o uso de materiais e energia;
- diminuir a disposição de resíduos;
- desenvolver processos mais eficientes;
- estimular inovação e criatividade;
- identificar novos produtos;
- atingir e prever expectativas dos consumidores;
- trabalhar a imagem da empresa e/ou marca;
- aumentar a fidelidade do consumidor;
- atrair investidores com consciência ambiental;
- motivar os empregados;
- aumentar o conhecimento sobre os produtos;
- reduzir riscos e melhorar a segurança através da redução dos impactos ambientais;

- melhorar a relação com os reguladores;
- melhorar a comunicação interna e externa da organização.

As organizações/empresas apresentam diversas questões econômicas e ambientais relacionadas ao DfE, como por exemplo:

- atividades dos competidores;
- necessidades, requisitos e demandas dos consumidores;
- atividades dos fornecedores;
- relação com investidores, financeiras, seguradoras e outros tomadores de decisão;
- aspectos e impactos ambientais da organização;
- atividades dos reguladores e legisladores;
- atividades das associações de indústrias e negócios.

Outras questões base no desenvolvimento de produto integrando aspectos ambientais são:

- Funcionalidade: atingir seus propósitos em termos de tempo de vida de prateleira, utilidade, aparência, entre outros.
- Conceitos multi-objetivos/critérios: consideram todos os impactos e aspectos relevantes ambientalmente, uma vez que, uma escolha (tomada de decisão por uma alternativa de projeto) pode contribuir com determinado indicador/impacto ambiental, o qual influencia o equilíbrio de um determinado setor social específico ou não. A base no conceito de ciclo de vida possibilita soluções ótimas em função do desempenho e qualidade do produto, a exemplo dos projetos de redução de massa empregando menos recursos naturais, transporte, etc., assim como nos projetos de aumento de eficiência energética e desenvolvimento de produto com vida útil mais longa, com facilidade de desmontagem / reciclagem, etc.
- Trocas (*trade-offs*): procuram soluções ótimas, sendo em alguns casos, necessárias estratégias apropriadas por tipo de produto, pois, por exemplo, uma redução de massa pode afetar a taxa de reciclagem, um produto mais robusto pode apresentar custos não acessíveis socialmente ou um material específico pode afetar a durabilidade e segurança do produto, entre outros.

A comunicação é parte integrante da incorporação dos aspectos ambientais no desenvolvimento de produtos. A informação externa à organização contribui no aumento do valor agregado para os tomadores de decisão (consumidores, fornecedores, etc.) e na divulgação das propriedades (desempenho, aspectos ambientais, etc.), no uso e fim-de-vida dos produtos. A comunicação interna aos empregados da organização é uma divulgação da política da empresa, dos impactos ambientais relacionados ao produto, das ferramentas, programas e questões ambientais (mediante cursos e treinamentos), dos produtos e projetos de sucesso e de impactos específicos no ambiente.

Em relação à estratégia empresarial, o DfE *top-down*, ou seja, partindo da gerência, em relação ao DfE *bottom-up* (que parte, por exemplo, dos *designers* - profissionais de desenvolvimento de produtos), possibilita: ação pró-ativa em termos de antecipar impactos ambientais; apoio aos sistemas de gerenciamento (por exemplo, via análise de contribuição); procedimentos multi-disciplinares (com equipe interna capacitada para responder aos diversos setores externos à organização) e gerenciamento da cadeia de suprimentos (*supply-chain* – dos fornecedores aos atores de fim-de-vida dos produtos como os recicladores, etc.).

Os objetivos ambientais relacionados à estratégia do produto são: o menor impacto ambiental, mantendo ou aumentando a funcionalidade do produto; conservação de recursos; reciclagem; recuperação de energia e prevenção da poluição, redução de resíduos e outros impactos ao meio ambiente.

As metodologias de desenvolvimento, com metas econômicas, ambientais e sociais integram ações de:

- maior eficiência dos materiais (renováveis, recuperáveis, etc.);
- maior eficiência energética (inclusive durante o uso, fontes renováveis, etc.);
- uso de terra;
- produção e uso mais limpo (evitando produtos perigosos, etc.);

- durabilidade (longevidade, manutenção, reparo, etc.);
- funcionalidade otimizada (modular, múltiplas funções, controles otimizados, etc.);
- reuso, recuperação e reciclagem (desmontável, não complexos, recicláveis, etc.) e
- evitando substâncias perigosas (saúde, segurança, menor impacto ambiental, etc.).

O DfE permite aos tomadores de decisão acessar os indicadores ambientais em todas as etapas do desenvolvimento de produtos e processos assim como:

- integrar todo o sistema de produto (ciclo de vida);
- pesquisa e avaliação constante;
- informação e gerenciamento de dados (internos e externos);
- comunicação (intena e externa) acurada e cuidadosa;
- gerenciamento da cadeia de suprimentos, etc.

A figura 8.1 ilustra as etapas de um planejamento de DfE, ou seja, o desenvolvimento de produto com base no ciclo de vida e na busca do menor impacto ao meio ambiente.

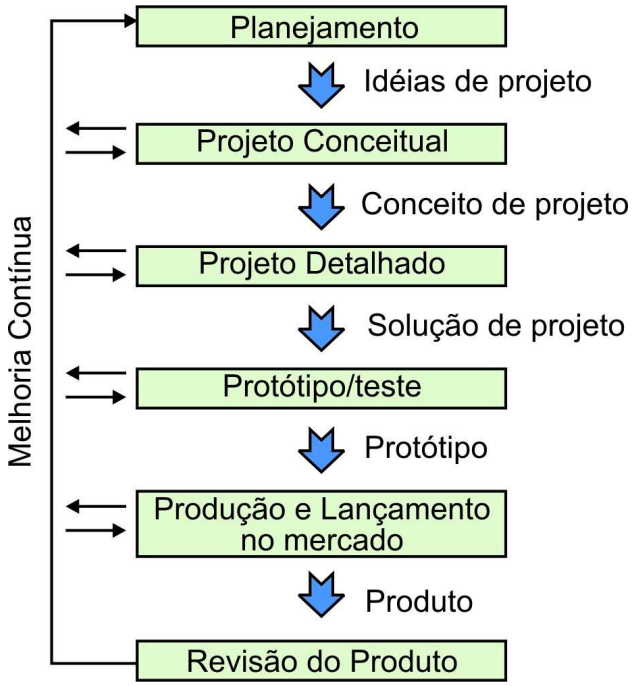


Figura 8.1 – Etapas do planejamento do DfE: desenvolvimento do produto com base no ciclo de vida e na busca do menor impacto ambiental

As etapas do planejamento do DfE, conforme ilustra a figura 8.1, envolvem:

- Planejamento: definição de uma estratégia organizacional[6] voltada às questões ambientais e agregação de valor ao produto e/ou marca com diminuição de custos e melhoria da qualidade, desempenho, funcionalidade, etc.
- Projeto conceitual: as idéias de projeto definidas na etapa de planejamento, através da construção de alternativas de projetos (cenários via metodologias científicas, com análise comparativa – *benchmarking*

6 A estratégia organizacional deve levar em conta fatores internos como: posição do produto no mercado e na própria empresa; conhecimento da capacitação do pessoal interno e disponibilidade de profissionais externos à organização; propriedade intelectual; recursos financeiros; disponibilidade de ferramentas como *softwares* de ACV; capacidade de renovar produtos, processos fornecedores, etc. A empresa também deve levar em conta fatores externos como: recursos disponíveis ou previstos (expectativa de orçamento); necessidade dos consumidores (funcionalidade, desempenho, consciência ambiental, etc.); mercado (lucro, imagem, etc.); competidores; requisitos ambientais; expectativa pública (imagem); requisitos legais; sistema do produto, etc.

da funcionalidade e impactos ambientais – e checagem de materiais, reciclagem, reuso, etc.), contribuem também para o desenvolvimento de oportunidades de negócios, criatividade e inovação.

- Projeto detalhado: o conceito de projeto gerado, seguido do envolvimento de um grupo interdisciplinar (*designers*, engenheiros, etc.) e setorial da empresa possibilita uma especificação baseada no ciclo de vida do produto com modelagem incluindo o "externo" à empresa - fornecedores, recicladores, etc.
- Protótipo: a solução de projeto identificada, após testes, possibilita a checagem das especificações via *softwares*, etc. (materiais, desmontagem, eficiência, lista de substâncias, etc.), inclusive das metas ambientais, através de uma revisão da avaliação de ciclo de vida, etc. visando melhorar: o desenvolvimento, o processo produtivo, a substituição de fornecedores, a informação, o *marketing*, etc. em função da funcionalidade, qualidade, tempo de vida útil, resistência e desempenho – reuso, reciclagem, etc.
- Produção e lançamento no mercado: o protótipo testado é, então, encaminhado para a etapa de apresentação e comunicação tanto interna quanto externa à empresa com rotulagem ambiental, benefícios ao consumidor, etc.
- Revisão do produto: o produto final é avaliado tanto pela própria organização quanto pelos consumidores, etc. (legisladores, cadeia de suprimentos, etc.), avaliando-se a experiência, revendo-se as expectativas da organização e dos consumidores e os indicadores ambientais dentro do processo de melhoria contínua da empresa para novos produtos, processos, etc. (metas ambientais, especificações e análise comparativa com produtos referência) das normas ISO 14000 de qualidade ambiental.

Referências Bibliográficas

GARCIA, E. E. C. Desenvolvimento de embalagem e meio ambiente. In: **BRASIL pack trends 2005**: embalagem, distribuição e consumo. Campinas: CETEA/ITAL, 2000. p. 81-99.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/TR 14062**: environmental management: integrating environmental aspects into product design and development. Geneve, 2002. 24p.