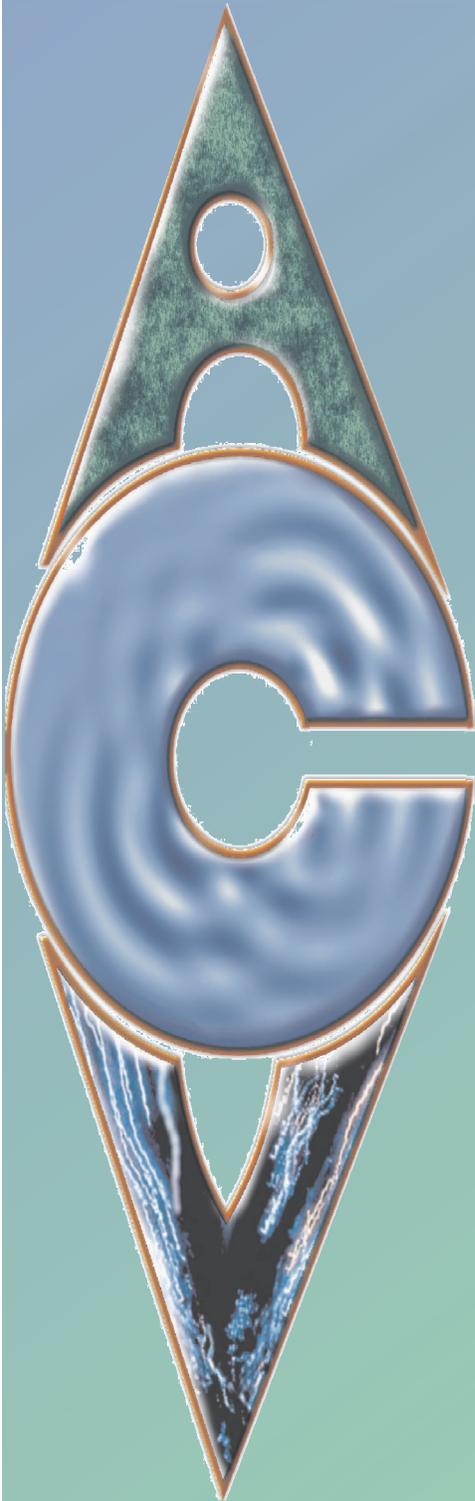


# AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Princípios e  
Aplicações



CENTRO DE TECNOLOGIA  
DE EMBALAGEM



COMPROMISSO EMPRESARIAL  
PARA RECICLAGEM

# AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

## Princípios e Aplicações

2002



### **Coordenação Geral**

Anna Lúcia Mourad, Eloísa Elena Corrêa Garcia e André Vilhena

**Relatora técnica:** Eloísa Elena Corrêa Garcia

### **Elaboração dos textos**

#### **Equipe do CETEA**

Anna Lúcia Mourad  
Leda Coltro  
Eloísa Elena Corrêa Garcia  
Sandra Balan M. Jaime  
Jozeti Barbutti Gatti

#### **Convidada especial**

Lissandra Regina Goergen, da T-Systems

#### **Ilustrações**

Maurício Morini

#### **Revisão Bibliográfica**

Marta Cuêrvo

#### **Editoração**

Patricia Citrângulo

#### **Revisão de Vernáculo**

Cristina Helena R.C. Gonçalves

Ficha catalográfica elaborada pela Área de Documentação e Informação - ADI do CETEA

AVALIAÇÃO do ciclo de vida: princípios e aplicações / Anna Lúcia Mourad; Eloísa E. C. Garcia; André Vilhena. Campinas: CETEA/CEMPRE, 2002.

93p.: il.; 28cm

Bibliografia  
ISBN-85-7029049-7

1. Ciclo de vida. 2. Gestão Ambiental. 3. Meio Ambiente. 4. Rotulagem Ambiental 5. Normatização. I. Título.

### **Agradecimento**

À FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa Agropecuária do Estado de São Paulo pelo treinamento da equipe do CETEA na metodologia de ACV através do financiamento do Projeto "Análise de Ciclo de Vida de Embalagens para o Mercado Brasileiro", por meio do Programa de Inovação tecnológica em Parceria.

**CENTRO DE TECNOLOGIA DE EMBALAGEM - CETEA**

Diretor Assis Euzébio Garcia

**Instituto de Tecnologia de Alimentos**

**Centro de Tecnologia de Embalagem**

Av. Brasil, 2880 Jd. Brasil

CEP 13073-001 Campinas - SP

PABX: (19) 3743-1900

FAX: (19) 3241-8445

[www.cetea.ital.org.br](http://www.cetea.ital.org.br)

**COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM - CEMPRE**

**Presidente**

Fernando von Zuben

**Diretor Executivo**

André Vilhena

**Conselho Editorial**

Ailton Storolli

Fernando von Zuben

Josemar Picanço

Juliana Sansano

Rosely Baroni

**Associados do CEMPRE**

- Alcoa Alumínio S.A.
- Cia. de Bebidas das Américas - AmBev
- Cia. Siderúrgica Nacional - CSN
- Cia. Suzano Bahia Sul
- Coca Cola Indústrias Ltda
- DaimlerChrysler do Brasil Ltda.
- Kraft Foods Brasil S.A.
- Klabin S.A.
- Natura Inovação e Tecnologia de Produtos Ltda.
- Nestlé Brasil Ltda.
- Paraibuna Embalagens S.A.
- Pepsico do Brasil Ltda.
- Procter & Gamble do Brasil e Cia.
- Souza Cruz S.A.
- Tetra Pak Ltda.
- Unilever Brasil Ltda.
- Vega Engenharia Ambiental S.A.

**Compromisso Empresarial Para Reciclagem - CEMPRE**

Rua Bento de Andrade, 126 Jd. Paulista

CEP: 04503-000 - São Paulo - SP

PABX: (11) 3889 7806

FAX: (11) 3889 8721

[www.cempre.org.br](http://www.cempre.org.br)

**Introdução**

Anna Lúcia Mourad

**Capítulo 1 - Algumas Diretrizes Ambientais**

Anna Lúcia Mourad

**Capítulo 2 - O que é Avaliação do Ciclo de Vida?**

Anna Lúcia Mourad

**Capítulo 3 - Origem da ACV e Normatização**

Eloísa Elena Corrêa Garcia

**Capítulo 4 - As 4 Fases da ACV**

Jozeti Barbutti Gatti

**Capítulo 5 - A Importância da ACV**

Leda Coltro

**Capítulo 6 - O Papel da ACV na Comunicação**

Leda Coltro

**Capítulo 7 - Limitações da ACV**

Sandra Balan M. Jaime

**Capítulo 8 - A ACV e o Setor de Celulose e Papel**

Anna Lúcia Mourad

**Capítulo 9 - Transporte: Modalidades e Distâncias**

Leda Coltro e

Lissandra Regina Goergen

**Capítulo 10 - A ACV na Indústria Automobilística**

Lissandra Regina Goergen

**Capítulo 11 - A ACV nas Relações Comerciais**

Sandra Balan M. Jaime

**Capítulo 12 - A ACV e as Embalagens**

Eloísa Elena Corrêa Garcia

**Capítulo 13 - Gerenciamento do Resíduo Sólido Urbano**

Eloísa Elena Corrêa Garcia

## PREFÁCIO

Caro leitor,

*Com a certeza de que ainda há muito a fazer na busca da melhoria da qualidade de vida neste País, e que serão necessárias muitas mãos para que se possa mudar o curso desta nossa história, é que nos dispusemos a escrever este livro.*

*Esta publicação foi concebida para traduzir os conceitos fundamentais da Avaliação do Ciclo de Vida - ACV e tornar esta poderosa técnica mais acessível a todos aqueles que de alguma forma são responsáveis por atividades relacionadas à gestão ambiental.*

*Simplicidade e clareza foram nossas metas na confecção dos textos, para que os conceitos necessários ao entendimento da Avaliação do Ciclo de Vida fossem identificados e facilmente correlacionados com situações diárias e temas de conhecimento geral.*

*Este livro não tem a intenção de subsidiar tecnicamente aqueles que intencionam aplicar a técnica em algum projeto específico, mas sim de ilustrar os conceitos, aplicações e restrições dos estudos de ACV.*

*A parceria CETEA - Centro de Tecnologia de Embalagem e CEMPRE - Compromisso Empresarial para a Reciclagem surgiu da percepção da necessidade de disseminação da técnica "Avaliação do Ciclo de Vida" como instrumento de melhoria, dentro da linha de responsabilidade ambiental compartilhada.*



## INTRODUÇÃO

# POR QUE UM LIVRO SOBRE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA?

A questão ambiental ultrapassa os limites do cotidiano da maioria das pessoas. Conhecer as inter-relações entre o nosso estilo de vida, nossas ações e o meio ambiente é responsabilidade de todos nós. Entender o significado do ciclo de vida dos produtos e serviços que usufruímos nos permite ampliar a compreensão de nossa responsabilidade e atuar de forma mais efetiva para a melhoria do meio em que vivemos.

## DA LENDA DA FARTURA INFINITA À COMPREENSÃO DO HOMEM

### A LENDA DA FARTURA INFINITA

Historicamente, ou desde a existência do homem na Terra, este ser de inteligência criativa tudo tem feito para melhorar sua estadia no planeta.

Para se proteger do sol e das chuvas, depois das cavernas, construiu abrigo. Descobriu o fogo, alimentou-se da caça e da pesca, inventou novas ferramentas, iluminou sua casa, inventou a roda, canalizou a água, teceu suas roupas e, criativo, inventou, inovou, curou doenças, modernizou, ampliou e continua criando!

Criou, inventou, inovou e para suas infinitas obras, usou o que gratuitamente se ofertava por toda parte: a terra, as águas, os minérios, o petróleo, as árvores, os animais, etc.

E agora, depois da televisão, do computador, da fibra ótica, da *Internet*, dos satélites e de sua fantástica obra, deu-se conta de que sua infinita natureza não era propriamente infinita, mas desgastava-se, diminuía e poderia desaparecer...

Mas, dotado de inteligência única, o homem também compreendeu...

### A COMPREENSÃO DO HOMEM

Compreendeu que a roupa que ele vestia, a sua camisa de algodão tinha uma história que poucas vezes ele mesmo se apercebia: lembrou do sol e da chuva que molharam a terra onde o algodão foi cultivado, algodão que quando maduro foi transportado às fábricas, foi estirado por muitas vezes em grandes máquinas para se transformar em fio, bobina e tecido.

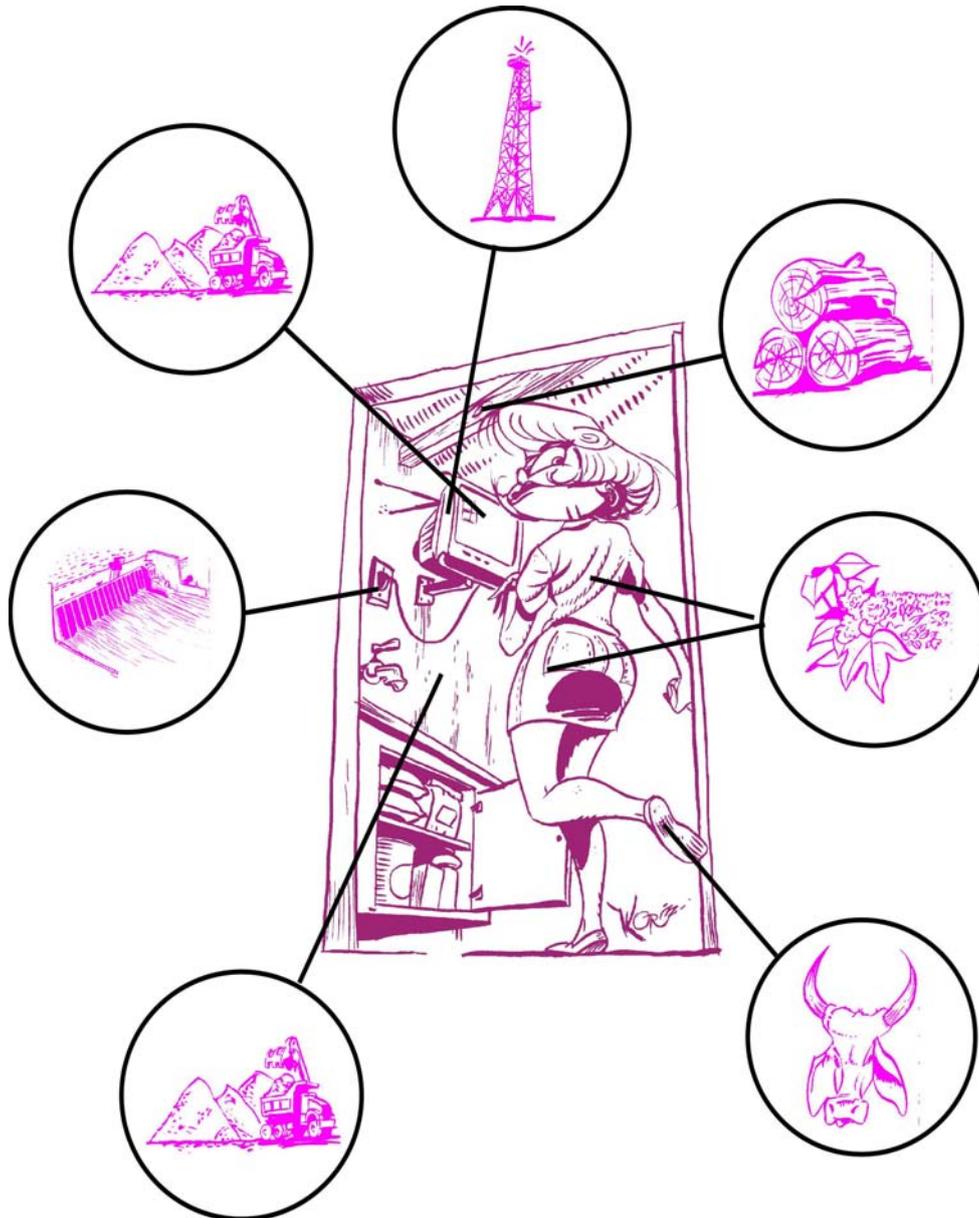
Mergulhado em tintas recebeu cores, foi cortado, costurado, etiquetado e vendido numa loja do *shopping*. O homem havia comprado aquela bela camisa para uma reunião importante...

Sim, o homem compreendeu que todas as coisas que usufruía e/ou possuía tinham história e um custo para a natureza...

## AS MUITAS HISTÓRIAS...

O homem notou que sua casa era feita de tijolos, cimento, areia, ferro, madeira, as janelas de alumínio e a pia de mármore. E cada pedaço dela trazia uma história: os tijolos eram feitos de argila, o cimento de vários minérios, a madeira vinha das árvores, o alumínio e o

mármore também vinham de minérios. E para se tornarem tijolos, cimento, portas e janelas, os recursos naturais foram transformados e transportados pelos elos da cadeia de abastecimento.



O homem lembrou-se que o gás que ele usava todos os dias no fogão para preparar sua comida era proveniente do petróleo.

Que a energia elétrica que iluminava sua casa, aquecia o seu banho, conectava-o à *Internet* e recarregava o seu celular era gerada por uma rede complexa de hidrelétricas e termelétricas.

## E O QUE DEIXARÁ PARA SEUS FILHOS?

Lembrou-se que já não podia beber a água que chegava à sua torneira, pois seu filho pequeno era muito sensível. Preferia beber a água mineral captada em regiões que ainda não tinham sido muito contaminadas...

E estremeceu ao pensar no que restaria para seus filhos e descendentes...

E o homem compreendeu que ele, um honesto trabalhador, querido pela família e amigos, também contribuía para alterar a vida do planeta em que vivia...

## A RESPONSABILIDADE

O homem percebeu que não podia ser o centro do universo...

Deu-se conta que ele não era o único ser deste universo e que esta natureza era também compartilhada por outros quase 6 bilhões de habitantes da Terra.

Que além dos humanos outros seres coabitavam o planeta como os animais e todo o reino vegetal. Percebeu que suas ações quase nunca consideravam o bem-estar e a preservação destes outros seres.

Que ele não podia pensar somente em desenvolver-se mais, produzir mais e criar mais. Percebeu que precisava conhecer mais de perto a história das coisas. Precisava entender melhor a história da sua camisa, dos tijolos, das suas portas, da sua televisão, da água, da luz, do **ciclo de vida de suas obras...**e de sua forma de viver...

E responsável, dotado de inteligência única, tem a obrigação e está empenhado hoje em harmonizar a existência de suas muitas obras com as obras divinas deste planeta: o ar, a água, a terra, os animais e o homem.



# CAPÍTULO 1

## ALGUMAS DIRETRIZES AMBIENTAIS

### VISÃO ECODESENVOLVIMENTISTA

No passado a visão essencialmente ecológica e preservacionista suscitou debates calorosos contra a derrubada de árvores, a extinção de espécies animais, a poluição causada por muitas indústrias, etc. Esta visão apontava para o esgotamento dos recursos naturais e a incapacidade do progresso técnico-científico de superar esses limites. Em função disso, defendia o crescimento zero.

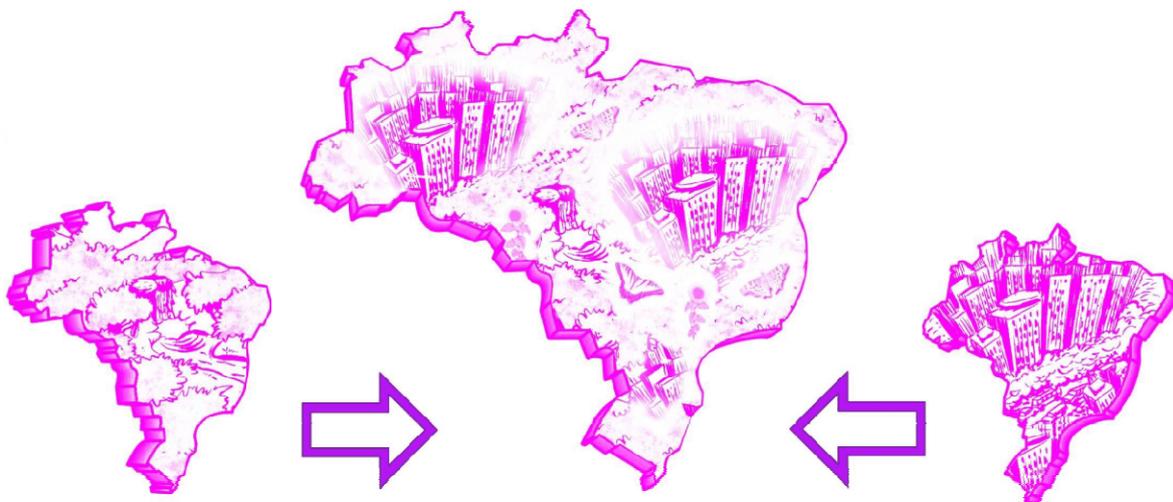
No outro extremo situava-se a visão puramente tecnicista voltada para o crescimento da economia, o desenvolvimento de novas alternativas tecnológicas e o aumento da produção e da oferta de bens.

Atualmente, uma das posições ambientais mais aceitas mundialmente é a visão ecodesenvolvimentista. Esta posição é caracterizada por ser conciliadora entre a abordagem tecnicista e a essencialmente ecológica e preservacionista. Nesta visão, a existência do ser

humano como ser participante da natureza é permitida e o uso da natureza está ligado também à sobrevivência da espécie humana.

Esta nova maneira de buscar soluções para os problemas globais, que não se reduzem apenas à degradação do ambiente físico e biológico, tem sido chamada de "desenvolvimento sustentável"; no qual também são incorporadas dimensões sociais, políticas e culturais, como a pobreza e a exclusão social.

A Figura 1 mostra estas visões simbolicamente. Na visão ecológica, onde há preservação de todas as riquezas naturais, não há espaço para as indústrias ou para o desenvolvimento tecnológico. No outro extremo, na visão tecnicista, o avanço tecnológico e a produção de bens são feitos sem a consideração do esgotamento dos recursos naturais. A visão ecodesenvolvimentista é intermediária entre estas duas, conciliando os avanços da tecnologia com o gerenciamento sustentável dos bens naturais.



**Figura 1.** O Brasil visto simbolicamente pelas 3 visões: ecológica, ecodesenvolvimentista e tecnicista.

## O CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE NO MUNDO

A percepção de que os problemas ambientais eram de ordem planetária e não apenas local ou nacional levou o governo da Suécia a realizar, em 1972, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano, em Estocolmo.

Nesta Conferência, as diferenças de interesses entre os países desenvolvidos e não desenvolvidos foram evidenciadas. Os primeiros, preocupados com a poluição industrial, a escassez de recursos energéticos, a decadência de suas cidades e outros problemas decorrentes dos seus processos de desenvolvimento; os segundos, com a pobreza e o questionamento da validade de se desenvolverem nos mesmos moldes que os primeiros.

*A maior poluição é a pobreza, foi a mensagem de Indira Gandhi, primeira ministra da Índia, no plenário da conferência de Estocolmo.*

Apesar das divergências e da complexidade das questões em debate, a Conferência de Estocolmo representou um avanço nas negociações entre países e um marco fundamental na percepção das inúmeras facetas da relação desenvolvimento e meio ambiente.

O conceito de sustentabilidade é muito amplo e tem sido entendido sob diversas óticas por diferentes pesquisadores. Uma das definições mais amplas é a de SACHS, segundo o qual o conceito de sustentabilidade não pode limitar-se à visão tradicional de estoques e fluxos de recursos naturais e de capitais. É necessário considerar simultaneamente as seguintes dimensões (SACHS, 1993):

- a) **sustentabilidade social**, com o objetivo de melhorar substancialmente os direitos e as condições de vida das populações e reduzir distâncias entre os padrões de vida dos grupos sociais;
- b) **sustentabilidade econômica**, viabilizada por uma alocação e gestão eficiente dos recursos, avaliada muito mais sobre

critérios macrosociais do que micro-empresariais e por fluxos regulares de investimentos públicos e privados;

- c) **sustentabilidade ecológica**, envolvendo medidas para reduzir o consumo de recursos e a produção de resíduos, para intensificar as pesquisas e a introdução de tecnologias limpas e poupadoras de recursos e para definir regras que permitam uma adequada proteção ambiental;
- d) **sustentabilidade espacial**, contemplando uma configuração mais equilibrada da questão rural/urbana e uma melhor distribuição do território, envolvendo, entre outras preocupações, ocupação excessiva das áreas metropolitanas; e
- e) **sustentabilidade cultural**, buscando concepções endógenas<sup>1</sup> de desenvolvimento que respeitem as peculiaridades de cada ecossistema, de cada cultura e cada local.

Estes princípios estão presentes na Agenda 21, um dos principais documentos a respeito das diretrizes ambientais que vêm sendo trabalhadas mundialmente.

---

<sup>1</sup> **Endógenas** - originárias dentro de cada cultura, decorrentes de necessidade próprias.

## RESPONSABILIDADE AMBIENTAL

O reconhecimento de todas as formas de vida que coabitam a Terra, bem como do direito a esta existência são passos fundamentais para a compreensão da sustentabilidade.

Sustentabilidade das gerações atual e futura, considerando seus direitos à água, à terra, ao alimento, ao lazer e à preservação das espécies.

Estes conceitos são claramente entendidos, por exemplo, na compatibilização do uso das águas de um rio para diferentes finalidades: abastecimento de indústrias, consumo humano, irrigação agrícola, lazer, dentre outros, bem como a preservação da flora e fauna do próprio rio.

As indústrias, a população, os agricultores utilizam a água para diferentes propósitos e a devolvem ao rio com qualidade diferente. A fauna e a flora aquáticas sofrem com as alterações do ecossistema.

Todos estes "atores" têm seus direitos...

Portanto, o **reconhecimento das partes e do seu direito à existência** é o primeiro passo para a operacionalização da sustentabilidade.

Diferentes "atores" têm direito ao uso destas águas e a manutenção deste recurso em condições adequadas só se faz com a **responsabilidade compartilhada** entre os usuários.

Este princípio também está presente na legislação brasileira de Direito Ambiental, representada principalmente **pela Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, conhecida por Lei de Crimes Ambientais**, que responsabiliza qualquer pessoa, física ou jurídica por ações danosas ao meio ambiente. Ela advém do princípio da responsabilização de cada um dos "atores" por suas ações.

Dentro dos princípios de direito ao meio ambiente e responsabilidades dos diversos "atores" insere-se a **responsabilidade ambiental**, estendida a toda a cadeia produtiva.

Dentro desta perspectiva, a Avaliação do Ciclo de Vida - ACV é capaz de avaliar o saldo ambiental de produtos e serviços de cada um dos "atores" envolvidos nesse ciclo, auxiliando assim no processo de **Gestão Ambiental Compartilhada**.



## A IMPORTÂNCIA DOS CICLOS ECOLÓGICOS

Uma importante forma para evitar o uso excessivo de recursos e buscar um desenvolvimento sustentável é transformar os fluxos de material atuais (unidirecionais), para ciclos ecológicos, reduzindo o consumo de matérias-primas e energia, procurando fechar os ciclos em âmbito planetário. Características importantes de um ciclo industrial ecológico são:

- utilização de recursos renováveis coerente com a capacidade de regeneração da natureza e dos ecossistemas;
- minimização do consumo de recursos não-renováveis;
- projeto de produtos e serviços com o menor impacto possível sobre o meio ambiente;
- produtos projetados para serem reciclados ou reutilizados;
- reutilização e reciclagem aplicadas de forma a obter-se maior eficiência desses processos;
- disposição segura a longo prazo dos resíduos industriais que definitivamente não podem retornar ao ecociclo.

## GERENCIAMENTO SUSTENTÁVEL E A ACV

Compreender de onde vieram as matérias-primas utilizadas, para onde irão os produtos fabricados, os subprodutos e os resíduos de processo, bem como os efeitos das emissões geradas para o meio ambiente, ou seja, **entender o Ciclo de Vida do bem produzido e consumido é um passo de fundamental importância para um gerenciamento sustentável...**

## CAPÍTULO 2

# O QUE É AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA?

## O CONCEITO DE CICLO DE VIDA

O conhecimento do ciclo de vida de um produto é o primeiro passo na busca do desenvolvimento sustentável. Idealmente, o ciclo de vida inicia-se quando os recursos para sua fabricação são removidos de sua origem, a natureza - *o berço*, e finaliza-se quando o material retorna para a terra, *o túmulo*.

Se a preocupação é com o meio ambiente, tem-se que resgatar a história das coisas a partir da natureza, em termos do que é consumido e do que e como é devolvido a ela.

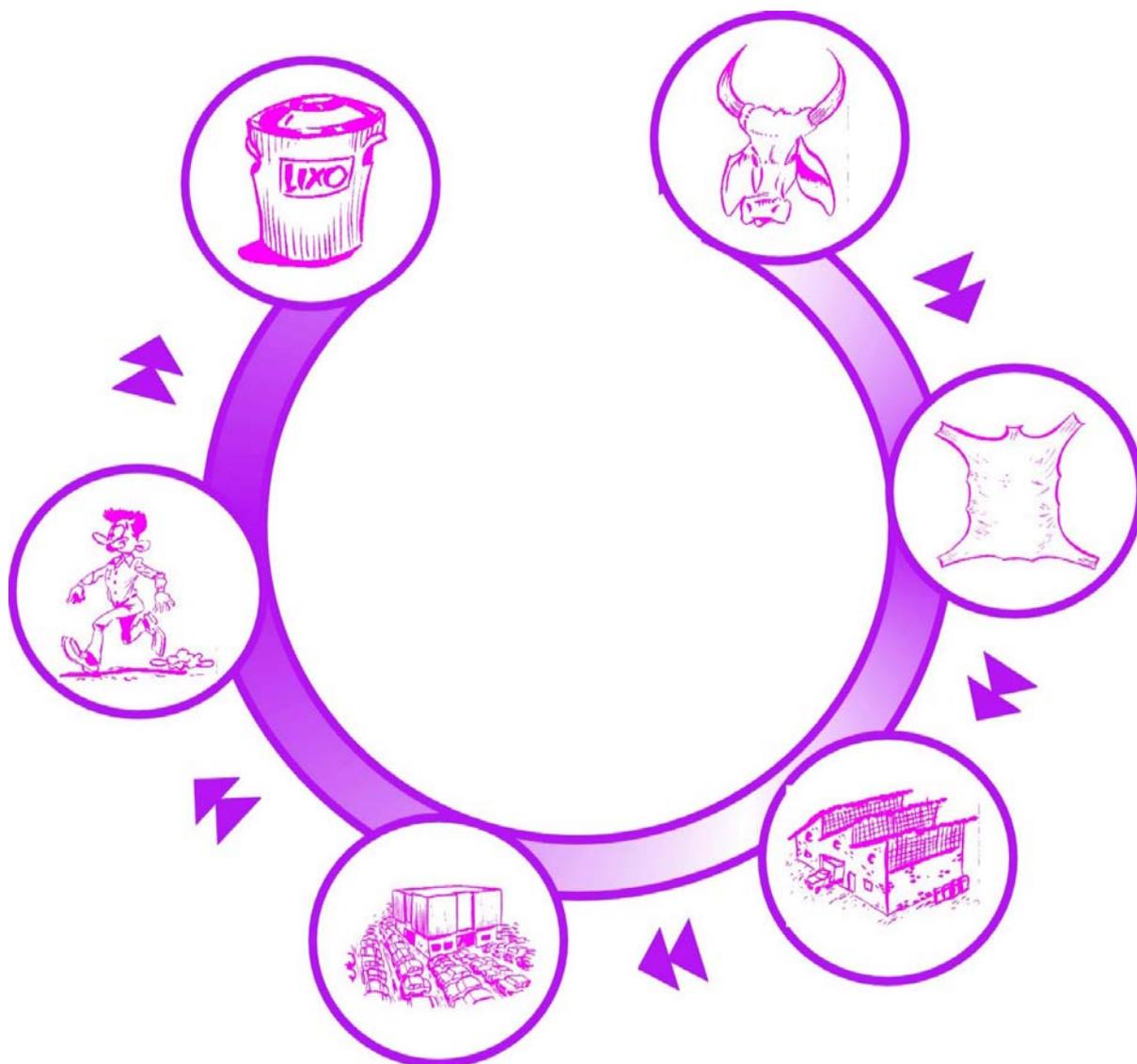
Uma televisão, por exemplo, é composta de muitas histórias. Suas peças plásticas originaram-se do petróleo, que foi extraído e refinado. Seu derivado foi polimerizado, aditivado, moldado para então transformar-se, por exemplo, na carcaça da televisão. O tubo de imagem, que é de vidro, veio da areia, que foi extraída, fundida, purificada, aditivada, moldada, soprada até a obtenção do tubo de imagem. As placas eletrônicas contêm metais, que vieram de minérios que foram extraídos da rocha mãe, purificados, transformados em lingotes, e utilizados na produção dos circuitos.

Todos estes processos ocorrem normalmente em fábricas diferentes e por isso, os produtos intermediários também foram muitas vezes transportados. Os caminhões usam combustível, que também origina-se do petróleo.

Depois da confecção da televisão, ela é embalada, vendida em lojas, utilizada. Para sua utilização, é necessária energia elétrica, gerada em hidrelétricas ou termelétricas e depois distribuída. E, após anos de uso, ela é descartada. E nem sempre é reintegrada a algum processo produtivo... Além disso, em cada elo deste ciclo ocorre geração de resíduos, há necessidade de emissões de gases, geram-se subprodutos e água é utilizada. Todos estes processos e suas interfaces com o meio ambiente também estão associados à televisão.

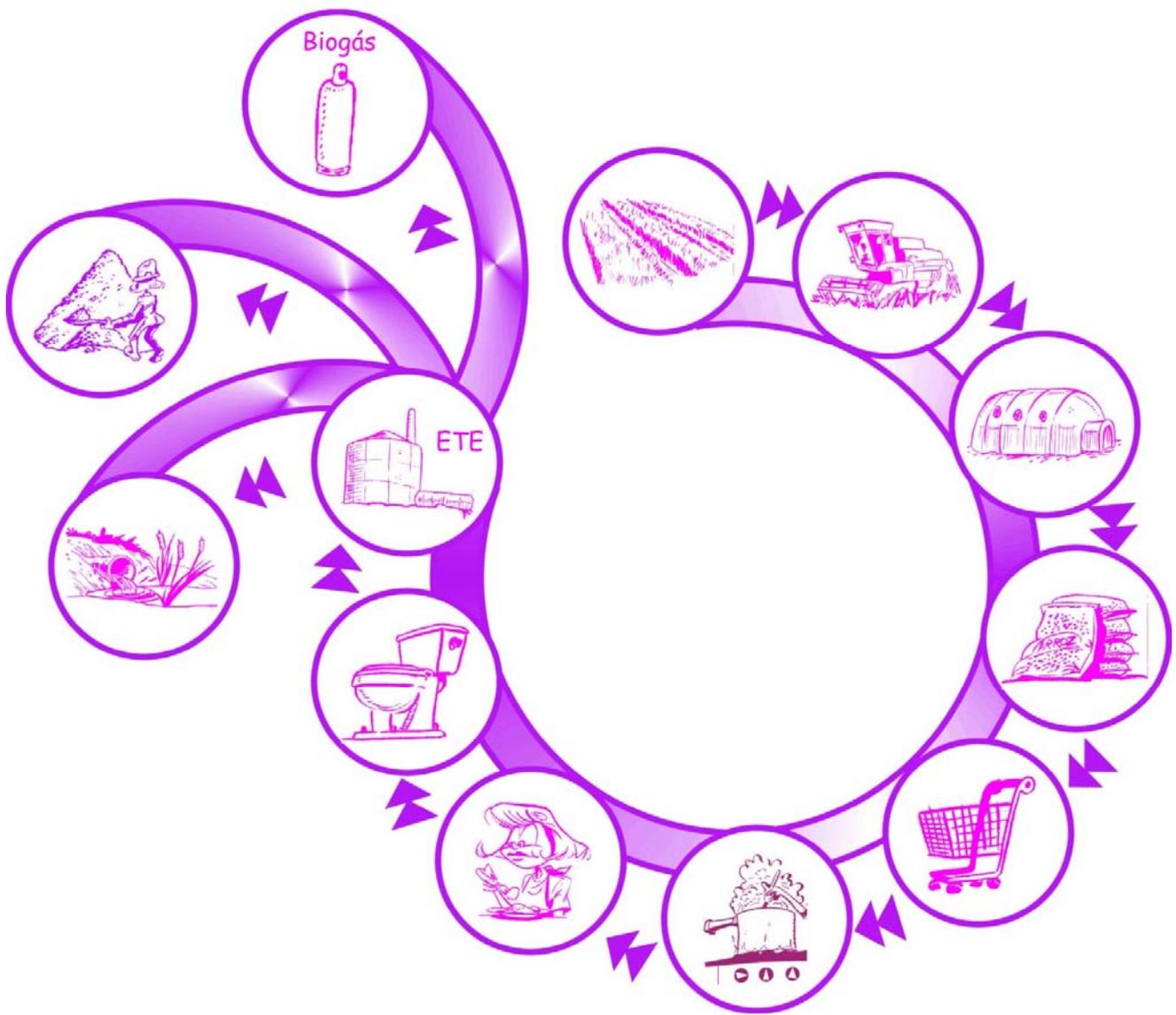
Estas muitas histórias compreendem o ciclo de vida da televisão.





**Figura 3.** Principais etapas do ciclo de vida do sapato de couro.

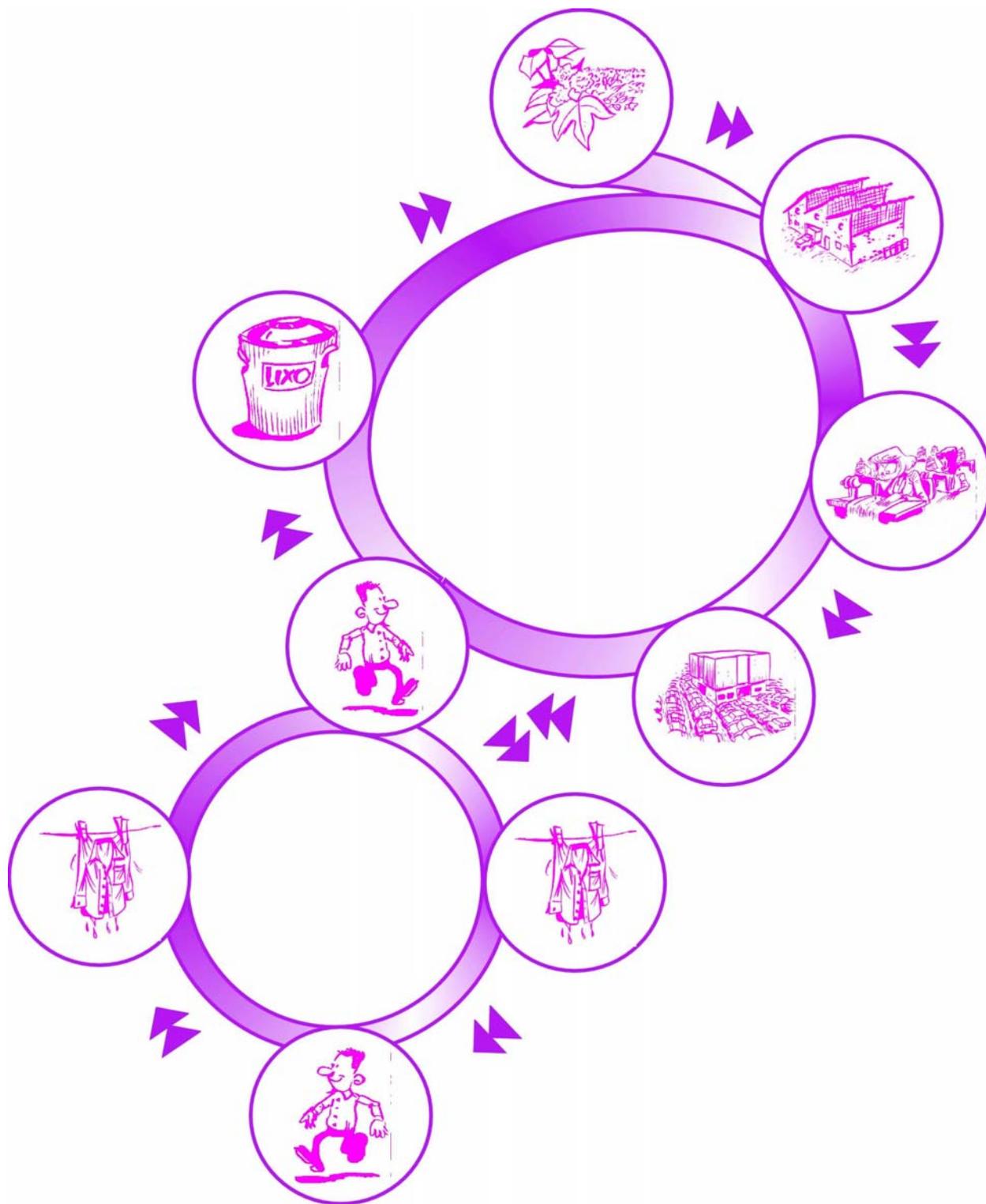
A pele do boi tratada no curtume é utilizada para confecção de sapato. O sapato produzido é comercializado e, após intensivo uso, o sapato é descartado.



**Figura 4.** Principais etapas do Ciclo de vida do arroz.

O arroz plantado nas propriedades agrícolas é colhido, seco, armazenado e comercializado. Após o seu cozimento, serve como alimento humano. Os resíduos alimentares não aproveitados pelo organismo humano são excretados. Após a ETE - Estação de Tratamento de Esgoto, o efluente é normalmente devolvido ao rio.

Na Figura 4, foram incluídas as etapas de produção de biogás e de compostagem que, embora ainda não representem o atual cenário médio brasileiro, constituem-se em importantes processos para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.



**Figura 5.** Principais etapas do Ciclo de vida da camisa de algodão.

O algodão cultivado é transformado em fio, bobina e tecido. Recebe cores e estampas. É cortado, costurado, etiquetado e comercializado. Durante o longo uso da camisa pelo homem, ele é lavado e passado várias vezes. Após seu desgaste é, na maioria das vezes, descartado.

## AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA COMO INSTRUMENTO

A avaliação do ciclo de vida de um produto é um instrumento que permite:

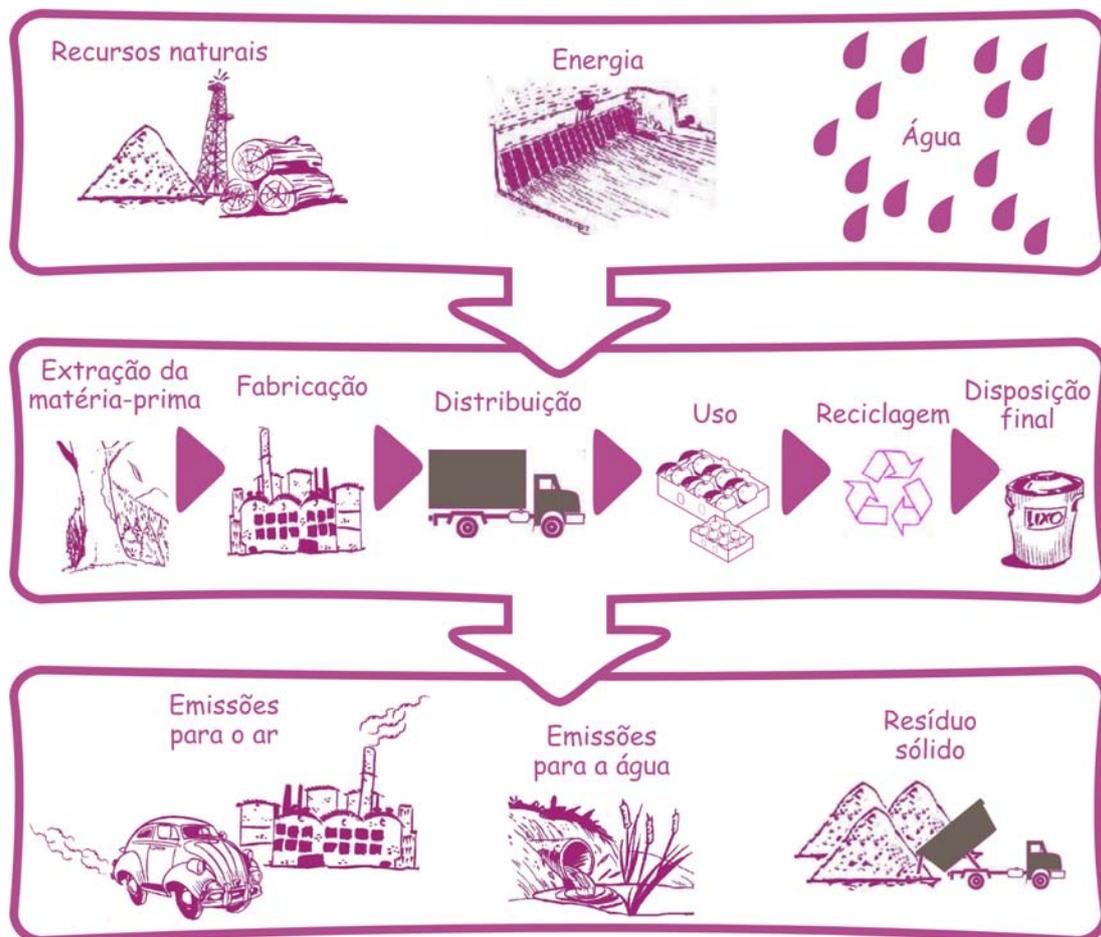
- uma contabilização ambiental, onde consideram-se as retiradas de recursos naturais e energia da natureza e as "devoluções" para a mesma;
- avaliação dos impactos ambientais potenciais relativos às entradas e saídas do sistema.

A contabilidade inicia-se na natureza em termos do uso de recursos naturais como água, minérios, florestas, petróleo e atmosfera e considera todas as transformações intermediárias necessárias para a obtenção do

produto estudado como processamentos, distribuição e transporte, reciclagem e disposição final.

A contabilidade também é finalizada na natureza, novamente expressa em termos de resíduos gerados, subprodutos e emissões para a água, terra e ar.

As emissões do sistema são avaliadas quanto aos impactos potenciais em relação ao uso de recursos naturais, saúde humana e conseqüências ecológicas (como efeito estufa, uso de recursos renováveis ou não, acidificação, etc.).



**Figura 6.** Representação esquemática da ACV: consumo de recursos naturais e energia nas diversas etapas do ciclo de vida de um produto e as emissões associadas a todas estas etapas.

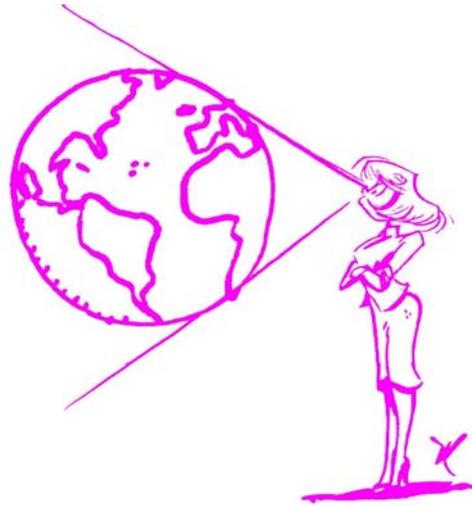
## ABORDAGEM HOLÍSTICA

A ACV tem uma abordagem holística<sup>1</sup> sobre o "custo ambiental" de determinado produto ou serviço. Constitui-se numa macrovisão onde as inter-relações entre diversos sistemas e destes com o meio ambiente são consideradas.

Quando se avalia um produto, considera-se toda a cadeia de processos que o originou, as emissões e os impactos potenciais associados ao seu ciclo de vida. A visão é ampla e não se restringe à avaliação de conceitos e parâmetros simplificados como "reciclável" ou "retornável". Todas as interações ambientais são consideradas.

Na realização de um estudo de ACV, por exemplo, de um fruto acondicionado em uma caixa de papelão, considera-se desde o momento onde as árvores são plantadas, o uso e a produtividade da terra, o deslocamento das árvores, o cozimento da madeira para a separação das fibras, a formação do papel, da estrutura ondulada e da caixa de papelão ondulado. Do lado do fruto, consideram-se por exemplo, o plantio, os adubos e fertilizantes, o uso da terra, a colheita e pós-colheita do fruto, o acondicionamento do fruto na caixa de papelão, o transporte e a distribuição dos frutos até os centros de comercialização e o descarte das embalagens. Por fim, há a disposição final da embalagem em aterros e/ou reciclagem do papelão usado. Em todas estas etapas há consumo de recursos e emissões que contribuem para diferentes categorias de impacto ambiental.

Deve-se fazer distinção entre a "**visão de ciclo de vida ou macrovisão**", necessária para gerenciar grande número de aspectos relacionados a um sistema, da **Avaliação do Ciclo de Vida** que é uma técnica normatizada pela norma NBR ISO 14040, a qual contabiliza recursos utilizados e emissões geradas e avalia os impactos ambientais potenciais.



Embora de caráter amplo, pois a ACV identifica e quantifica o uso e a transformação de recursos naturais e os impactos potenciais decorrentes destas atividades, ela pode não ser a técnica de gestão ambiental mais apropriada em todas as situações como, por exemplo, para avaliação de risco ou de aspectos econômicos ou sociais.

Por esta razão, embora a técnica reporte-se a todo o ciclo de vida de um produto, ela deve ser integrada a outros instrumentos para um adequado gerenciamento ambiental.

---

<sup>1</sup> **Abordagem holística** - do grego, *holos* = todo. Abordagem ampla, que considera todas as partes de um sistema bem como a inter-relação entre elas.



## CAPÍTULO 3

### ORIGEM DA ACV E NORMATIZAÇÃO

Nos **anos 60**, com a crise do petróleo e com o expressivo aumento da população mundial, a sociedade começou a questionar o limite da extração de recursos naturais, especialmente de combustíveis fósseis e de recursos minerais escassos, bem como o impacto da poluição gerada.

Inicialmente voltados para o uso de energia surgiram os primeiros estudos conhecidos como "análise de energia" (*energy analysis*). Como os cálculos requeriam a construção de um fluxograma de processo com balanço de massa e de energia, dados sobre consumo de matérias-primas e de combustíveis e o resíduo sólido gerado eram contabilizados automaticamente. Por esse motivo, alguns analistas se referiam ao estudo como "análise de recursos" (*resource analysis*) ou "análise de perfil ambiental" (*environmental profile analysis*).

Um dos primeiros trabalhos desse tipo, aplicado à indústria química, foi apresentado na Conferência Mundial de Energia, em 1969. Nos **anos 70**, muitos outros estudos foram realizados, enfocando diferentes sistemas produtivos, popularizando esta nova metodologia de análise.

Apesar do interesse inicial desses estudos ter sido a contabilização energética, em várias regiões do mundo havia problemas localizados de poluição devido à ação do homem, a exemplo de lixo e fumaça fotoquímica em grandes cidades, rios contaminados, chuva ácida na Escandinávia. Nos **anos 80**, começaram os esforços para acordos mundiais de redução do potencial de efeito estufa e de agentes deterioradores da camada de ozônio. Todos esses fatos indicavam a necessidade de uma ação

internacional para resolver tais problemas, tornando necessária a contabilização de emissões para o ar e para a água.

Como a metodologia para analisar a geração desses poluentes é idêntica ao cálculo de consumo de energia, esta se expandiu para incorporar esses fatores. Como resultado, a nova metodologia passou a ser chamada de ecobalanco (*ecobalance*), ecoperfil (*ecoprofile*), análise de berço ao túmulo (*cradle to grave*), análise do ciclo de vida (*life cycle analysis*) ou avaliação do ciclo de vida (*life cycle assessment*).

A simplificação "quanto menos melhor" que tinha sido utilizada até então nas análises de energia e de recursos não poderia ser usada diretamente para análise das emissões pois, na prática, essas emissões são interligadas, sendo muitas vezes impossível reduzir tudo simultaneamente. A redução de um tipo de emissão muitas vezes acarreta o aumento de outra. Por exemplo, o tratamento de efluentes reduz as emissões para água, porém gera maior quantidade de resíduo sólido, o mesmo acontecendo com a lavagem de gases e a precipitação eletrostática de partículas, processos que reduzem a emissão para o ar.

Logo, percebeu-se que havia necessidade de uma orientação sobre a importância relativa de diferentes emissões para permitir a otimização do sistema. Surgiu, então, a necessidade de avaliar o impacto potencial sobre o meio ambiente dos parâmetros contabilizados, o que até os dias de hoje ainda não tem uma metodologia internacionalmente aceita e isenta de críticas e de interpretações subjetivas...

## PRIMEIROS ESTUDOS DE ACV

A partir da **década de 60**, pressões ambientalistas nos EUA sobre a indústria de embalagem, especialmente devido ao crescimento do mercado de embalagens descartáveis para bebidas, levaram à realização de estudos específicos de análise de energia e de recursos aplicados a embalagens para embasar decisões e legislações, apesar de se admitir àquela época que a análise não era inteiramente objetiva. Nesse contexto, em **1965** a Coca-Cola financiou um estudo realizado pelo MRI (*Midwest Research Institute*) com objetivo de comparar diferentes tipos de embalagem para refrigerantes e determinar qual deles apresentava índices mais adequados de emissão para o meio ambiente e melhor desempenho com relação à preservação de recursos naturais. A metodologia utilizada nesse estudo de quantificação de recursos naturais e de índices de emissão tornou-se conhecida como REPA (*Resource and Environmental Profile Analysis*), a qual foi aprimorada, em **1974**, pelo MRI durante a realização de um estudo para a Agência de Proteção Ambiental Americana - EPA (*Environmental Protection Agency*). Esta metodologia é considerada a precursora do que hoje se conhece como Avaliação do Ciclo de Vida - ACV. Posteriormente, na Europa, foi desenvolvido um procedimento similar conhecido como Ecobalanco (*Ecobalance*).

Em **1985**, com a publicação pela Comunidade Econômica Européia da Norma Diretiva 85/339 sobre embalagem para líquidos para consumo humano, estabelecendo que as empresas de bebidas deveriam monitorar o consumo de energia e de recursos naturais e o resíduo sólido associados ao seu produto, a ACV foi utilizada para analisar a questão ambiental sob uma perspectiva mais abrangente. Pesquisadores e instituições na Europa e EUA incorporaram na metodologia a análise das etapas de gestão de resíduo sólido urbano (pós-consumo) e de reciclagem de materiais. A interpretação dos resultados evoluiu para além do inventário de dados, com objetivo de conhecer o impacto potencial associado ao ciclo de vida do produto.

Em **1984**, inspirado pelos estudos REPA, o Instituto Suíço EMPA (*Swiss Federal Laboratories for Testing and Research*), por solicitação do Ministério do Meio Ambiente (BUWAL) daquele país, realizou um estudo sobre materiais de embalagem que despertou interesse da comunidade científica ao aplicar uma análise do impacto potencial das emissões inventariadas por meio de um modelo simplificado que calculava o volume de ar e de água necessários para reduzir a emissão a concentrações abaixo do nível ambientalmente significativo, conhecido como "critério do volume crítico". Apesar das limitações dessa análise e da idade dos dados utilizados nesse estudo, a publicação de um banco de dados público com dados de ciclo de vida de uma série de materiais contribuiu para a popularização da metodologia. Versões aprimoradas do estudo e do banco de dados foram publicadas pelo EMPA em **1991** e em **1998**, que também se tornaram fontes públicas, sendo que a última versão restringiu-se ao inventário de dados.

Outras fontes públicas de dados que promoveram o desenvolvimento da técnica de ACV foram a de Franklin Associates, com dados dos EUA, e os estudos realizados por Ian Boustead na Inglaterra para a APME - *Association of Plastics Manufacturers in Europe* enfocando resinas plásticas.

## ESTUDOS COMPARATIVOS

Visualizando o potencial da técnica como estratégia de *marketing*, alguns estudos tendenciosos foram realizados, levando a público somente aqueles resultados que interessavam.

A proliferação de estudos de ACV dos produtos sem uma metodologia padronizada levou a certos exageros que quase chegaram a comprometer a imagem dessa ferramenta de avaliação. Essa época é referenciada por alguns autores como a fase de "guerra das ACVs".

Muitos estudos, aparentemente iguais, chegavam a diferentes conclusões devido às considerações feitas, fronteiras adotadas, diferenças em tecnologia, idade dos dados, logística de abastecimento de matérias-primas e matriz energética, que são fatores críticos para a ordem de grandeza dos parâmetros inventariados. Diferiam ainda na própria interpretação do que seria um sistema mais adequado para o meio

ambiente. Apesar de todas as restrições, estudos comparativos foram divulgados e causaram impacto no mercado de produtos concorrentes.

Esses fatos evidenciaram a necessidade urgente de padronização da metodologia e do estabelecimento de critérios rígidos que disciplinassem a forma como estudos desse tipo deveriam ser conduzidos e levados ao conhecimento público...

## NECESSIDADE DE PADRONIZAÇÃO DA METODOLOGIA

Das instituições que trabalharam com ACV, a maior contribuição para o debate científico e para a padronização desta técnica foi dada pela SETAC - *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*, que organizou de 1990 a 1993 cerca de 9 conferências internacionais reunindo pesquisadores líderes da área. Esse esforço resultou na publicação, em 1993, do SETAC *Guidelines for Life Cycle Assessment: a Code of Practice*, primeiro documento voltado à padronização da metodologia e que mais tarde veio orientar os trabalhos de normatização internacional da ISO - *International Organization for Standardization*.

No mesmo período, principalmente em países europeus, proliferaram iniciativas de certificações e de rótulos ambientais concedidos com base em normas nacionais, que poderiam vir a se tornar barreiras técnicas ao livre comércio.

Nesse contexto, a padronização internacional de práticas de gerenciamento ambiental tornou-se prioritária, o que deu origem à série de normas ISO 14000. Estas normas foram desenvolvidas em duas frentes, uma dedicada à harmonização de práticas de certificação e de auditorias ambientais, a ser aplicada na avaliação de organizações, e outra voltada às ferramentas de avaliação do produto ou do serviço em relação ao meio ambiente, ou seja, relativas aos rótulos e declarações ambientais e à metodologia de avaliação do ciclo de vida.

Os trabalhos de normatização internacional da metodologia de ACV pela ISO 14000 envolveram mais de 300 pesquisadores de cerca de 29 países, especialistas em ACV, que atuaram direta ou indiretamente na padronização.

## PONTOS FUNDAMENTAIS DA SÉRIE DE NORMAS ISO 14000 SOBRE ACV

- a definição de princípios e procedimentos para a prática da ACV e a padronização da nomenclatura;
- a descrição metodológica de cada fase da ACV refletindo o conhecimento disponível e as limitações da prática de ACV atuais, especialmente no que se refere à fase de avaliação de impacto;
- a definição da transparência necessária ao relato do estudo em relação ao seu delineamento (escolhas e omissões do estudo), à qualidade dos dados utilizados e à forma de interpretação dos resultados;
- o estabelecimento das restrições e cuidados necessários quando da realização de estudos comparativos que serão disponibilizados ao público, incluindo, nesses casos, a obrigatoriedade de uma análise crítica externa.

Um resumo da série de normas da ISO 14000 relativas à ACV é apresentado no Quadro a seguir. Atualmente, estas normas estão sendo internalizadas no Brasil pela ABNT, por meio da atuação do CB-38, o que certamente irá popularizar sua aplicação no Brasil. A Norma NBR ISO 14040 foi publicada pela ABNT, em 2001, e as demais estão em fase de tradução, com publicação prevista ainda para o ano de 2002.

Certamente a ACV se tornará uma ferramenta gerencial e de planejamento muito importante

no futuro. Entretanto, ainda há muito o que se fazer para estabelecer a credibilidade da metodologia, bem como para gerar conhecimento que permitirá definir uma metodologia de avaliação de impacto de reconhecimento internacional. O momento atual é de consolidação da ACV como ferramenta técnica para identificação de oportunidades de melhorias ambientais dos produtos e serviços necessários à sociedade.

## AS NORMAS DA SÉRIE ISO 14000 RELATIVAS À ACV

ISO 14040 - *Environmental management- Life cycle assessment- Principles and framework*, foi aprovada e publicada em 1997. Estabelece os princípios básicos e requisitos para realização e divulgação dos resultados de estudos de avaliação do ciclo de vida. Apresenta a definição dos principais termos, descreve os objetivos e aplicações da técnica, identifica e caracteriza as fases da ACV, apresenta a necessidade e os requisitos para análise crítica externa (*critical review*) e descreve critérios mínimos para elaboração dos relatórios desses estudos.

ISO 14041 - *Environmental management- Life cycle assessment - Goal and scope definition and inventory analysis*, norma internacional publicada em 1998. Detalha os requisitos para o estabelecimento do objetivo e escopo de um estudo de ACV e descreve as etapas de uma Análise de Inventário. Apresenta a sistemática para definição dos processos unitários e para identificação dos principais itens de consumo ou emissões a eles associados. Esta norma também descreve os requisitos de qualidade para avaliação dos dados de uma Análise de Inventário. Exemplifica a coleta de dados e descreve princípios de alocação.

ISO 14042 - *Environmental management- Life cycle assessment - Life cycle impact assessment*, norma internacional publicada em 2000. Apresenta os princípios gerais para realização de Avaliação de Impacto, os componentes obrigatórios, a seleção das categorias de impacto, descreve as etapas de classificação e de caracterização. Esta norma estabelece que a ponderação entre categorias de impacto é opcional, ressaltando ainda que a ponderação não deve ser usada em trabalhos que serão divulgados ao público.

ISO 14043 - *Environmental management- Life cycle assessment - Life cycle interpretation*, norma internacional publicada em 2000. Apresenta os requisitos e recomendações para interpretação dos resultados de uma Análise de Inventário ou Avaliação de Impacto. Descreve a identificação dos pontos relevantes do estudo, a avaliação da qualidade dos dados e a Análise de Sensibilidade. Apresenta em seu anexo exemplos de interpretação e de apresentação dos resultados de ACV.

A série também contém três relatórios técnicos, exemplificando a aplicação das normas relativas à ACV:

ISO TR 14047 - *Illustrative examples on how to apply ISO 14042 - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment*. (Technical report - aprovado para publicação em 15/06/2001)

ISO TR 14048 - *Environmental management - Life cycle assessment - LCA data documentation format*. (Technical report - texto em desenvolvimento)

ISO TR 14049 - *Environmental management - Life cycle assessment - Examples for the application of ISO 14041 to goal scope definition and inventory analysis*. 2000. (Technical report)

## CAPÍTULO 4

### AS 4 FASES DA ACV

Um estudo de avaliação do ciclo de vida é dividido em quatro fases, segundo a norma NBR ISO 14040 conforme esquematizado na Figura 7.

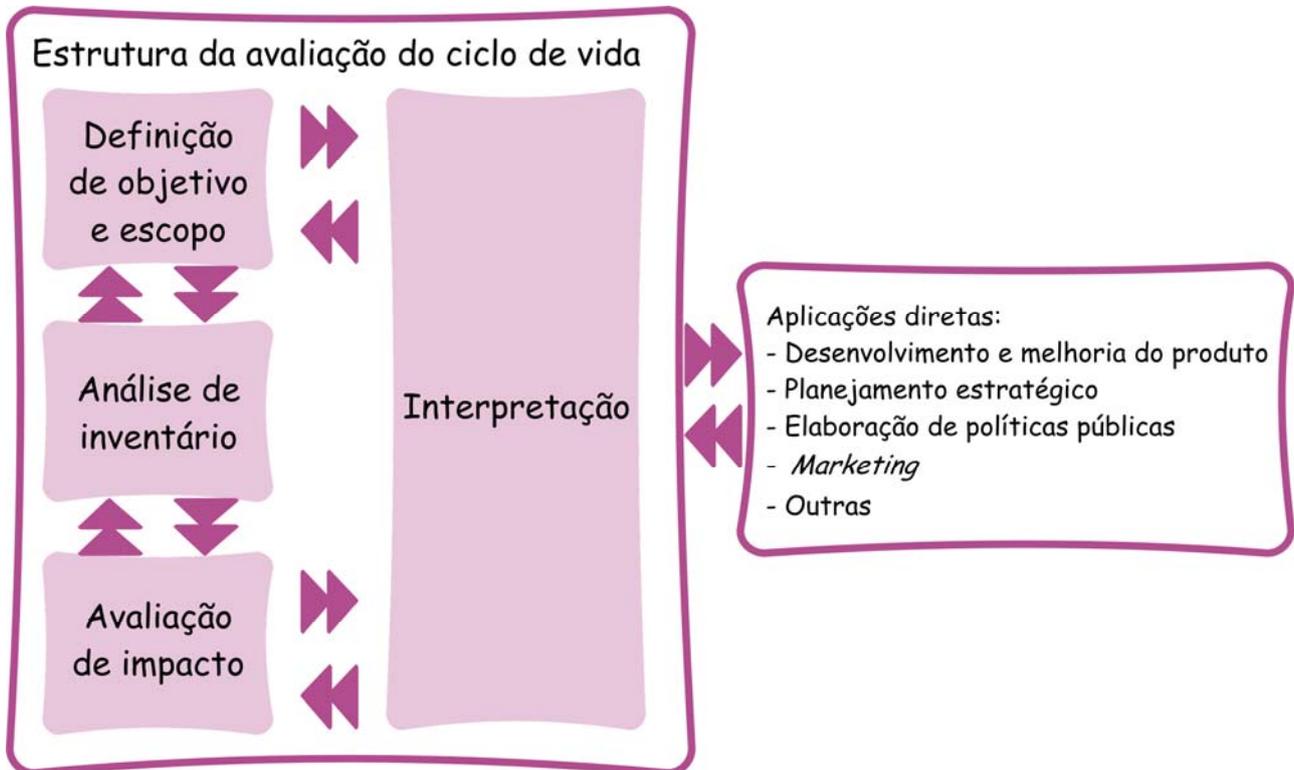


Figura 7. Fases de uma ACV (ABNT NBR ISO 14040, 2001).

O correto desenvolvimento de cada uma destas fases, bem como a harmonização entre as mesmas são essenciais para o êxito de uma ACV.

### DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO

Esta fase destina-se ao planejamento do estudo, momento em que se deve encontrar respostas a perguntas do tipo:

- Por que realizar o estudo? Conhecer desempenho ambiental? Comparar alternativas? Identificar pontos críticos? O objetivo deve estar claramente definido pois todo o modelamento do projeto dependerá dele.
- Para quem o estudo se destina? Os resultados serão de uso interno? Serão utilizados para divulgação a clientes ou comunidade? Ou fornecerá subsídio para legislações ou programas de rotulagem ambiental?
- Quais as fronteiras do estudo? Ou seja, que processos e atividades serão incluídos ou excluídos do sistema em análise,

relativos aos quais serão levantados os dados. Em que áreas objetiva-se maior nível de detalhamento? Por exemplo, se o estudo estiver focado em produção de revistas de estórias em quadrinhos, será considerado o ciclo de produção das tintas ou apenas a produção do papel e impressão da revista?

- A infra-estrutura empregada em determinado processo (produção de equipamentos, construção civil, etc.) será ou não incluída?
- Quais categorias de impacto serão consideradas? Ou seja, sob quais aspectos ambientais (recursos naturais, saúde humana, conseqüências ecológicas, entre outros) serão coletados os dados.
- Qual unidade funcional deverá ser considerada? Unidade funcional é uma referência com a qual as entradas e saídas do sistema serão relacionadas. Por exemplo,

na avaliação de análise do ciclo de vida de tinta à base de água, os resultados poderão ser expressos em termos de massa (kg) de tinta ou área (m<sup>2</sup>) que esta quantidade poderá recobrir; na ACV de um carro, a unidade funcional poderá ser um carro ou 100km rodados, etc.

- Os dados serão específicos para o produto ou serviço estudado, ou referem-se à média de produtores, médias nacionais ou internacionais?
- Quais os critérios de avaliação da qualidade dos dados que serão levantados?
- Quais os critérios de alocação de consumo/emissões em processos que geram mais de um produto?
- Como os resultados serão divulgados?
- O estudo será submetido à análise crítica externa ou não

## ANÁLISE DE INVENTÁRIO

Análise de Inventário é a fase que contempla o levantamento, a compilação e a quantificação das entradas e saídas de um dado sistema em termos de energia, recursos naturais e emissões para água, terra e ar, considerando

as categorias de impacto e as fronteiras definidas, com resultados ponderados pela unidade funcional. A Tabela 1 apresenta alguns parâmetros típicos de um Inventário de Ciclo de Vida (ICV) de um produto.

**TABELA 1.** Exemplo de um inventário do ciclo de vida de um produto genérico.

Parâmetro	Unidade	Quantidade/1000kg produto (*)
<b>ENERGIA (entrada)</b>		
Total	MJ <sup>1</sup>	6000
Hidrelétrica	MJ	4800
Queima de combustíveis	MJ	1200
<b>RECURSOS NATURAIS (entrada)</b>		
Água	kg	3000
Carvão	kg	1270
Madeira - reflorestamento	kg	300
Madeira - virgem	kg	80
Gás natural	kg	140
Petróleo	kg	2500
Constituintes minoritários	kg	13
<b>USO DE TERRA (entrada)</b>		
Uso contínuo	m <sup>2</sup> ano	6,4
Uso único	m <sup>2</sup>	8,3
<b>RESÍDUO SÓLIDO (saída)</b>		
Reciclagem externa ao sistema	kg	3,8
Resíduo tóxico	kg	0,07
Resíduo de processo industrial	kg	70
Volume usado para disposição final	dm <sup>3</sup>	88
<b>EMISSÕES PARA O AR (saída)</b>		
Particulados	kg	2,7
Gás carbônico (CO <sub>2</sub> ) (renovável)	kg	278
Gás carbônico (CO <sub>2</sub> ) (não-renovável)	kg	3300
Monóxido de carbono (CO)	kg	67
Metano (CH <sub>4</sub> )	kg	2,0
Óxidos de enxofre (SO <sub>x</sub> ) como SO <sub>2</sub>	kg	1,4
Compostos orgânicos voláteis (COVs)	kg	0,5
<b>EMISSÕES PARA A ÁGUA (saída)</b>		
DBO	g	150
DQO	g	1100
Sólidos suspensos	g	250
Sólidos solúveis	g	0,54
Metais pesados	g	300
Óleos e gorduras	g	0,04

(\*) Valores hipotéticos

<sup>1</sup> MJ - unidade de energia. Por exemplo, uma residência que consome 278kwh/mês utiliza 1000MJ/mês de energia elétrica.

# AValiação DE IMPACTO AMBIENTAL

A avaliação de impacto ambiental é a etapa onde se procura entender e avaliar a intensidade e o significado das alterações potenciais sobre o meio ambiente associadas ao consumo de recursos naturais e de energia e da emissão de substâncias, relativas ao ciclo de vida do produto em estudo.

Segundo a Norma ABNT NBR ISO 14040, a avaliação de impacto pode incluir três etapas: classificação, caracterização e ponderação. Classificação e caracterização podem ser consideradas como etapas científicas, enquanto a ponderação inclui julgamentos subjetivos, políticos ou normativos.

- A classificação associa cada parâmetro do ICV a uma das categorias de impacto, como efeito estufa, acidificação, etc., as quais serão explicadas sucintamente mais adiante.

- A caracterização coloca em uma mesma base diferentes parâmetros que contribuem para uma mesma categoria de impacto, considerando o efeito relativo de cada um. Por exemplo: todas as substâncias que contribuem para o efeito estufa são somadas na base de massa de CO<sub>2</sub> equivalente, que é uma grandeza calculada a partir do potencial de aquecimento global de cada substância, parâmetro já aceito pela comunidade científica internacional.

- Na ponderação, as categorias de impacto são somadas entre si, de acordo com uma escala de importância para o meio ambiente previamente definida, buscando-se um indicador único de desempenho ambiental para o produto ou serviço. Embora até o momento grandes debates científicos tenham sido travados buscando metodologias para a ponderação, nenhum acordo internacional geral foi alcançado sobre as metodologias mais adequadas para esta finalidade.

De acordo com a norma ABNT NBR ISO 14040, não há nenhuma metodologia aceita de forma geral para a associação consistente e precisa de dados de inventário com impactos potenciais específicos.

## PRINCIPAIS CATEGORIAS DE IMPACTO

### Consumo de recursos naturais

Esta categoria enfoca o uso de água e a extração de recursos naturais para consumo como fonte energética e como matéria-prima de processos industriais.

A água utilizada deve ser avaliada quanto ao volume requerido e pela alteração da pureza, temperatura e qualidade. Verifica-se que, embora a água seja abundante no planeta Terra, a água doce, utilizada para abastecimento domiciliar, industrial, agrícola, produção de

energia, recreação, etc., representa apenas 0,8% de toda a água do planeta e já é apontada como um dos primeiros recursos naturais a tornar-se escasso, em função da contaminação por despejos industriais e domésticos. Para ilustrar essa situação a Figura 8 apresenta as condições de uso das águas, em 1990, e sua projeção para o ano de 2010, no Estado de São Paulo.

Os recursos naturais utilizados como fonte energética incluem carvão, petróleo, gás natural e urânio (fontes não-renováveis) e madeira, cana-de-açúcar, etc. (fontes renováveis). Recursos como petróleo, gás natural e madeira também podem ser extraídos para uso como matéria-prima, ao lado de recursos minerais como minério de ferro, bauxita<sup>1</sup>, areia, feldspato<sup>2</sup>, calcário<sup>3</sup>, entre outros. No caso dos recursos não renováveis, avalia-se a relatividade entre o consumo contabilizado no ICV e as reservas conhecidas do recurso natural do planeta.

Para os recursos naturais renováveis é importante a sua adequada utilização bem como dos ecossistemas, de modo a respeitar sua capacidade de reprodução e sua utilização de modo sustentável. Por exemplo, deve-se considerar a qualidade das atividades de reflorestamento e a disponibilidade de terra cultivável na região; atividades pesqueiras podem ser praticadas desde que a reprodução das espécies não corra perigo, atividades pecuárias devem ser realizadas assegurando sempre o bem estar animal, fortalecimento do cultivo em detrimento do extrativismo, entre outros.



**Figura 8.** Condições de uso das águas em 1990 e projeção para 2010.

<sup>1</sup> **Bauxita** - principal minério de onde é extraído o alumínio

<sup>2</sup> **Feldspato** - um dos minerais usados na fabricação do vidro

<sup>3</sup> **Calcário** - rocha constituída essencialmente de carbonato de cálcio, empregada na produção de vidro, alumínio e produtos para construção civil.

## Consumo de energia

É um dos indicadores mais observados na avaliação do "custo ambiental"<sup>1</sup>, pois está associado ao requerimento de recursos naturais e também a muitas das emissões para o ar e para a água. As formas convencionais de obtenção de energia por meio da queima de combustíveis produzidos a partir de fontes não-renováveis como o petróleo e o carvão mineral, além de consumirem recursos naturais, emitem CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>, contribuindo com outras categorias de impacto como o efeito estufa, a formação de chuva ácida e da fumaça fotoquímica oxidante. O uso de energia nuclear oferece risco de contaminação da população por radiatividade em caso de acidente, consome recursos naturais e produz lixo perigoso, que requer disposição controlada.

A produção da hidreletricidade, embora considerada uma energia "limpa", requer disponibilidade de água e de terra, alterando o ecossistema local. Além das formas convencionais de produção de energia, existem formas alternativas, como a energia eólica, produzida pela captação do movimento dos ventos por pás e hélices gigantes ligadas a uma turbina acionada por um gerador elétrico, que, entretanto, produz poluição sonora e interfere em transmissões de rádio e televisão e a energia solar, que utiliza a luz do sol como fonte geradora de energia elétrica, que diretamente não contribui para nenhuma categoria de impacto, a não ser no processo de produção dos equipamentos de captação da luz solar.

## Efeito estufa

A atmosfera da Terra é constituída de gases que permitem a passagem de radiação solar e absorvem grande parte do calor emitido pela superfície aquecida da Terra, sendo essa propriedade conhecida como efeito estufa. Em virtude disso, a temperatura média da superfície do planeta mantém-se em cerca de 15°C. Sem esse efeito a temperatura média da Terra seria de -18°C.



Entretanto, o fato que vem preocupando a

sociedade como um todo é a intensificação do efeito estufa decorrente da ação do homem e

<sup>1</sup> *Custo ambiental* - alteração do meio ambiente em decorrência da realização de determinada atividade.

que pode trazer conseqüências para o clima do planeta. A hipótese da intensificação do fenômeno é que as emissões de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e de outros gases como metano ( $CH_4$ ), óxido nitroso ( $N_2O$ ) e compostos orgânicos voláteis (álcoois, aldeídos, cetonas, hidrocarbonetos, etc.) aumentam a concentração dos gases na atmosfera, aprisionando maior quantidade de calor, aumentando assim a temperatura média do globo terrestre. As conseqüências previstas são a possibilidade de chuvas intensas em áreas hoje consideradas desérticas e falta de

água em regiões altamente férteis, o aumento do nível dos oceanos devido ao derretimento das calotas de gelo polares e outras mudanças climáticas significativas no planeta. A liberação desses gases está relacionada principalmente ao consumo de combustíveis (para produção de calor e de energia, no transporte, etc.), à degradação de materiais orgânicos em lixões (liberação de gases como o metano), às emissões de processos industriais, como aqueles onde se procede a secagem de tintas e vernizes com liberação de compostos orgânicos voláteis, entre outros.

## Acidificação

Ocorre quando substâncias emitidas para o ar, como dióxido de enxofre ( $SO_2$ ) e óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ), são dissolvidas na água da chuva e combinam-se com outros elementos formando ácidos, que ao atingirem a superfície terrestre alteram a composição química do solo e das águas, interferindo assim nas lavouras, florestas, rios, lagos, além de causarem danos

em estruturas metálicas e edificações. O dióxido de enxofre provém principalmente da queima de combustíveis fósseis, como o carvão e o óleo combustível nos processos industriais. Os óxidos de nitrogênio também são liberados pela queima de combustíveis, especialmente durante o transporte.



## Toxicidade humana

A emissão para o ar, água ou solo de substâncias consideradas tóxicas, como os compostos aromáticos (tolueno, benzeno, xileno, fenol, etc.), metais pesados (chumbo, cádmio, cromo, arsênio, mercúrio, etc.), tetracloreto de carbono, hidrocarbonetos

halogenados (tricloro metano, etc.), pode causar problemas à saúde do homem quando inaladas ou ingeridas. O Mal de Minamata, por exemplo, é uma doença causada pelo consumo de alimentos contaminados por mercúrio.

Os primeiros casos documentados dessa doença ocorreram em pessoas que viviam às margens de um

Outros exemplos de fontes que podem contribuir para essa categoria de impacto são a

rio em uma cidade do Japão, o qual recebia despejo de mercúrio, que era absorvido pelos peixes e por meio desses, chegava ao homem, indo depositar-se nas células nervosas e adiposas, causando problemas como encefalite, cegueira e retardo mental.

## Ecotoxicidade

A emissão de substâncias tóxicas para o ar, água ou solo também tem efeito negativo sobre a flora ou fauna, a exemplo dos metais pesados, etilbenzeno, hidrocarbonetos halogenados, inseticidas, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, fenol, etc.

## Nutrição e eutroficação

É a adição de nutrientes ao solo ou à água, respectivamente, levando a um aumento da produção de biomassa na água (crescimento de microorganismos). Como consequência, verifica-se a redução do oxigênio disponível, afetando a fauna e a flora aquáticas. Qualquer elemento pode ter efeito nutritivo, entretanto, o nitrogênio (N) e o fósforo (P) são os mais importantes.

Também são incluídos nessa categoria substâncias como amônia ( $\text{NH}_3$ ), nitratos, nitritos, compostos nitrogenados, óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), fosfatos, resíduos de alimentos, óleos, gorduras, etc. Formas indiretas de quantificação desse efeito são as determinações da Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO<sup>1</sup> e da Demanda Química de Oxigênio - DQO<sup>2</sup>.



## Fumaça fotoquímica oxidante

É o nevoeiro causado pela reação entre óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e substâncias orgânicas voláteis sob a ação de raios ultravioleta, produzindo compostos oxidantes fotoquímicos.

Como efeito prático, tem-se o aumento de doenças respiratórias em grandes centros urbanos, onde é mais difícil dissipar a nuvem de poluentes formada. As fontes de emissão

<sup>1</sup> DBO - quantidade de oxigênio necessária à degradação biológica de resíduos orgânicos contidos numa determinada porção de água.

<sup>2</sup> DQO - quantidade de oxigênio necessária a uma degradação puramente química de resíduos orgânicos contidos numa determinada porção de água, sem intervenção de microrganismos.

desses poluentes foram citadas anteriormente.



### Redução da camada de ozônio

A camada de ozônio está situada na estratosfera, entre 20 e 35km de altitude da superfície terrestre, apresenta cerca de 15km de espessura e funciona como uma espécie de filtro que protege a Terra da radiação ultravioleta emitida pelo Sol. O ozônio ( $O_3$ ) é um gás rarefeito, formado pela exposição de moléculas de oxigênio à radiação solar ou a descargas elétricas. A diminuição dessa camada permite que a radiação ultravioleta chegue à Terra com maior intensidade.

Esse tipo de radiação é nociva à saúde e provoca principalmente câncer de pele e doenças oculares, como a catarata.

Detectou-se, nos últimos anos, que a camada de ozônio vem diminuindo de espessura, sobretudo nos pólos e que, em algumas regiões já apresenta grandes falhas.



Acredita-se que os compostos clorofluorcarbono (CFCs) sejam os principais poluentes responsáveis pela redução da camada de ozônio. Desde 1987, vários tratados e acordos internacionais foram firmados com o objetivo de reduzir gradativamente a emissão de CFC até sua completa eliminação em 2010.

Desde então, muitos processos produtivos e tecnologias foram alterados/desenvolvidos para eliminar o uso de CFC. Os CFCs são utilizados como propelente em alguns tipos de aerossóis, em mistura de agente expansor para plástico,

em *chips* de computadores, em solventes utilizados pela indústria eletrônica e, principalmente, em aparelhos de refrigeração, como geladeira e ar condicionado.

## INTERPRETAÇÃO

Nesta fase, os resultados da Análise de Inventário e/ou da Avaliação de Impacto são relacionados ao objetivo e ao escopo do estudo para chegar às conclusões e recomendações.

Para possibilitar que os objetivos e o escopo sejam alcançados, a qualidade dos dados utilizados no estudo deve ser sempre analisada criticamente quanto ao período de tempo, área geográfica e tecnologias cobertas, precisão, completeza e representatividade, consistência e reprodutibilidade dos métodos usados ao longo da ACV, fontes de dados e sua representatividade e incerteza da informação.

Análises de sensibilidade devem ser conduzidas, para avaliar a influência de dados duvidosos, falhos e/ou estimados sobre os resultados e conclusões. Para tanto, são feitas simulações variando-se a ordem de grandeza do dado suspeito e quantificando a significância desta alteração nos resultados dos Inventários do Ciclo de Vida, compilados com base nesses novos cenários sobre as conclusões da Avaliação de Impacto, caso tenha sido realizada.

no seu decorrer e/ou quando o sistema estudado for melhor conhecido.

Assim, as conclusões de uma ACV visam indicar melhorias ambientais por meio da:

- identificação, avaliação e seleção de opções para melhorias ambientais;
- identificação de pontos críticos do ciclo de vida que precisam ser melhorados pela avaliação da análise de inventário;
- estimativas dos ganhos ambientais que podem decorrer das ações de melhoria sugeridas (aumento da eficiência energética, melhor aproveitamento dos resíduos, implantação de sistemas de filtragem e de tratamento de efluentes, etc.).

Uma ACV é de natureza iterativa<sup>1</sup>, podendo o escopo ser modificado à medida que informações adicionais forem sendo coletadas

---

<sup>1</sup> **Iterativa** - qualidade daquilo que, por sua natureza dinâmica, pode ser continuamente revisto e modificado.

## CAPÍTULO 5

### A IMPORTÂNCIA DA ACV

A ACV é uma metodologia importante por se constituir em uma ferramenta que trata com clareza e objetividade de questões ambientais complexas, tais como:

- gerenciamento 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 para os diversos materiais;
- definição de parâmetros para atribuição de rótulo ambiental a um determinado produto.

### GERENCIAMENTO DE RECURSOS NATURAIS

A percepção de que os recursos naturais são limitados e que seu uso precisa ser gerenciado, a fim de que não haja escassez, ocorreram, de fato, somente no início da década de 70, com a crise do petróleo. Devido à necessidade de racionamento do petróleo, cujos derivados são usados para gerar energia, trabalho e calor, percebeu-se que os recursos naturais não-renováveis, como os combustíveis fósseis, são finitos.

Dessa forma, o gerenciamento dos recursos naturais tem por objetivo o uso adequado dos recursos naturais e dos ecossistemas, respeitando sua capacidade de recuperação, bem como sua utilização de forma sustentável.

#### **Mas, como gerenciar o uso dos recursos naturais?**

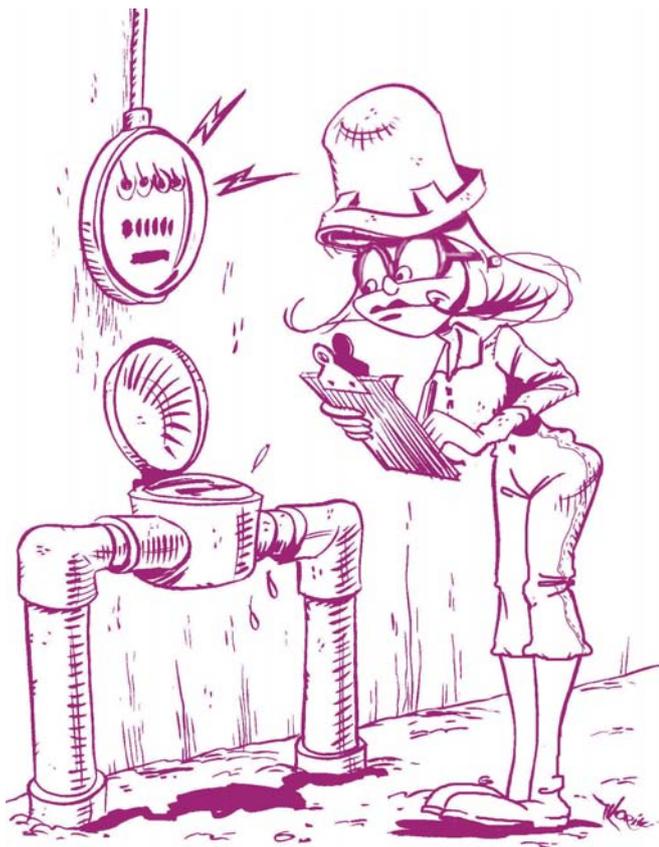
Como exemplo pode-se citar o manejo pesqueiro para o qual existem vários parâmetros que podem ser analisados. Considerando parâmetros biológicos, o volume de peixes que pode ser utilizado sem que a reprodução das espécies corra perigo seria um critério de produção máxima sustentável que atenda ao gerenciamento dos recursos

naturais, associado a um sistema de pesca não-predatória, como a proibição do uso de redes de pesca.

Ou então, uma outra alternativa, seria o abastecimento de peixes oriundos de lagos de cultura.

No entanto, critérios de caráter econômico (rendimento máximo econômico) e social (máximo benefício social) também são utilizados, sendo necessária uma combinação dos três critérios para se conseguir os melhores resultados.

Assim, as técnicas de gerenciamento dos recursos naturais variam em função do tipo de recurso natural considerado, além de compreenderem vários tipos de restrições, por exemplo, restrição de acesso aos recursos naturais em certas épocas do ano, restrição de uso de determinados equipamentos ou tecnologias, restrição dos níveis de emissão de determinados poluentes, etc.



Sendo assim, fica claro que o uso dos recursos naturais precisa ser feito com base em critérios bem estabelecidos e sem desperdícios, tendo por base os princípios do consumo sustentável discutido anteriormente no Capítulo 1.

Por este motivo, o consumo de recursos naturais é uma das principais categorias de impacto consideradas na etapa de avaliação de impacto ambiental de um estudo de ACV, como visto no Capítulo 4 deste livro.

Neste contexto, a ACV tem um papel importante na contribuição para o

## IDENTIFICAÇÃO DE PONTOS CRÍTICOS

Toda atividade humana provoca efeitos no meio ambiente, que podem ser maiores ou menores dependendo da atividade e da localidade onde a mesma está sendo desenvolvida.

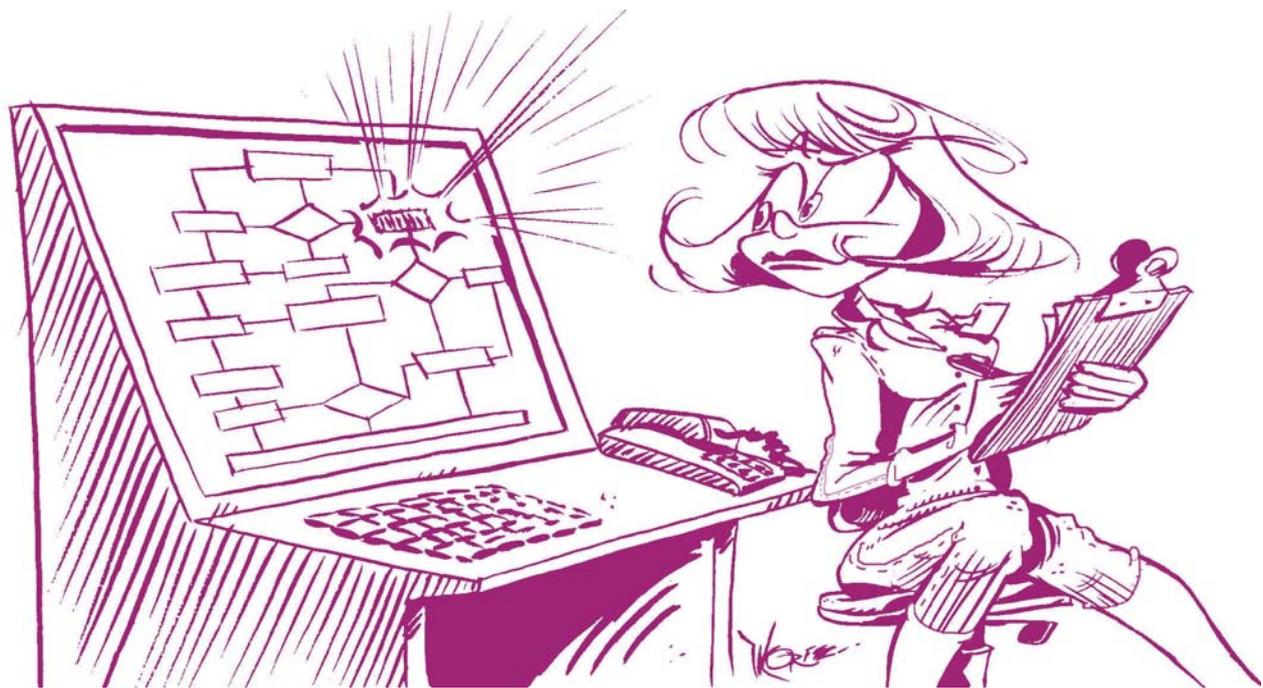
Os efeitos mais intensos sobre o meio ambiente podem ser chamados de pontos

gerenciamento dos recursos naturais uma vez que, em todas as etapas consideradas na ACV de um produto/serviço em estudo, o consumo de recursos naturais é contabilizado tanto como fonte energética (carvão, petróleo, gás natural, urânio, madeira, cana-de-açúcar, etc.) quanto como matéria-prima (petróleo, gás natural, madeira, minério de ferro, bauxita, areia, calcário, soja, algodão, etc.).

Portanto, a ACV é uma ferramenta importante para o gerenciamento dos recursos naturais, pois permite que se avalie por meio de simulações numéricas o efeito da redução do consumo dos recursos naturais nas diversas etapas do ciclo de vida, visando à otimização do produto/serviço em estudo e a certificação dos benefícios obtidos pela redução do consumo de recursos naturais, bem como das ações implementadas para aumentar a eficiência energética, reduzir as perdas e otimizar o desempenho, ou seja, "fazer mais com menos".

**A realização de estudos de ACV** de vários setores importantes como o da geração de energia elétrica, produção de álcool, gasolina, água tratada, papelero, automobilístico, gerenciamento integrado do resíduo sólido urbano, dentre outros, fornece bases de dados característicos de cada setor e seria de grande auxílio ao governo do país para um melhor gerenciamento de seus recursos naturais como suas reservas de combustíveis fósseis, reservas minerais, florestas nativas, rios, áreas agrícolas, dentre outras.

críticos, por exemplo, um consumo excessivo de água, a emissão de grande volume de efluente líquido, a emissão elevada de poluentes atmosféricos, a geração de grande volume de resíduo sólido, a emissão de um determinado poluente que apresenta efeito toxicológico, etc.



### Como identificar os pontos críticos de um produto/atividade?

Pode-se tomar como exemplo um estudo de ACV realizado por LEE, *et al.* (2000), na Coreia, para um modelo de trator típico (LT360D) fabricado pela LG Machinery Co. Ltd., com o objetivo de avaliar o impacto ambiental e as melhorias potenciais que poderiam ser implementadas no produto, a fim de desenvolver um "trator verde", ou seja, uma máquina agrícola com melhor desempenho ambiental.

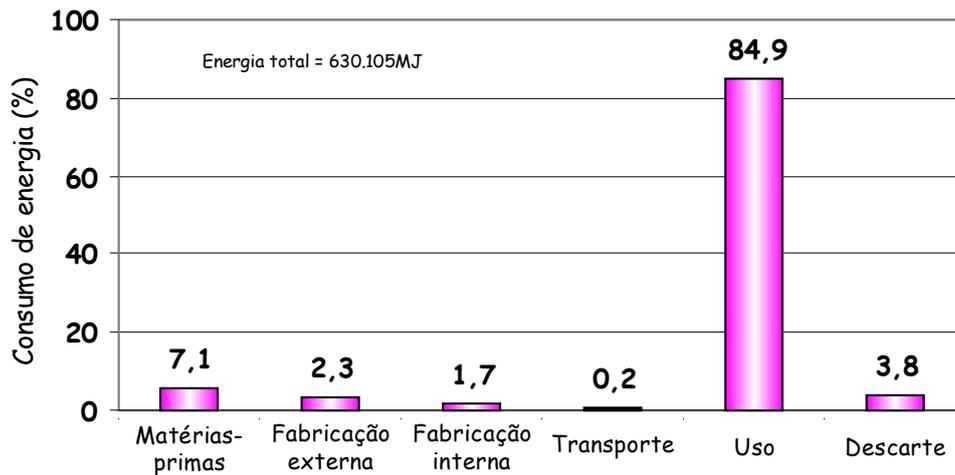
O ciclo de vida de todos os componentes do sistema foi investigado desde a extração das matérias-primas até a disposição final, considerando como unidade funcional um trator típico que arava cerca de 92 hectares de terra durante sua vida-útil (8 anos).

Os resultados obtidos mostraram que os pontos críticos deste produto concentravam-se

basicamente na etapa de uso do trator, conforme mostrado na Figura 9.

Verificou-se que 85% do consumo da energia primária ocorriam na fase de uso do trator, devido ao consumo de mais de 11 toneladas de óleo diesel, durante sua vida-útil. Uma vez que, geralmente, a emissão de  $CO_2$  é determinada pela quantidade de combustível consumido, a etapa de uso do trator também era a fase dominante em emissão de  $CO_2$ .

Além disso, praticamente toda a emissão de  $NO_x$  detectada foi gerada na etapa de uso do trator. Isto porque, além do  $CO_2$ , motores movidos a diesel apresentam emissão de  $NO_x$ , CO, hidrocarbonetos e material particulado em decorrência da queima do combustível.



**Figura 9.** Resultado da avaliação do consumo de energia do estudo de ACV de um modelo de trator típico (LT360D) fabricado pela LG Machinery Co. Ltd. (LEE *et al.*, 2000).

Com base nestes resultados, os autores definiram duas estratégias principais:

1. trabalhar para o aperfeiçoamento do motor, a fim de torná-lo mais econômico e com menores índices de emissão;
2. reduzir o peso do trator, com a finalidade de diminuir o consumo de combustível, além de diminuir o consumo de matérias-primas. No entanto, esta redução do peso do trator não deveria deteriorar sua função original.

Portanto, os resultados de um estudo de ACV possibilitam que se identifique quais os pontos críticos (elevados índices de consumo e/ou emissão) presentes no processo produtivo do produto em estudo. Com base nisto, deve-se tentar eliminar/reduzir estes pontos críticos por meio da implantação de melhorias que resultem em um melhor desempenho ambiental do produto.

## OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUTOS

A ACV tem sido amplamente empregada para avaliação da reciclagem de diversos materiais e produtos, a saber: vidro, papel jornal, papéis para impressão e fotocópia, alumínio, diversos tipos de aço, garrafas de PET, polietileno, papelão ondulado, cartão, carros, etc.

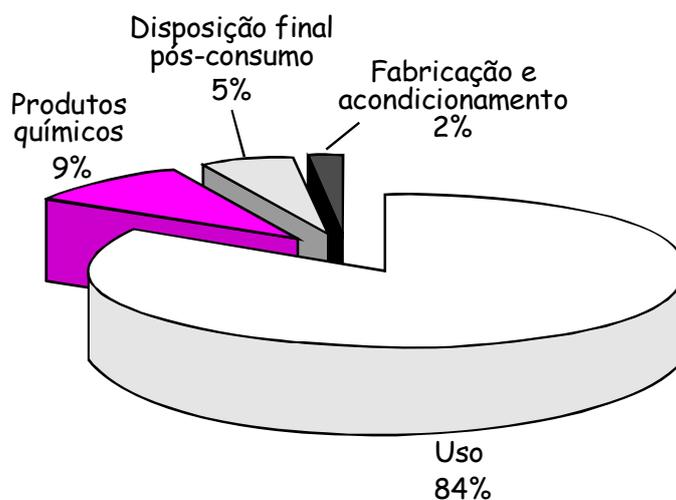
Os resultados obtidos nos diferentes estudos de ACV foram muito úteis e possibilitaram que diversas melhorias fossem implementadas:

- alterações no projeto dos produtos, de modo a aumentar o uso de materiais reciclados;
- mudanças nos sistemas de reciclagem por meio da alteração dos sistemas de coleta, a fim de se obter uma maior eficiência do processo e um menor índice de poluição associado à reciclagem.



Apesar deste tipo de aplicação da ACV ter começado com os materiais de embalagem, esta prática se disseminou para outros produtos, tais como carros e pneus. As indústrias de automóveis e pneus têm empregado estudos de ACV para avaliar as diversas possibilidades de disposição final e reciclagem de seus produtos.

Pode-se citar também como exemplo de otimização de sistemas de produtos o estudo de ACV feito pela Procter & Gamble para avaliar o desempenho de detergente em pó para máquina de lavar roupas nos EUA. Os resultados referentes ao consumo de energia são apresentados na Figura 10.



**Figura 10.** Consumo de energia para as diferentes etapas do ciclo de vida de detergente em pó para máquina de lavar roupas, nos EUA (Fonte: OWENS, 1996).

Como pode ser observado, no ciclo de vida do detergente em pó, o maior consumo de energia correspondeu à etapa de uso do detergente pelo consumidor final, o mesmo ocorrendo em estudos realizados na Europa e no Japão. Deste valor, mais de 75% corresponderam ao

uso de água aquecida durante a lavagem, enquanto o restante decorreu do funcionamento da máquina de lavar. A contribuição dos produtos químicos utilizados na fabricação do detergente representou apenas 9% da energia total consumida.

Assim, o estudo de ACV demonstrou ao departamento de pesquisa e desenvolvimento que a otimização deste sistema de produto deveria ser direcionada para o desenvolvimento de formulações que lavassem as roupas a menores temperaturas, num projeto de pesquisa em conjunto com os fabricantes de máquinas de lavar roupas.

**Portanto**, o estudo de ACV é uma ferramenta poderosa para a otimização de sistemas de produtos, uma vez que permite que se tenha clareza de quais são e onde se localizam os pontos críticos do sistema em estudo. Deste modo, os esforços para implementação de melhorias visando otimização, são focados exatamente nas etapas críticas do sistema.

## DESENVOLVIMENTO DE SERVIÇOS

As pessoas têm contato com uma série de serviços no seu dia-a-dia. Para exemplificar, pode-se citar os seguintes serviços:

- agências de correio;
- restaurantes;
- lanchonetes;
- sistemas de entrega domiciliar;
- *shopping centers*;
- laboratórios de análise clínica;
- sistema de gerenciamento do resíduo sólido urbano, etc.

### Como a ACV pode auxiliar no desenvolvimento de serviços?

A ACV é útil tanto para o gerenciamento do desempenho de um serviço já implementado, quanto na etapa de projeto de um novo serviço.

Comentando alguns dos serviços citados anteriormente, pode-se exemplificar esta aplicação.

No caso das Agências de Correio, tem-se como ponto crítico o sistema de logística e distribuição de toda a correspondência sob sua responsabilidade. Neste caso, por meio da ACV pode-se simular diferentes situações de entrega de correspondência considerando-se, por exemplo, para a unidade funcional de 1000 correspondências entregues ou de 1000

usuários atendidos pelo sistema de entrega, empregando-se diversos meios de transporte combinados e avaliando-se, assim, a eficiência do sistema em uso e possíveis alterações que possam resultar em melhorias.

No caso dos *shopping centers*, tomando por base a unidade funcional de 1000 clientes atendidos, a operação do serviço pode ser otimizada por meio de um estudo de ACV, que consideraria, por exemplo, os seguintes aspectos:

- iluminação e o condicionamento do edifício, aos quais estão associadas questões de arquitetura, materiais utilizados, consumo de energia, propaganda, etc.;
- gestão de resíduos gerados nos restaurantes, lojas, sanitários, etc.

No caso de restaurantes e lanchonetes, os estudos de ACV aplicados à unidade funcional de, por exemplo, 1000 refeições servidas ou 1000 clientes atendidos, podem auxiliar na detecção dos pontos críticos do serviço, bem como na busca sistemática da otimização da:

- lavagem dos utensílios (consumo de água, de detergente, etc.);
- preparação das refeições (tipo de fogão, tipo de combustível, volume de perdas, consumo de água, etc.);
- armazenamento dos ingredientes e de refeições prontas (temperatura ambiente, refrigeração, congelamento, etc.);

- entrega das refeições (tipo de transporte, tipo de embalagem, etc.);
- perda de alimentos preparados ou *in natura*;
- segurança alimentar do serviço, etc.

Uma vez definida uma unidade funcional, é possível aplicar a ACV para buscar a otimização do serviço sob o ponto de vista de redução de seu "custo ambiental".

**Assim**, a ACV pode ser útil tanto no desenvolvimento de um novo serviço quanto na otimização de um serviço já disponível por meio da implementação de melhorias na busca de um melhor desempenho, tanto ambiental quanto econômico, uma vez que a redução de desperdícios também resulta em lucros financeiros.

## DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

No projeto de um novo produto, por exemplo cerveja, perfume, refrigerador, televisão, etc., é bastante útil estudar a ACV de um produto similar, a fim de se detectar pontos que possam ser melhorados e que venham a se refletir no novo produto.

### Como a ACV pode contribuir no desenvolvimento destes produtos?

A ACV é útil para avaliar a eficiência das diversas etapas do processo produtivo, bem como para estudar o histórico de consumo de materiais secundários (insumos, acessórios, etc.).

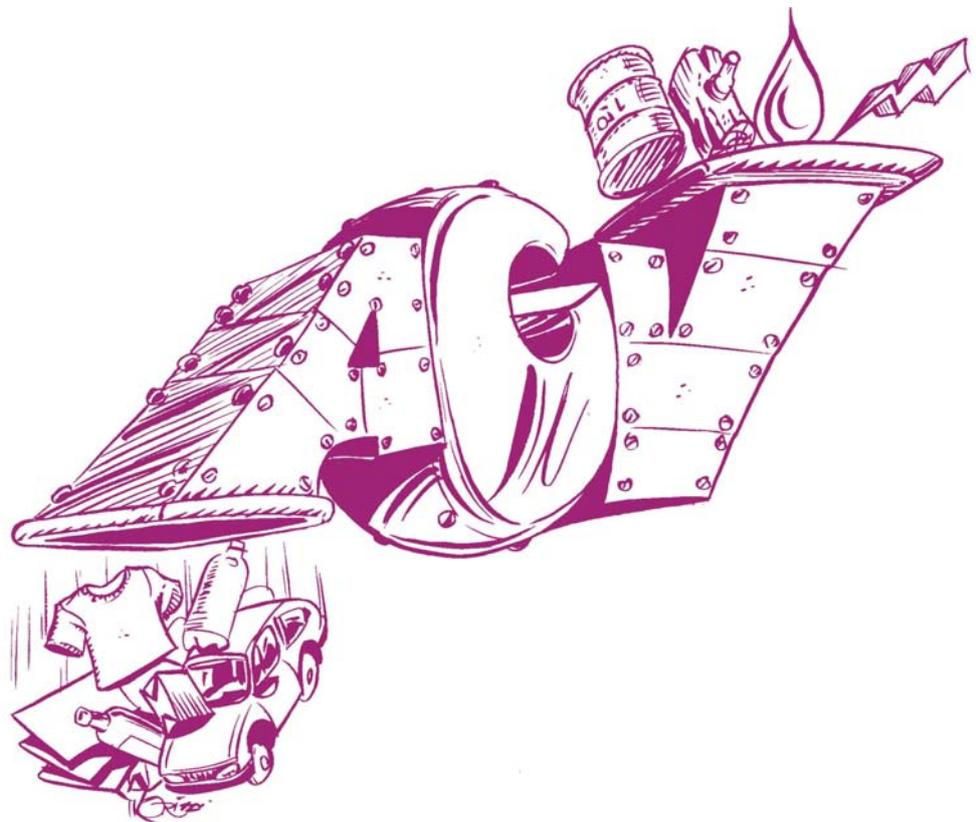
Para esclarecer melhor este conceito, aplica-se o seguinte exemplo.

TALVE (2001) desenvolveu um estudo de ACV na Estônia com a finalidade de determinar e avaliar os impactos ambientais, bem como identificar possíveis melhorias na produção e distribuição de um tipo comum de cerveja.

A unidade funcional adotada foi de 1000L de cerveja acondicionada em

garrafas distribuídas em 505 *multi-packs*<sup>1</sup>. O estudo considerou desde a produção agrícola da cevada até a entrega do produto nas lojas/supermercados para venda.

Uma observação importante foi que o próprio desenvolvimento deste estudo aumentou a conscientização ambiental, tanto na administração da empresa avaliada quanto de



<sup>1</sup> **Multi-pack** - um tipo de embalagem secundária, no caso um envoltório de cartão que agrupa 6 garrafas de cerveja.

todas as pessoas que participaram da coleta de dados nas diversas etapas de produção, por meio da aquisição de novos conhecimentos, perspectivas e pontos de vista com respeito à conservação de recursos naturais e à geração de resíduos.

As principais recomendações que resultaram deste estudo de ACV foram:

- no projeto de uma nova cervejaria, os dados de consumo de energia, de recursos naturais (principalmente a água) e emissões precisam ser registrados, tanto no âmbito da fábrica quanto para cada linha de produção específica;
- a etapa de distribuição da cerveja é responsável por significativo impacto ambiental. Assim, foi proposta uma revisão das rotas de transporte a fim de se avaliar possíveis otimizações;

- identificação de fornecedores locais para uma das principais matérias-primas para a produção de cerveja, que era proveniente de região distante (Europa Central) e cujo transporte apresentou grande contribuição no inventário de ciclo de vida do produto;
- busca de alternativas para reduzir os resíduos sólidos gerados e para economizar eletricidade na cervejaria com a finalidade de obtenção de benefícios ambientais e econômico.

Portanto, a ACV aplicada no projeto de novos produtos visando a sua otimização pode auxiliar grandemente na eficiência do processo produtivo, da logística de distribuição e do abastecimento de matérias-primas, uma vez que o conhecimento do desempenho global do sistema (ciclo de vida do produto) permite que se busque alternativas que melhorem o desempenho ambiental do produto.

## OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE RECICLAGEM

Uma das áreas onde a ACV tem sido empregada, e deverá continuar no futuro, é para a análise da reciclagem de materiais. Há um pressuposto de que "a reciclagem é sempre uma boa alternativa para o meio ambiente".

**Uma grande vantagem da reciclagem** é a redução de resíduos sólidos e conseqüente aumento da vida-útil dos aterros. No entanto, o processo de reciclagem é acompanhado da geração de efluentes líquidos e de consumo de água e energia para a lavagem dos materiais coletados, os quais dependem do grau de contaminação do material pós-consumo.

Além disso, a logística da coleta dos materiais para reciclagem também influencia o sistema, uma vez que há emissão de poluentes atmosféricos devido à queima de combustível pelos caminhões de coleta.

Existem diversos processos de reciclagem:

- Reciclagem mecânica - a mais comum, consistindo na transformação do material

coletado em outro produto, com função igual ou diferente do produto original. Por exemplo, aparas de papel e papelão usados são reprocessados, combinados ou não com fibras de celulose virgem e convertidos novamente em caixas e papéis;

- Reciclagem química - menos usual, pois necessita de equipamentos mais sofisticados e consome mais energia do que a reciclagem mecânica, baseia-se na decomposição de materiais até a obtenção de seus compostos químicos iniciais. Por exemplo, o polietileno é convertido em etileno e este pode ser utilizado como matéria-prima em qualquer processo químico que envolva este composto;
- Reciclagem energética - possível para materiais com elevado valor energético, como plásticos e papel, ainda não é largamente empregada no Brasil. Esta

reciclagem baseia-se no aproveitamento do conteúdo energético dos materiais, empregando-os como fonte energética no lugar dos combustíveis fósseis. No entanto, é necessário que os incineradores sejam projetados para recuperação de energia e tenham um rigoroso controle dos níveis de emissão atmosférica, além de cuidado na disposição final das cinzas.

**Por meio da ACV** pode-se determinar o ponto ótimo, ou seja, qual a melhor taxa de reciclagem para um determinado material, além de ser possível avaliar qual dos diferentes processos de reciclagem disponíveis é o mais viável para o resíduo em questão. Por exemplo, o esforço despendido para coletar 100% de um material pode não ser eficiente, se o resultado for um maior uso de energia e de emissões do que o material virgem.

No entanto, as taxas de reciclagem devem ser determinadas combinando-se os resultados obtidos da ACV com outras informações:

- o processamento de alguns filmes ou garrafas com elevado conteúdo de reciclado pode ser ineficiente e também apresentar dificuldades de processo e de

desempenho, gerando perdas e resíduos de material;

- a logística de coleta: as pessoas devem entregar os materiais em postos de entrega voluntária (PEVs) ou a coleta deve ser feita porta-a-porta? No primeiro caso, pode-se ter número excessivo de carros circulando nas ruas para o depósito de pequenas cargas, enquanto no segundo tem-se caminhões que carregam maior carga;
- o material reciclado é adequado tecnicamente para o uso final a que se destina?
- qual o conteúdo de reciclado (30 ou 50%, etc.) que o produto final comporta sem alterar o seu desempenho final?
- existem restrições de uso de material reciclado neste produto?

A combinação de todas estas questões com os resultados da ACV do produto permite a otimização do sistema de reciclagem para cada material.

## ROTULAGEM AMBIENTAL

### O que é rotulagem ambiental?

A rotulagem ambiental consiste em um símbolo ou frase específica que são colocados voluntariamente no rótulo da embalagem dos produtos com a finalidade de valorizar o produto aos olhos do consumidor. A permissão de uso deste rótulo baseia-se no desempenho ambiental do produto, sendo que os critérios considerados dependem da categoria do produto em questão.

A Alemanha foi o primeiro país a implementar um Programa de Rotulagem Ambiental nacional

para produtos, o qual serviu de modelo para muitos outros países. O Programa de Rotulagem Ambiental da Alemanha - *Blue Angel* foi criado, em 1977, pelo Ministério Federal do Interior da Alemanha e, até 1996, havia concedido o *Blue Angel* para 920 empresas, sendo que 4.100 produtos de 76 categorias de produtos haviam recebido o rótulo ambiental.

No entanto, os critérios para a rotulagem ambiental foram normatizados pela ISO somente no final da década de 90 por meio das seguintes normas:

Normas da série ISO relativas à rotulagem ambiental	Ano de publicação
<b>ISO 14020</b> Rótulos e declarações ambientais - Princípios básicos <i>Environmental labels and declarations - General principles</i>	1998
<b>ISO 14021</b> Rótulos e declarações ambientais - Autodeclarações ambientais - Tipo II <i>Environmental labels and declarations - Type II Self-declared environmental claims</i>	1999
<b>ISO 14024</b> Rótulos e declarações ambientais - Rótulo ambiental Tipo I - Princípios e procedimentos <i>Environmental labels and declarations - Type I environmental labelling - Principles and procedures</i>	1999
<b>ISO/TR 14025<sup>1</sup></b> Rótulos e declarações ambientais - Rotulagem ambiental Tipo III <i>Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Guiding principles and procedures</i>	2000

### Qual a relação entre a ACV e a rotulagem ambiental?

Existem três tipos de rótulo ambiental, a saber:

1. Rótulo Tipo I, conhecido como "Selo Verde" - toma como base os resultados de estudos de ACVs setoriais, com o objetivo de reduzir os impactos ambientais da categoria de produto selecionada. O "Selo Verde", que consiste num símbolo impresso no rótulo da embalagem, é concedido pelo Órgão de Certificação, que no Brasil é a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, que usa os dados das ACVs para orientação na definição dos parâmetros de controle;
2. Rótulo Tipo II - consiste em 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", "reutilizável", etc. A fim de evitar o uso de

expressões indefinidas, como por exemplo "produto verde", estas autodeclarações foram normatizadas pela ISO;

3. Rótulo Tipo III - contém uma série de informações ambientais baseadas em resultados de ACVs individualizadas, ou seja específicas para o produto/serviço em questão. Devido a sua complexidade, provavelmente tende a ter maior aplicação em relações comerciais (B<sub>2</sub>B - *business to business*) do que para divulgação ao público em geral.

O uso da ACV como base para estes rótulos ambientais tem por objetivo melhorar a rotulagem ambiental, tornando-a mais transparente e científica. No entanto, é importante ressaltar que a extensão considerada no estudo de ACV (fronteiras e extensão geográfica) pode variar em função do tipo de rótulo ou declaração ambiental, da natureza da reivindicação ou da categoria de produto. A ACV é uma ferramenta de suporte para a interpretação dos dados, porém, no caso

<sup>1</sup> *ISO/TR* refere-se a um relatório técnico e não a uma norma técnica. Para maiores informações contatar o CB38 da ABNT.

do Rótulo Tipo I, esta técnica não pode nunca substituir a tomada de decisão que cabe ao Órgão Certificador.

Um exemplo de uso é apresentado a seguir.

Todo produto consome algum recurso da natureza, ao mesmo tempo em que devolve ao meio ambiente algum tipo de emissão (para o ar, água ou solo) durante seu processo produtivo. Assim, a seleção do melhor processo para a produção de um produto baseia-se na disponibilidade de recursos naturais, nas características locais de renovação dos recursos naturais que são consumidos no processo, bem como na absorção das emissões geradas.

Os Inventários de Ciclo de Vida - ICVs gerados no estudo de ACV contêm uma série de números que servem de base para uma avaliação objetiva sobre o desempenho ambiental desejado do produto que se quer avaliar.

Dessa forma, a partir dos ICVs obtidos para determinada categoria de produto pode-se estabelecer padrões mínimos de desempenho ambiental que servirão de base para o programa de rotulagem ambiental para a categoria de produto de interesse, por exemplo geladeira, produtos de papel,

televisão, embalagem para carne, calçados, etc. Com base nos resultados obtidos neste estudo, o órgão certificador toma conhecimento da variabilidade dos indicadores ambientais do setor e pode, então, estabelecer valores máximos de consumo/emissão para cada parâmetro considerado relevante.

Um dos temas mais controvertidos já avaliado pelo Programa de Rotulagem Ambiental da Alemanha foi a avaliação de sistemas de secagem de mãos, a fim de verificar quais os parâmetros mais importantes para o desempenho ambiental de cada um dos sistemas avaliados.

A Agência Ambiental Federal da Alemanha avaliou os estudos de ACV desenvolvidos para os diversos sistemas de secagem de mãos, para a unidade funcional de "1 uso", ou seja, 1 toalha de algodão ou de papel e 30s de operação para o secador elétrico (Tabela 2). A variabilidade dos resultados apresentados pode ser explicada pelas diferenças na tecnologia usada pelas diversas empresas avaliadas, bem como dos dados usados nos estudos de ACV.

**Tabela 2.** Resultados de estudos de ACV para sistemas de secagem de mãos, para a unidade funcional de "1 uso", ou seja, 1 toalha de algodão ou de papel e 30s de operação para o secador elétrico (NEITZEL, 1997).

Aspectos ambientais	Secador elétrico	Toalha de papel virgem	Toalha de papel reciclado	Toalha de algodão*
Consumo de energia (kWh)	0,016 - 0,03	0,017 - 0,04	0,007 - 0,019	0,014 - 0,015
Consumo de água (L)	----	> 1,0	0,04 - 0,31	> 0,1
Recursos naturais	Fontes não-renováveis	Fontes renováveis	Fontes secundárias	Fontes renováveis
Resíduo sólido (g)	----	3 - 5	3 - 5	0,1 - 0,2
<b>Emissões para a água</b>				
DQO (mg)	----	1.700	15	120
<b>Emissões para o ar</b>				
CO <sub>2</sub>	13	33	12	2
SO <sub>2</sub> (mg)	19 - 34	10 - 17	1 - 6	13 - 20
NO <sub>x</sub> (mg)	26 - 43	10 - 90	10 - 30	30 - 40

\* reutilizável.

Como resultado desta análise, foram levantados dois pontos principais:

1. Em função de problemas de ponderação entre as categorias de impacto ambiental, não foi verificada superioridade de nenhum dos sistemas estudados;
2. Os estudos de ACV identificaram diversas possibilidades de melhoria que foram usadas como base para o desenvolvimento de critérios ambiciosos de rotulagem ambiental.

Com base nestes resultados, o Painel de Rotulagem Ambiental alemão decidiu estabelecer os seguintes critérios de rotulagem ambiental para cada uma das categorias de produto:

- Toalhas de papel reciclado - o parâmetro mais importante foi a qualidade das aparas utilizadas para a fabricação do papel;
- Toalhas de algodão - os parâmetros mais importantes foram a substituição de substâncias ecotoxicológicas em detergentes e evitar o uso de cloro na lavagem das toalhas;

- Secadores elétricos - os parâmetros mais importantes foram o baixo consumo de eletricidade ( $< 0,017\text{kWh}$  para 1 uso - 30s), dispor da função liga/desliga automática e o compromisso do fabricante em receber de volta os produtos fora de uso.

Assim, somente receberiam o rótulo ambiental os produtos cujos processos de fabricação atendessem aos critérios estabelecidos pelo órgão certificador para os diversos itens inventariados no estudo de ACV.

Aqueles produtos que não receberam o rótulo ambiental precisaram fazer melhorias em seus processos, de modo a se enquadrarem nos padrões estabelecidos e, então, serem contemplados com o rótulo ambiental.

**Portanto**, a ACV serve de base para os programas de rotulagem ambiental, sendo que os critérios de escolha levam em conta os dados obtidos nos estudos de ACV e outros fatores que definem o que deve ser considerado relevante pelo Órgão Certificador.

## CAPÍTULO 6

# O PAPEL DA ACV NA COMUNICAÇÃO

Os resultados de estudos de ACV fornecem subsídios técnicos reais fundamentais para ampliar os conceitos envolvidos na discussão de um tema (por exemplo, desenvolvimento de um novo produto), modificam as visões simplistas e unilaterais para visões amplas, com múltiplos aspectos inter-relacionados. A demonstração da complexidade das questões ambientais e de suas inter-relações possibilitam distinguir os mitos da realidade.

A divulgação dos resultados destes estudos tem importante função de comunicação junto à sociedade, ao informar sobre o impacto potencial associado aos produtos/serviços que usufruem e até mesmo para eventuais mudanças no estilo de vida. Com referência às indústrias, a ACV permite comprovar os esforços despendidos para a implementação de melhorias contínuas.

## MITOS E REALIDADES

Antes de discutir o que é mito e o que é realidade, vale a pena lembrar antigas comparações:

- embalagem plástica vs embalagem de vidro vs embalagem de alumínio vs embalagem de aço vs embalagem de papel vs embalagem cartonada;
- materiais biodegradáveis vs materiais recicláveis;
- energia elétrica gerada por hidrelétrica vs energia elétrica gerada por termelétrica, etc.

Estas comparações refletem uma abordagem simplista do assunto, uma vez que quaisquer das alternativas citadas anteriormente têm aspectos positivos e negativos do ponto de vista ambiental.

**Então, como ter clareza desta interação com o meio ambiente sem que haja parcialidade?**

O melhor modo de se resolver esta questão é tomar por base dados numéricos envolvendo vários pontos de vista, evitando-se assim uma análise subjetiva do assunto.

Estes valores numéricos podem ser obtidos por meio de **estudos de ACV** realizados para uma mesma unidade funcional e para a mesma fronteira de estudo, possibilitando que se tenha **dados objetivos** sobre o impacto potencial das diversas alternativas.



Para exemplificar, pode-se considerar o fato de se ouvir com frequência a afirmação de que "os resíduos de embalagem pós-consumo constituem-se em um problema ambiental sério".

De fato, os resíduos sólidos (não só as embalagens) necessitam de um gerenciamento adequado, a fim de se evitar problemas ambientais devido à disposição final inadequada, tais como contaminação do solo e de lençóis freáticos, assoreamento de rios, etc.

Por outro lado, as embalagens têm a função importante de prolongar a vida-útil dos alimentos, protegendo-os de contaminação pelo ambiente externo, permitindo que os alimentos sejam consumidos em regiões distantes de seus locais de produção, etc.

Assim, para se ter uma visão ampla desta questão pode-se considerar o ciclo de vida de produtos alimentícios como, por exemplo, pode-se considerar apenas um dos aspectos do ciclo de vida de produtos alimentícios, tal como o consumo de energia, não se esquecendo que existem muitos outros relacionados (consumo de recursos naturais, água e emissões para o ar, solo e água).

Assim, considerando-se o consumo de energia (elétrica e queima de combustíveis) pelos alimentos nas diversas etapas de seu ciclo de vida tem-se:

- na agricultura: tratores, colheitadeiras, tratamento do solo, produção de sementes e mudas, produção de defensivos agrícolas e fertilizantes;
- na indústria de alimentos: beneficiamento, secagem, moagem, extração, fermentação, cozimento, processamento térmico, resfriamento e congelamento;
- na distribuição: transporte e armazenamento (empilhadeiras, esteiras e paletizadoras);
- no varejo: condicionamento e cadeia de frio;
- pelo consumidor: transporte do varejo até as residências, geladeiras e freezers, cozimento e preparo.

Portanto, desde o cultivo até o momento em que os alimentos estão dispostos à mesa prontos para o consumo, há um requerimento bastante intenso de energia nas diversas etapas do ciclo de vida destes produtos.

Um estudo de ACV realizado por KOIJMAN (1995) sobre a produção de produtos alimentícios na Inglaterra, mostrou a distribuição do uso de energia ao longo da cadeia produtiva de alimentos, conforme apresentado na Figura 11. Como pode ser observado, a produção do alimento é a etapa mais intensa em termos de consumo de energia (49%), seguida do gasto energético observado na casa do consumidor devido ao resfriamento e/ou congelamento do alimento (16%), enquanto as embalagens (primária, secundária e de distribuição) representam somente 10% do total de energia consumida!

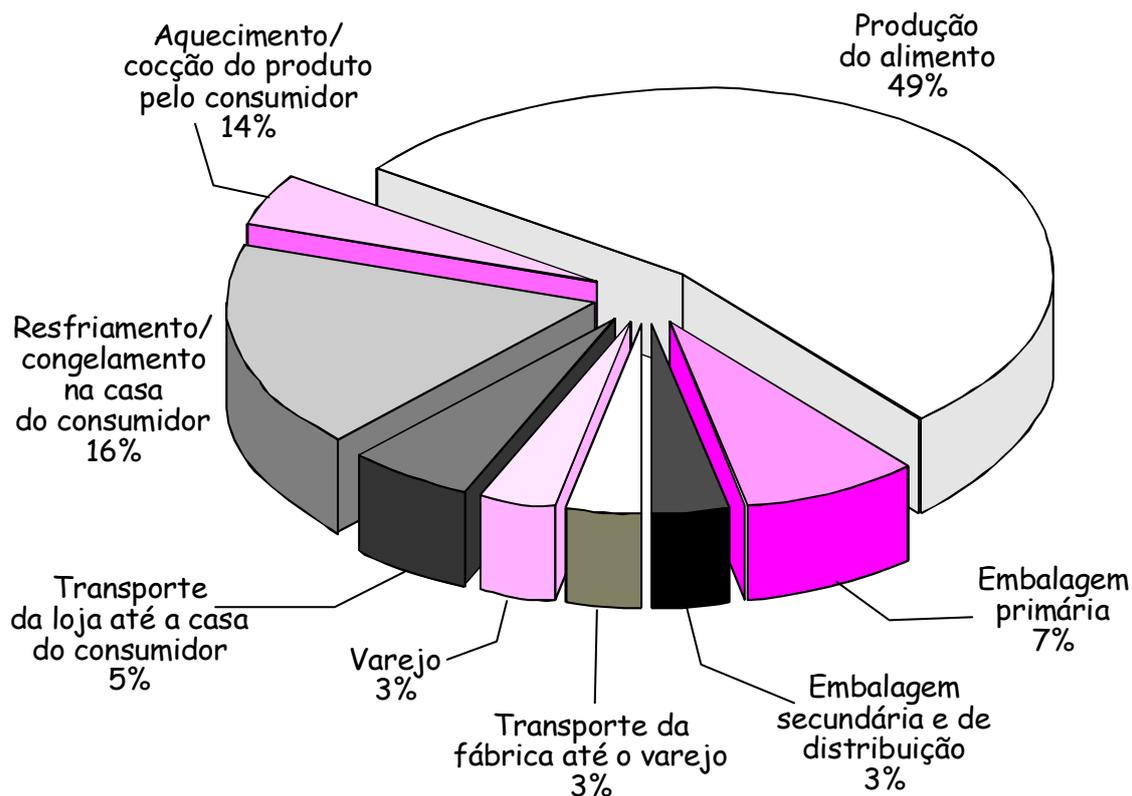


Figura 11. Uso de energia ao longo da cadeia produtiva de alimentos.

**Portanto**, pode-se concluir que a perda do alimento devido à falta de embalagem é muito mais dispendiosa do ponto de vista ambiental, uma vez que toda a energia consumida no ciclo de vida do produto também é perdida. Além disso, perde-se também o valor nutricional inerente ao alimento desperdiçado.

Vale ressaltar ainda que grande parte da perda de alimentos no Brasil é decorrência do uso de embalagens inadequadas. Tanto maior seria pelo não uso das embalagens!

Se considerarmos a realidade brasileira, com a elevada carência da população, pode-se dizer que é muito mais coerente que se trabalhe por um gerenciamento adequado do resíduo sólido

gerado pelas embalagens pós-consumo do que se dar ao luxo de perder os alimentos por falta das mesmas.

Portanto, a ACV é uma metodologia bastante poderosa para a solução de questões conflitantes, uma vez que apresenta como resultado inventários constituídos por uma gama grande de números indicativos do desempenho ambiental dos sistemas de produto em estudo, permitindo assim que se distinga o mito da realidade e se opte pelo sistema de produto, que realmente é o mais adequado do ponto de vista ambiental.

## CONSCIÊNCIA AMBIENTAL

O século XX foi muito marcante quanto ao ritmo e grau de desenvolvimento da humanidade, com um grande avanço em todas as áreas. Pode-se destacar a área da saúde que no começo do século dispunha apenas de uma medicina curativa e, com o descobrimento dos antibióticos e novas técnicas de tratamento da saúde, transformou-se em medicina preventiva, o que contribuiu para o aumento da expectativa de vida da população mundial de 40 anos (em 1900) para 68 anos (em 2000).

Como consequência, no final do século XX, a Terra apresentava seu recorde populacional - 6 bilhões de habitantes.

Este crescimento populacional foi acompanhado de uma concentração das pessoas nos centros urbanos atraídas por inúmeras indústrias que foram sendo instaladas próximo às cidades e pela redução da oferta de trabalho no campo. Isto concorreu para que novas tecnologias fossem desenvolvidas e aplicadas na agricultura e na logística de distribuição, a fim de alimentar um contingente tão grande de pessoas.

Por outro lado, todo este desenvolvimento foi acompanhado por diversos efeitos sobre o meio ambiente, tais como o aumento das emissões dos gases de combustão ( $CO_2$ ,  $NO_x$ ,  $SO_x$ , etc.), bem como do consumo de recursos naturais, energia e água.

Após a metade do século XX, começou-se a perceber que a Terra estava sofrendo uma agressão intensa, com consequentes mudanças climáticas, que passariam a ser alvo de estudos

de diversos cientistas. A partir daí começou a surgir a consciência ambiental da população.

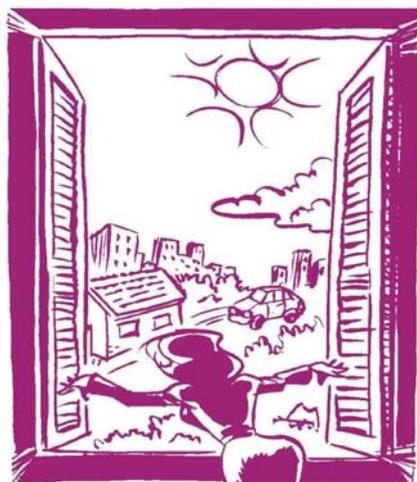
Na década de 60, nos países desenvolvidos, a preocupação com o meio ambiente estava presente como parte integrante de uma crítica mais profunda que os movimentos sociais da época faziam, principalmente entre os jovens, quanto ao estilo de vida, valores e comportamentos da sociedade consumista.

Já nas sociedades dos países menos desenvolvidos que, naquela época e ainda hoje, não conseguiam atender às necessidades básicas de sobrevivência de suas populações, tais como a eliminação da miséria, a alimentação, a educação e a saúde, a

preocupação com o meio ambiente era vista como uma excentricidade daqueles jovens cabeludos que lutavam, pacificamente, pela "paz e amor".

Por estes motivos, esta consciência surgiu inicialmente nos países desenvolvidos, como Europa, Canadá, EUA, etc., uma vez

que nestes países a população tem um maior nível cultural e maior acesso à informação. Além disso, estes países estão à frente no desenvolvimento tecnológico e, portanto, têm maior conhecimento das vantagens e problemas associados com o mesmo. Assim, os problemas ambientais foram primeiramente discutidos nos países desenvolvidos, uma vez que estes países



são responsáveis por maiores índices de poluição atmosférica decorrentes, principalmente, dos elevados níveis de consumo e industrialização.

Por outro lado, nos países em desenvolvimento ainda existem grandes distorções sociais, com grande parte da população na miséria, o que dificulta imensamente o desabrochar de uma consciência ambiental, uma vez que estas pessoas têm de se preocupar com a própria sobrevivência de maneira mais imediata.

Nestes países, as questões que se debatem são: miséria *vs* poluição ou, então, miséria *vs* extrativismo. Uma vez que a erradicação da miséria é uma necessidade básica do ser humano, as questões ambientais acabam ficando em segundo plano.

No Brasil, a população vem tomando consciência do problema ambiental devido à crescente abordagem deste tema nas escolas, mediante a promoção de debates nas salas de aula e/ou saídas de estudo do meio, com visitas dos

alunos a diversos locais para fixação do conceito estudado.

A globalização exigiu que a consciência ambiental também chegasse aos países em desenvolvimento, ainda que em menor escala, devido à influência das matrizes das multinacionais instaladas nestes países e da exigência de certificações ambientais nas relações comerciais. Assim, a tendência é que a consciência ambiental cresça em âmbito mundial.

Os estudos de ACV têm um papel fundamental na elevação da consciência ambiental por meio da comunicação, uma vez que possibilita que se tenha uma **visão geral** da interface do serviço ou produto em estudo com o meio ambiente. Ou seja, com os inventários gerados nos estudos de ACV, evidencia-se a complexidade dos temas ambientais, ampliando e enriquecendo os debates para a avaliação de um serviço ou produto, permitindo a implementação de melhoria contínua.

## EDUCAÇÃO AMBIENTAL



A história da educação ambiental remete ao século XVIII, quando Rousseau e mais tarde o educador Freinet, no início do século XX, insistiam que a exploração do meio consistia numa estratégia muito eficaz de aprendizagem. Segundo esta nova abordagem, "educar para o meio" significa ver a natureza com um olhar novo e não a encarando como algo a ser

conquistado e dominado, como ocorreu com a revolução industrial e o capitalismo.

Somente na década de 60 que grupos, entidades e algumas políticas governamentais começaram a preocupar-se com a educação ambiental, após o alerta feito pelos movimentos dos jovens rebeldes da época,

conhecidos como *hippies*. Assim, em 1968, a UNESCO registrou um total de 79 países que incluíam a educação ambiental na grade curricular e, além disso, já recomendavam a inclusão dos aspectos sociais, culturais e econômicos ao estudo biofísico do meio ambiente.

No Brasil, a educação ambiental hoje integra a grade curricular tanto das redes pública e particular de ensino quanto das mais diversas entidades, empresas e organizações não-governamentais (ONGs).

Atualmente, há diversas concepções de educação ambiental, que estão diretamente relacionadas às diferentes formas de exercê-la. Segundo SORRENTINO (1995), essas formas podem ser classificadas em quatro grandes conjuntos de temas ou objetivos da educação ambiental:

1. **Biológicos:** referem-se à proteção, conservação e preservação das espécies, do ecossistema e do planeta como um todo;
2. **Espirituais/culturais:** dedicam-se à promoção do autoconhecimento e do conhecimento do Universo, por meio de uma nova ética;
3. **Políticos:** buscam o desenvolvimento da democracia, cidadania, participação popular, diálogo e autogestão;
4. **Econômicos:** defendem a geração de

empregos em atividades "ambientais" não-exploradoras e também a autogestão e participação de grupos e indivíduos nas decisões políticas.

Assim, o autor propõe que "a educação ambiental tem por objetivo contribuir para a conservação da biodiversidade, para a autorealização individual e comunitária e para a autogestão política e econômica, por meio de processos educativos que promovam a melhoria do meio ambiente e da qualidade de vida".

Portanto, um dos grandes marcos da educação ambiental foi a inclusão do ser humano no meio ambiente. Ou seja, passou-se a considerar que o meio ambiente é mais do que o conjunto formado pelo ar, terra e água, mas também os seres vivos, inclusive o homem, são parte integrante deste.

A educação ambiental tem por objetivo mostrar que as pessoas são parte integrante do meio ambiente e que é preciso ter respeito e zelo pelo uso do mesmo, seja jogando o lixo em locais apropriados, evitando o desperdício de água, de energia, de recursos naturais, respeitando a flora e a fauna, etc.

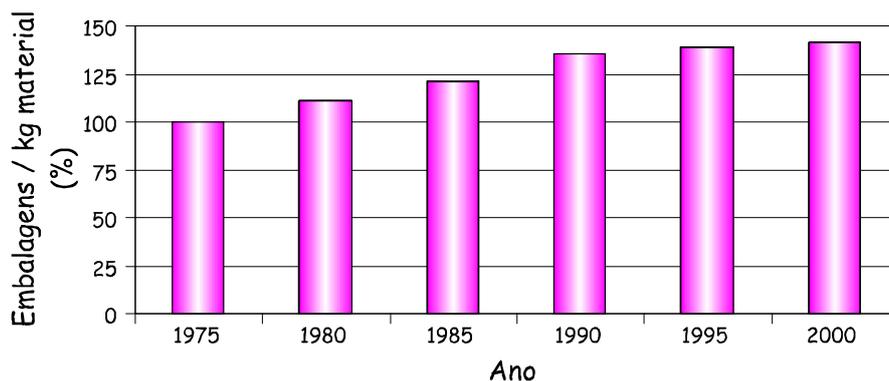
Desta forma, as novas gerações vão sendo formadas em harmonia com os conceitos de desenvolvimento sustentável apresentados no Capítulo 1 deste livro, o que permite a visualização de um futuro mais harmônico entre o homem e o meio ambiente...

## DIVULGAÇÃO DE MELHORIAS AMBIENTAIS

Em todo processo industrial é freqüente a realização de um levantamento estatístico para o acompanhamento do desempenho das diversas etapas envolvidas, que pode ser feito com diferentes critérios e de diversas formas.

Um exemplo é apresentado na Figura 12, que registra o aumento da eficiência observado para a fabricação de uma embalagem genérica.

Os resultados mostram que no decorrer dos anos o número de embalagens produzidas por uma mesma quantidade de matéria-prima cresceu constantemente, ou seja, houve redução no peso das embalagens. Esta melhoria contínua pode ser atribuída às múltiplas mudanças efetuadas no processo, incluindo o uso de novos materiais, novas ligas, embalagem e transporte.



**Figura 12.** Evolução da eficiência na fabricação de uma embalagem genérica.

De modo semelhante, as indústrias podem utilizar os dados obtidos em estudos de ACV para comunicar de forma bem mais abrangente a evolução de seu desempenho, por meio de dados que demonstrem a redução do consumo de energia e de recursos naturais, bem como a redução dos níveis de emissão associados a seus produtos, demonstrando seus esforços e as melhorias ambientais alcançadas ao longo dos anos. A seguir, é apresentada uma simulação de um estudo de ACV envolvendo a avaliação de desempenho ambiental.

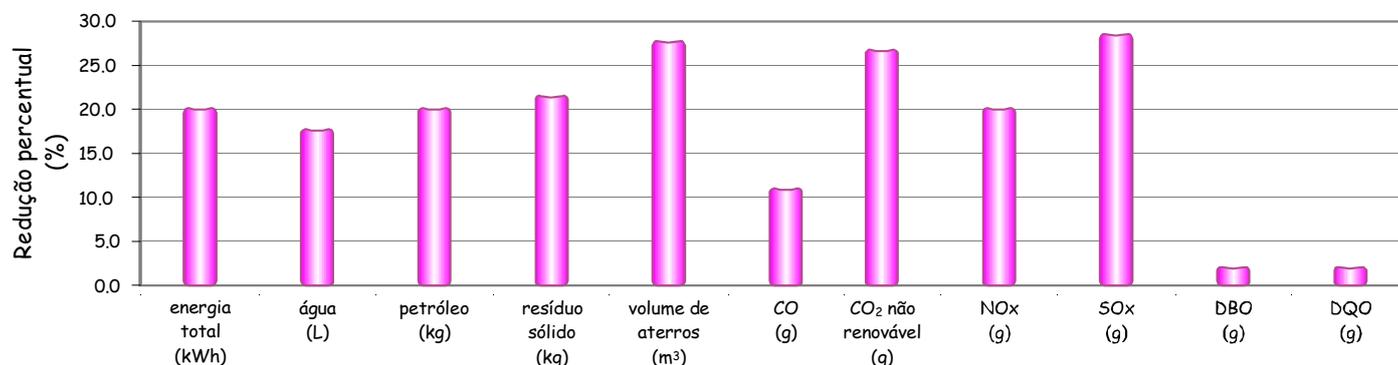


Um fabricante de um produto A realizou um estudo de ACV em 1990, a fim de verificar o desempenho ambiental de seu produto. Este estudo foi desenvolvido na forma de Análise de inventário, contendo os índices de consumo de energia, água e recursos naturais, bem como as emissões para o ar, solo e água.

sistema, a fim de melhorar os índices verificados no ICV obtido, bem como foi ampliada a taxa de reciclagem do produto estudado. Em 2000, foi realizado um novo estudo de ACV para o mesmo sistema de produto.

A partir da análise destes resultados, foi possível implementar algumas alterações no

A redução percentual dos diversos parâmetros avaliados nas duas épocas é ilustrada na Figura 13.



**Figura 13.** Redução dos níveis de consumo/emissão para alguns poluentes relativos à fabricação do produto A, no decorrer de 10 anos.

Os resultados obtidos no inventário mostram claramente as melhorias ambientais alcançadas por meio das modificações efetuadas no processo (redução da maioria dos índices avaliados), podendo ser utilizados como meio de divulgação da preocupação ambiental que norteia a atuação desta empresa.

No entanto, é importante ressaltar que as ações adotadas normalmente têm efeitos múltiplos e, às vezes, antagônicos, por exemplo, o aumento da taxa de reciclagem que pode ser acompanhado de um incremento nas emissões para a água, etc.

Neste caso, os resultados do ICV permitem que se tenha clareza dos índices que obtiveram melhora e daqueles que pioraram, possibilitando que se adotem medidas corretivas para eliminação destes índices negativos.

Portanto, a realização de **estudos de ACV periódicos** constitui-se num meio excelente para **documentar melhorias** gerando **indicadores ambientais**, uma vez que a estrutura dos inventários de ciclo de vida mostra objetivamente as melhorias implementadas.

## CAPÍTULO 7

# LIMITAÇÕES DA ACV

Embora a Avaliação do Ciclo de Vida seja uma ferramenta importante para avaliação de aspectos ambientais relacionados a um determinado produto ou serviço, é importante conhecer até onde os resultados e conclusões de um estudo de ACV se aplicam.

## FRONTEIRAS

### QUAIS AS DELIMITAÇÕES DE UM ESTUDO DE ACV?

Um estudo de Avaliação do Ciclo de Vida poderia ser inacabável pela sua extensão e abrangência de informações. Assim, para um estudo de ACV prático devem ser estabelecidas fronteiras ou limites do sistema a ser estudado. Neste caso, o sistema é representado pelo conjunto de subsistemas ou processos unitários que constitui o ciclo de vida do produto.

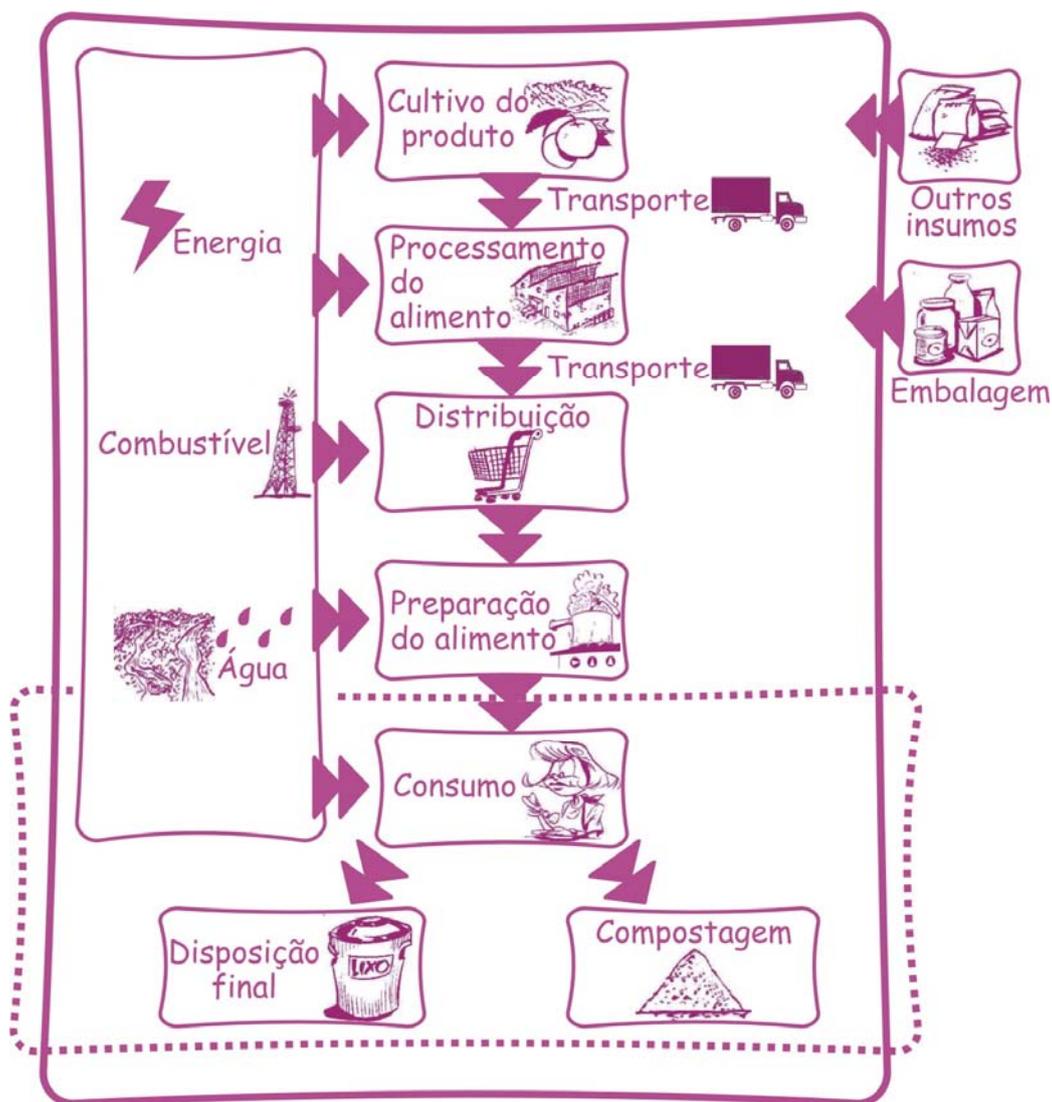
A fronteira, portanto, delimita as etapas a serem incluídas ou não no estudo proposto e deve ter como referência o objetivo e o escopo do trabalho. Logo, os resultados e as conclusões de um estudo de ACV estarão diretamente relacionados à fronteira selecionada e às considerações definidas no objetivo e escopo do trabalho, como por exemplo, a unidade funcional, a decisão de incluir ou não investimentos capitais, etc. Estes aspectos limitam e restringem as comparações entre diferentes estudos de ACV. Avaliações comparativas dentro de um mesmo sistema, no entanto, podem ser efetuadas, desde que os estudos tenham as mesmas fronteiras e considerações, podendo-se contabilizar melhorias devido à adoção de tecnologias mais limpas (redução relativa de emissões), redução no consumo de água e energia, otimização da logística de distribuição do produto ou de insumos/matérias-primas, etc.

Por exemplo, um estudo de ACV de um determinado produto alimentício pode incluir dentro da fronteira as etapas relacionadas ao cultivo do produto, processamento do alimento, transporte entre uma etapa e outra e para a

distribuição, preparo doméstico, consumo e disposição final dos resíduos, podendo ser avaliado, inclusive, o percentual descartado como resíduo sólido e o percentual do lixo orgânico submetido à compostagem<sup>1</sup>, conforme exemplificado na Figura 14. Neste exemplo, as sementes, os insumos agrícolas e a embalagem são contabilizados apenas como entrada de material, não sendo avaliados o consumo de energia, de recursos naturais e as emissões associadas ao ciclo de vida destes materiais ou insumos. No entanto, não é aconselhável a exclusão dos dados ambientais associados à captação e ao descarte de água, à geração de energia elétrica e à produção dos combustíveis utilizados nas diversas etapas do ciclo de vida do produto. Também associado a este produto, poderia ser realizado um outro estudo de ACV, porém, com uma fronteira diferente, visando a avaliação apenas da etapa de consumo e a disposição final do alimento na forma de resíduo sólido ou destinado à compostagem, com o objetivo de analisar os impactos ambientais potenciais relativos à perda e ao descarte de um determinado produto alimentício.

---

<sup>1</sup> *Compostagem* - palavra derivada do vocábulo inglês *compost*, sendo utilizada para designar fertilizantes de origem orgânica. Assim, a compostagem é uma técnica utilizada para se obter rapidamente e em condições adequadas a estabilização da matéria orgânica, transformando-a em fertilizante orgânico.



**Figura 14.** Ilustração de fronteira.

Desta forma, alguns estágios do ciclo de vida de um produto podem ser excluídos, desde que esta abordagem seja declarada e justificada de forma bastante clara, frente ao objetivo e escopo do estudo. Contudo, sempre que possível recomenda-se que sejam incluídas as seguintes etapas:

- seqüência principal do processo produtivo: todas as entradas e saídas de energia, água, recursos naturais (matéria-prima ou insumos) utilizados no ciclo de vida de um determinado produto;
- transporte e distribuição: o transporte de recebimento das matérias-primas/insumos,

algum transporte interno dentro da fronteira do estudo, bem como o transporte para distribuição do produto acabado, etc. As distâncias de transporte, o tipo de caminhão e sua capacidade de carga também devem ser incluídos no estudo;

- energia: os dados associados à geração e distribuição de energia hidrelétrica, térmica, etc., também devem ser incluídos no estudo de ACV;
- combustíveis: não devem ser excluídos da fronteira de um estudo de ACV os dados

associados à produção e ao uso dos combustíveis para geração de energia, calor e transporte utilizados no ciclo de vida do produto;

- subprodutos: todos os subprodutos gerados no ciclo de vida de um determinado produto, aproveitados internamente ou em outro ciclo produtivo, devem ser contabilizados, se possível, quanto a sua reutilização ou reaproveitamento, mesmo que não estejam dentro da fronteira selecionada;
- disposição de resíduos sólidos: todos os resíduos gerados no ciclo de vida do produto,

sejam provenientes do processo produtivo ou resíduo pós-consumo, devem ser contabilizados e associados ao seu tipo de disposição final (descarte em aterros industriais controlados, aterros sanitários, etc.).

De qualquer forma, no relato dos resultados e conclusões de um estudo de ACV é preciso deixar bem claro quais foram as fronteiras adotadas, para que este possa ser o mais transparente possível e representativo do produto ou serviço analisado.

## ABRANGÊNCIA GEOGRÁFICA

### QUAL A REPRESENTATIVIDADE DE UM ESTUDO DE ACV?

Um estudo de ACV pode ser realizado visando retratar uma situação média de um país, região, Estado, uma determinada localidade ou mesmo um único processo produtivo. O delineamento de um estudo de ACV deve ser claro a respeito de sua abrangência, pois irá refletir diretamente no tipo e no grau de detalhamento dos dados a serem levantados.

A abrangência geográfica de um estudo de ACV deve estar diretamente relacionada ao objetivo e escopo do trabalho.

A avaliação de emissões ou impactos ambientais potenciais a partir de dados médios pode, muitas vezes, não ser apropriada para a representação de um sistema específico ou de uma única planta industrial. Por exemplo, um estudo de ACV sobre a produção média de cimento no Brasil terá resultados diferentes de um estudo específico para uma determinada marca comercial de cimento. Neste segundo caso, por sua vez, serão requeridos dados mais representativos do ciclo de vida real deste produto.

Vale ressaltar também que, pelo fato dos resultados de um inventário de ACV serem função da tecnologia disponível e da logística de distribuição



de um determinado local, não é recomendado que os resultados obtidos em um estudo sejam extrapolados diretamente para outra localidade, sem que se cometa alguns equívocos.

Um fator importante de diferenciação entre estudos realizados em diferentes países para um mesmo produto ou serviço, é a matriz de geração de energia elétrica, uma vez que o rendimento médio e as emissões associadas à produção de eletricidade é função da participação de sua produção via termelétricas, hidrelétricas ou energia nuclear.

## TEMPORALIDADE OU EXTENSÃO TEMPORAL

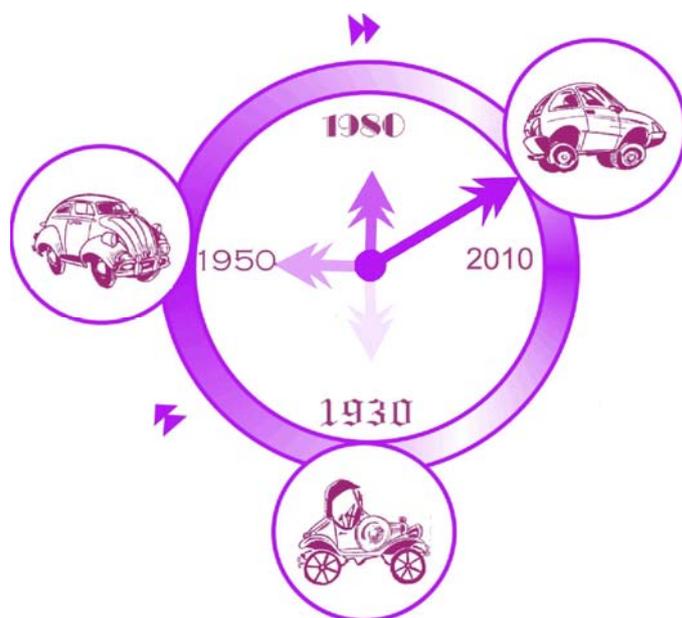
### A QUE ÉPOCA SE REFERE UM ESTUDO DE ACV?

Outro aspecto que deve ser definido juntamente com o objetivo e escopo de um estudo de ACV é a localização do estudo no tempo.

A temporalidade está relacionada ao período ou à época na qual os dados foram levantados, procurando refletir as condições, os recursos e o nível tecnológico do país ou região.

Assim, os dados levantados em um estudo realizado há 5 anos podem não representar as condições atuais, pois aspectos relacionados à aplicação de novas tecnologias, melhorias ambientais e possíveis alterações na matriz energética, muito provavelmente proporcionarão uma alteração dos dados relacionados ao ciclo de vida do produto estudado. Por se tratar de um inventário de dados dependente do período avaliado, com o passar dos anos, um determinado estudo de ACV, também se torna obsoleto. Principalmente, se o estudo utilizou alguma metodologia para avaliação de impacto ambiental que foi revista à luz de novos conhecimentos científicos.

Por outro lado, a realização de estudos de ACV periódicos aplicados a um mesmo sistema permite quantificar as melhorias ambientais alcançadas ao longo dos anos em decorrência de mudanças nos processos, na logística de abastecimento, etc.



## QUALIDADE DOS DADOS

### QUAL A CONFIABILIDADE DE UM ESTUDO DE ACV?

A fase de levantamento de dados é crucial em um estudo de ACV, sendo a etapa que mais demanda tempo. Os dados necessários para um determinado estudo de ACV estão diretamente relacionados ao objetivo e escopo definidos preliminarmente e a qualidade destes dados é fundamental para a confiabilidade e representatividade dos resultados e conclusões deste estudo.

Os dados utilizados num estudo de ACV podem ser provenientes de monitoramentos reais de um determinado processo de produção associados ao sistema estudado (situação ideal) ou podem ser calculados ou estimados por meio de estudos específicos divulgados na literatura, dados estatísticos, relatórios ambientais, etc.

A qualidade dos dados, por sua vez, é função de vários parâmetros, tais como representatividade dos dados (dados coletados de forma pontual ou representativos de médias mensais/anuais), fonte

dos dados e representatividade da fonte, variabilidade e incerteza das informações e dos métodos de medição. A qualidade dos dados está relacionada também ao objetivo e escopo do estudo, considerando os aspectos de abrangência geográfica e temporalidade definidos. Assim, estudos locais requerem grande precisão dos dados coletados, enquanto estudos regionais ou nacionais podem fazer uso de dados estatísticos setoriais.

Dados ambientais são ainda muito escassos no Brasil e, em função disso, muitos dados são ainda

estimados. É possível, no entanto, que em virtude das dificuldades encontradas na fase de levantamento de dados, seja necessária uma reavaliação do objetivo do estudo, ou seja, avaliar até onde se pode chegar com os dados disponíveis ou ainda buscar dados de melhor qualidade.

Os resultados e as conclusões de um estudo de ACV devem ser sempre avaliados frente à qualidade dos dados utilizados.

## NECESSIDADE DE COMBINAÇÃO COM OUTROS INSTRUMENTOS

### SOMENTE UM ESTUDO DE ACV NEM SEMPRE É SUFICIENTE!

A ACV é uma técnica que avalia todo o ciclo de vida de um determinado produto ou serviço, contabilizando o uso de energia, de recursos naturais e as emissões para o meio ambiente, podendo avaliar o impacto potencial desses parâmetros e, principalmente, orientar para

decisões voltadas à melhoria ambiental do sistema analisado. Entretanto, não se deve esperar que somente esta técnica subsidie o gerenciamento ambiental e a tomada de decisões, pois questões de âmbito social, tecnológico ou comercial também devem ser analisadas.



Assim, para um adequado gerenciamento ambiental é preciso que os seguintes aspectos também sejam considerados:

- viabilidade técnica - relacionada à viabilidade de fabricação de um determinado produto, considerando aspectos de eficiência do processo, segurança, etc;
- custo/benefício - avaliar até que ponto a implantação de uma determinada tecnologia permitirá a melhoria da relação custo/benefício de um determinado produto;

- segurança - relacionada à segurança humana, no trabalho, processos, etc.;
- desempenho - aspectos relacionados ao desempenho de um determinado produto em relação à aceitação ou não pelo consumidor final;
- biodiversidade - mudanças da flora e fauna em determinadas regiões devido às questões de desmatamento, alteração da flora local, etc.;
- aspectos sociais - relacionados à mudança no índice de desemprego em decorrência do aumento do nível tecnológico, alteração da qualidade de vida, etc.

A ACV deve ser encarada, contudo, como uma das ferramentas disponíveis para auxiliar:

- Na identificação de oportunidades para melhorar os aspectos ambientais de produtos ou serviços em vários pontos de seu ciclo de vida;

- Na tomada de decisões na indústria, organizações governamentais ou não-governamentais, por exemplo, planejamento estratégico, definição de prioridades ou reprojeto de produtos ou processos;
- Na seleção de indicadores pertinentes para a avaliação do desempenho ambiental, incluindo técnicas de medição; e
- No *marketing*, por exemplo, uma declaração ambiental ou rotulagem ambiental do produto.

Portanto, sempre que possível, a ACV deve ser integrada a outros instrumentos de análise, dosados e ponderados, a fim de se obter um resultado final mais completo e adequado às múltiplas facetas da realidade em que vivemos.

## CAPÍTULO 8

### A ACV E O SETOR DE CELULOSE E PAPEL

A indústria dos produtos florestais, presente no mundo inteiro, engloba diferentes atividades e produtos, desde as atividades de reflorestamento até a produção da celulose para posterior conversão e uso nos diversos tipos de papel de escrita, gráficos, de embalagem, contenção e transporte, bem como artefatos, móveis e construções em madeira.

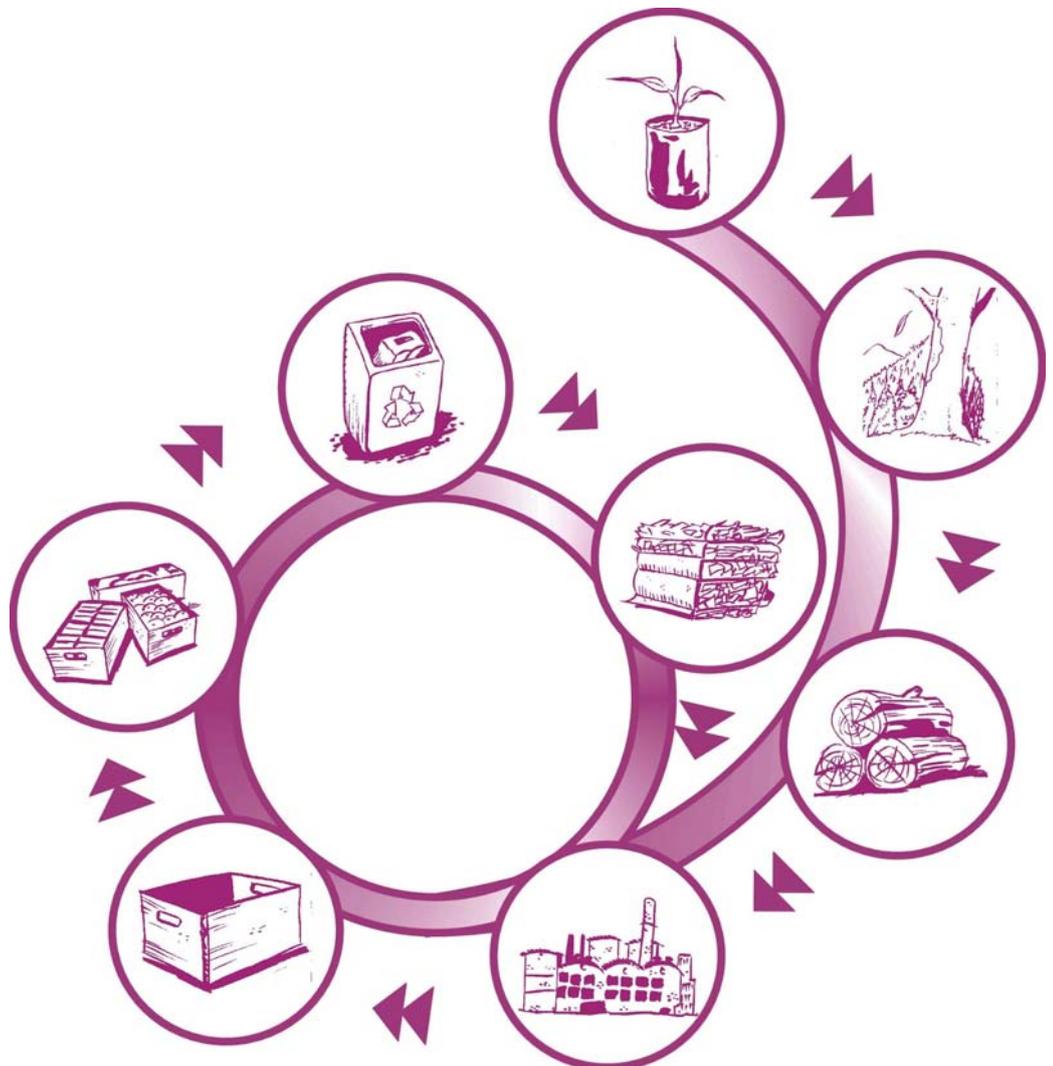
O setor caracteriza-se pelo uso de **matérias-primas renováveis**. A capacidade da regeneração da madeira nas escalas de tempo praticadas é uma característica única quando comparada a outros materiais.

Grande parte da **energia** utilizada nos processos de obtenção de celulose é **proveniente de fontes renováveis** tais como biomassa e resíduos de biomassa. Além disso, a energia elétrica no Brasil é produzida principalmente por hidrelétricas, também fontes renováveis de energia.

No Brasil e no mundo, esta é uma indústria que **apresenta elevados índices de reciclagem**. A indústria brasileira de papelão ondulado reciclou 72% do total de 1,6 milhões de toneladas de papelão ondulado fabricados em 2000. O uso de aparas, obviamente, reduz o

consumo dos recursos naturais necessários à produção da celulose a partir da madeira.

Um amplo estudo realizado pelo Conselho Comercial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (*World Business Council for Sustainable Development - WBCSD*), para avaliar o futuro da indústria de papel frente ao avanço da informação eletrônica, mostrou que esta indústria ainda deve crescer nos próximos anos.



Em 2000, o consumo de produtos à base de papelão ondulado em kg por habitante foi de 90,6 (EUA), 69,0 (Japão), 61,5 (Itália) e 43,8 (Alemanha). No Brasil, esse consumo é de 10,6 kg per capita. Nos países em desenvolvimento, o consumo de produtos de papel é da ordem de 10% do consumo verificados nos países desenvolvidos.

Sendo o papel fundamental para a saúde, educação, informação, higiene, acondicionamento de produtos, dentre outros, a perspectiva é de que o consumo cresça a longo prazo, principalmente nos países em desenvolvimento.

Dentro da perspectiva de que este desenvolvimento seja sustentável, foram sugeridas as seguintes diretrizes pelo *WBCSD*:

- otimização e melhoria dos atuais processos de obtenção de celulose;
- aperfeiçoamento tecnológico dos processos de obtenção de fibras a partir de materiais diversos da madeira (como o bambu, sisal, bagaço de cana, bracatinga<sup>1</sup>, etc.).

Por estas razões, a metodologia de avaliação do ciclo de vida é um instrumento bastante atrativo por constituir-se numa abordagem científica capaz de quantificar aspectos característicos deste setor, revelando os níveis de ecoeficiência e sustentabilidade das atividades praticadas pelas indústrias dos produtos florestais.

## APLICAÇÕES DA ACV NO SETOR CELULÓSICO

A evolução da Avaliação do Ciclo de Vida, originalmente comparativa, tem tornado este instrumento uma ferramenta importante para estabelecimento de metas de melhorias e para levantamento de indicadores ambientais no processo de obtenção de um produto ou serviço, tanto para as indústrias, consideradas isoladamente como para os setores como um todo.

## INDICADORES AMBIENTAIS

Muitos dos estudos realizados na área de celulose e papel constituem-se em Inventários de Ciclo de Vida do tipo berço ao portão (*cradle to gate*), uma vez que os maiores impactos ambientais decorrem do processo de obtenção da celulose.

Na avaliação da Tabela 3, pode-se observar, por exemplo, que o maior uso de reciclados diminui, significativamente, o consumo energético para a produção de papelão ondulado, bem como reduz as emissões para a água e para o ar.

**Tabela 3.** Alguns dados de inventários de papéis e papelão ondulado. Unidade funcional: 1000kg de produto (SAEFL, 1998).

---

<sup>1</sup> *Bracatinga* - árvore da família das leguminosas, de pequeno porte, crescimento rápido, muito utilizada para a produção de lenha.

Parâmetro	<i>Kraft</i> <sup>1</sup> pardo	<i>Kraft</i> branco	Miolo <sup>2</sup>	Test liner <sup>3</sup>	Papelão à base de reciclados	Papelão com capa branca
Consumo de energia (MJ)	34.310	53.170	30.950	30.210	34.460	42.880
Madeira (kg)	649	875	-	-	-	311
Aparas (kg)	275	15	1056	1069	1112	737
Batata/Milho (kg)	0,42/0,65 5	5,25/8,17	22,6/35,3	17,4/27,1	20,0/74,3	15,7/67,7
Efluente líquido (m <sup>3</sup> )	19,0	72,4	6,7	6,2	6,7	30,3
<b>Emissões para água:</b>						
• DBO (g)	6400	5110	211	201	261	2000
• DQO (g)	20500	28300	1220	1180	1490	11200
• Óleos/gorduras (g)	87,2	99,3	43,1	40,8	60,2	83,0
<b>Emissões para o ar:</b>						
• Particulados (g)	268	1470	136	116	155	647
• CO <sub>2</sub> não-renovável (g)	241	314	367	388	522	506
• SO <sub>x</sub> (g)	1990	1910	1300	1080	1430	1790
• NO <sub>x</sub> (g)	2140	3090	1120	995	1370	2150

Periodicamente, a FEFCO - Federação Européia de Fabricantes de Papelão Ondulado junto ao GO (*Groupment Ondulé* - Assoc. Européia de Fabricantes de Papéis para Ondulados) e o KI (Instituto Kraft - Associação Européia dos Produtores de Materiais de Papelão Ondulado à Base de Fibra Virgem) publicam um banco de dados de ACV do qual participam, aproximadamente, 20 plantas industriais instaladas na Grã-Bretanha, Irlanda do Norte, França, Bélgica e Suécia (Tabela 4).

**Tabela 4.** Alguns dados de Inventário do Ciclo de Vida de papelão ondulado e seus componentes. Unidade funcional: 1000kg de produto vendável (FEFCO, 1996).

<sup>1</sup> *Kraft* - papel caracterizado pela sua alta resistência mecânica e por grandes teores de fibra longa. Utilizado como capa na estrutura do papelão ondulado.

<sup>2</sup> *Miolo* - papel 100% reciclado, feito a partir de aparas. Corresponde ao papel colado na forma de ondas de uma chapa de papelão ondulado.

<sup>3</sup> *Test liner* - papel de resistência mecânica intermediária entre os papéis kraft e miolo. Geralmente, contém fibras curtas e longas. Utilizado como capa na estrutura do papelão ondulado.

Parâmetro	Unidade	MSQ	KP	W	T	PO
Eletricidade comprada	GJ	1,89	2,31	0,16	0,21	0
Eletricidade vendida	GJ	0	0	0/0,18 <sup>(*)</sup>	0/1,04 <sup>(*)</sup>	0
Combustíveis fósseis (gás natural, óleo combustível, diesel, GLP, carvão, turfa <sup>1</sup> )	GJ	9,1	3,05	6,97/7,69 <sup>(*)</sup>	7,69/9,19 <sup>(*)</sup>	1,84
Combustíveis renováveis (Casca e cavacos)	GJ	9,9	3,87	6,97/7,69 <sup>(*)</sup>	7,69/9,19 <sup>(*)</sup>	1,84
Madeira total	ton	0,94	1,3	0	0	nd
Água consumida	m <sup>3</sup>	nd	nd	5,9	6,1	1,1
<b>Emissões para água</b>						
Efluente total	m <sup>3</sup>	33	45	4,3	4,3	nd
DQO	kg	17	16,7	<1	<1	0,8
DBO <sub>5</sub>	kg	2,8	5,9	0,04	0,04	0,4
Sólidos suspensos	kg	2	2,1	0,03/0,01 <sup>(*)</sup>	0,04/0,01 <sup>(*)</sup>	0,1
<b>Emissões para o ar</b>						
Particulados	kg	0,45	1,58	0	0	nd
CO <sub>2</sub> (não-renovável)	kg	406	216	416/441 <sup>(*)</sup>	464/562 <sup>(*)</sup>	nd
CO <sub>2</sub> (renovável)	kg	529	1330	9/7 <sup>(*)</sup>	1,1/12 <sup>(*)</sup>	nd
NO <sub>x</sub> (como NO <sub>2</sub> )	kg	1,32	0,82	0,60/0,65 <sup>(*)</sup>	0,74/0,97 <sup>(*)</sup>	nd

Onde:

MSQ = miolo semiquímico

KP = Kraft pardo

PO = papelão ondulado

W = Wellemstoff, miolo 100% reciclado

T = Testliner

nd = não determinado

\* valor médio menos energia vendida/valor médio mais energia vendida

DBO<sub>5</sub> = demanda bioquímica de oxigênio após 5 minutos

Por meio da publicação destes dados, quaisquer melhorias podem ser acompanhadas anualmente em relação à eficiência dos processos, a exemplo de redução no consumo de energia, fechamento de circuitos para redução do consumo de água, aperfeiçoamento dos sistemas de tratamento de efluentes, redução no índice de particulados, etc.

Os valores expressos nestes inventários são excelentes indicadores ambientais, além de serem referência para a comprovação de ações voltadas à melhoria de produtos e processos numa atitude responsável e pró-ativa da indústria em relação ao meio ambiente.

## DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS/PROCESSOS

<sup>1</sup> **Turfa** - matéria esponjosa, mais ou menos escura, constituída de restos vegetais em variados graus de decomposição e que se forma dentro da água, em lugares pantanosos, onde o oxigênio é escasso.

Pela ACV pode-se avaliar os impactos ambientais potenciais relativos a produtos e processos específicos como, por exemplo, a impressão de cartuchos<sup>1</sup> pelos processos de impressão *offset*<sup>2</sup> e rotogravura<sup>3</sup>.

## PROCESSOS DE IMPRESSÃO

A Tabela 5 exemplifica Inventários Parciais do Ciclo de Vida do cartucho considerando dois processos de impressão. Neste exemplo, o inventário parcial relativo ao sistema *offset* é uma média de 6 plantas industriais que confeccionam cartuchos de diferentes tamanhos, com e sem janelas plásticas<sup>4</sup>, com áreas impressas bastante diferentes. O

inventário relativo ao processo de rotogravura, por outro lado, é resultado de apenas uma planta com tecnologia moderna.

Estes inventários são de plantas industriais suíças. A impressão *offset* pode ser utilizada tanto em pequenos como médios volumes de produção, enquanto a rotogravura é usada principalmente para grandes tiragens.

**Tabela 5.** Inventários parciais sobre os processos de impressão *offset* e rotogravura. Unidade funcional: 1000kg de cartuchos impressos (SAEFL-250, 1998).

Parâmetro	Unidade	Impressão	
		<i>Offset</i> (6 plantas)	Rotogravura (1 planta)
Cartão	kg	1198	1245
Papel	kg	52	-
Plástico	kg	4,6	-
Tintas	kg	4,1	18,7
Vernizes	kg	14,2	16,2
Solventes	kg	2,2	31,1
Água	m <sup>3</sup>	0,0025	0,11

<sup>1</sup> **Cartuchos** - embalagens de cartão (aglomerado de fibras celulósicas) como muitas das embalagens de detergente em pó, cereais em flocos, maizena, etc.

<sup>2</sup> **Offset** - sistema de impressão indireta, ou seja, o papel ou cartão não entram em contato com a matriz; esta é acoplada num dos cilindros da máquina e transfere a imagem para outro cilindro revestido de borracha (cauchu) que por sua vez imprime o suporte. As formas são metálicas e planográficas e as tintas pastosas e gordurosas.

<sup>3</sup> **Rotogravura** - sistema de impressão direta, que imprime através de formas metálicas cilíndricas rotativas gravadas em baixo relevo. As tintas são líquidas, à base de água ou solventes voláteis, como o xileno, álcool ou mistura de solventes (*thinner*), que é o mais utilizado.

<sup>4</sup> **Janelas plásticas** - áreas recortadas dos cartuchos, as quais são substituídas por filme plástico para visualização do produto contido dentro da embalagem.

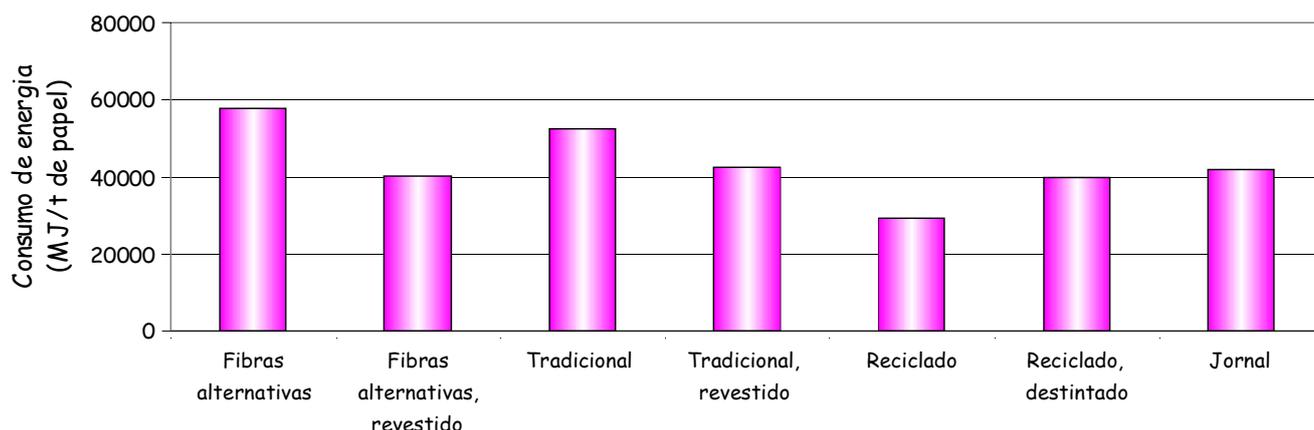
Energia elétrica	kWh	325	640
<b>Combustíveis</b>			
• Propano	kg	0,1	-
• Diesel	kg	2	-
• Gás natural	m <sup>3</sup>	-	0,04
<b>Emissões para o ar</b>			
• NH <sub>3</sub>	kg	0,071	0,0004
• COVs (compostos orgânicos voláteis)	kg	1,341	0
• NO <sub>x</sub>	kg	-	0,22
• CO <sub>2</sub> (não-renovável)	kg	-	45,8
<b>Emissões para água</b>			
• COT - (carbono orgânico total)	kg	0 - 0,07	0,05
• Pb	g	-	0,012
• Outros metais	g	-	0,037

Os consumos e emissões são bastante dependentes do formato, tamanho, área impressa do cartucho e dos equipamentos de cada gráfica. Todos estes fatores devem ser convenientemente ponderados na definição de um tipo de impressão.

## PAPÉIS GRÁFICOS

Num estudo de ACV, o consumo energético é um parâmetro bastante importante, uma vez que reflete não apenas a necessidade de energia em si, como também os recursos naturais necessários à obtenção dessa energia (Figura 15). Além disso, grande parte das emissões para o ar são decorrentes dos processos de combustão para geração de energia, calor ou trabalho.

A avaliação destes parâmetros é sem dúvida importante no processo de desenvolvimento de produtos à base de papéis.



Tipo de papel	Plantas (Suíça)	Característica do processo
Fibras alternativas	2	Polpa sulfato e sulfito branqueada
Fibras alternativas, revestido	1	Polpa sulfato e sulfito branqueada, com revestimento
Tradicional	1	PTM, pequena quantidade de polpa sulfato branqueada
Tradicional, revestido	1	PMR, pequena quantidade de polpa sulfato, com revestimento
Reciclado	1	Fibras recicladas, circuito de água totalmente fechado
Reciclado, destintado	1	Aparas destintadas, pequena quantidade de polpa sulfato branqueada
Jornal	1	Aparas destintadas, PTM

Onde: PTM = polpa termomecânica

PMR = polpa mecânica refinada

**Figura 15.** Consumo energético na ACV de diferentes papéis gráficos. Unidade funcional: 1000kg de papel (SAEFL-250, 1998).

## ROTULAGEM AMBIENTAL

Como exemplificado no item "Rotulagem Ambiental" do Capítulo 5, esta é uma das importantes aplicações da ACV para o setor celulósico.

O incentivo para aquisição de produtos à base de papéis reciclados como nos EUA, por meio do *Wastewise Program*, e na Alemanha, onde somente produtos à base de papéis reciclados foram categorizados no processo de rotulagem

ambiental para aquisição do *Blue Angel* tem sido um fator decisivo para o aumento do consumo destes produtos. A compra de produtos à base de papéis reciclados tornou-se um tema muito importante, tanto nas instituições governamentais como privadas. A participação de reciclado no setor de "papéis para escrita" cresce continuamente e, hoje, representa 40-50% do mercado total nestes países.

## INFORMAÇÃO/EDUCAÇÃO AMBIENTAL

A Avaliação do Ciclo de Vida é um excelente instrumento para comunicação de aspectos ambientais à comunidade.

O estudo intitulado *Life Cycle Assessment for Paper and Packaging Waste Management in Victoria*, realizado por três universidades australianas, ilustra a redução de impactos ambientais promovida pela reciclagem de papel em relação à simples disposição final em aterro.

O estudo demonstra que, a cada semana, toda casa em Victoria, ao reciclar:

- Evita a emissão de cerca de 3kg de gases que causam efeito estufa como o  $CO_2$ ;
- Economiza eletricidade suficiente para manter acesa uma lâmpada de 40W por 72 horas;
- Evita poluição atmosférica equivalente a uma viagem média de 4,5km em carros de passeio;
- Economiza aproximadamente 90 litros de água, suficientes para lavar louças de 5 refeições;
- Reduz em 3,6kg o resíduo sólido.

## FUTUROS ESTUDOS DE ACV

Em função da grande verticalização deste setor, ou seja, a maioria das empresas operam desde a produção da matéria-prima até a sua transformação, no Brasil, este setor é ambientalmente bem organizado, apresentando contínua melhoria ao longo de sua história.

É importante que o setor, traduza seu desempenho ambiental numa linguagem internacionalmente bem conceituada e aceita,

ou seja, por meio de dados gerados por estudos de Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos.

Outro aspecto que merece destaque é a necessidade de se contabilizar, em termos de ACV, a utilização dos diversos tipos de resíduos de papel, subsídio importante em discussões setoriais relativas à legislação de resíduos sólidos.

Muito ainda há que se fazer para levantar dados ambientais e expressá-los em função da sua importância para a sociedade (novas unidades funcionais), como por exemplo:

- número de crianças/pessoas alfabetizadas por meio de livros;
- quantidade de alimentos básicos transportados pelas embalagens celulósicas;
- casas e móveis construídos, etc., etc.

## CAPÍTULO 9

# TRANSPORTE: MODALIDADES E DISTÂNCIAS

## MODAIS DE TRANSPORTE

A atividade de transporte de carga e de passageiros é essencial ao desenvolvimento econômico e social, em função da sua capacidade de integrar as pessoas e os mercados em seus mais diversos espaços geográficos, gerando melhor qualidade de vida para a população. O exercício dessa atividade de integração, no entanto, acaba acarretando sérios efeitos sobre o meio ambiente.

**Então, o que é possível fazer no sentido de diminuir a poluição proveniente da atividade de transporte de cargas?**

Em praticamente todas as reflexões acerca dos impactos ambientais provocados pela movimentação de pessoas e produtos, a queima de combustíveis fósseis surge em primeiro plano, principalmente em função das emissões provocadas pelos veículos automotores.

Uma utilização racional, integrada e interdependente dos modais de transporte<sup>1</sup>, permitiria que o uso eficiente de cada um refletisse na eficiência global do sistema, levando à economia significativa no consumo de combustíveis e a uma redução nas emissões atmosféricas.

Os diferentes modais de transporte são os seguintes:

- Rodoviário - transporte efetuado por caminhões e carretas;
- Ferroviário - transporte efetuado por trem;

- Dutoviário - transporte efetuado por meio de dutos;
- Aéreo - transporte efetuado por aviões;
- Aquaviário - transporte efetuado por navios e que contempla as seguintes modalidades:
  - Transporte Fluvial - navegação praticada em rios;
  - Transporte Lacustre - navegação realizada em lagos;
  - Transporte Marítimo - navegação realizada em oceanos e mares.

Destes modais de transporte, o Brasil utiliza principalmente o rodoviário e o ferroviário para o transporte interno, enquanto os transportes marítimo e aéreo são empregados para as atividades de exportação. Apesar da imensa quantidade de rios, o transporte fluvial ainda é pouco significativo, enquanto o lacustre se restringe apenas às atividades de recreação (Tabela 6).

**Mas como identificar as melhores alternativas de transporte?**

Considerando-se o planejamento de uma operação logística, três atividades despontam como primordiais:

- identificação das características da carga;
- preparação da carga para o transporte;
- análise de opções de meios de transporte.

---

<sup>1</sup> *Modal de transporte - modalidade ou tipo de transporte.*

**Tabela 6.** Evolução da distribuição intermodal de cargas no Brasil (%) (GEIPOT, 2000).

MODO DE TRANSPORTE	1996	1997	1998	1999	2000
Aéreo	0,33	0,26	0,31	0,31	0,33
Aquaviário	11,47	11,56	12,69	13,19	13,86
Dutoviário	3,78	4,55	4,44	4,61	4,46
Ferroviário	20,74	20,72	19,99	19,60	20,86
Rodoviário	63,68	62,91	62,57	62,29	60,49

As cargas, em geral, caracterizam-se por uma variedade muito grande de produtos, que podem ser transportados de diferentes modos. No processo de avaliação da carga, deve-se apurar questões como perecibilidade, fragilidade, periculosidade, dimensões e pesos, entre outros.

A necessidade de refrigeração, de embalagens reforçadas, manuseio cuidadoso e tratamento diferenciado por parte dos transportadores são, por exemplo, fatores que exigem um prévio conhecimento das restrições impostas pelo modal.

E por último, a escolha do modal que considera, entre outras coisas, os tipos de cargas, de embalagens e de meios de transporte. Diversas são as variáveis que entram nesse processo decisório. A relação peso/volume, distância de movimentação e utilização de transporte intramodal são algumas das variáveis usualmente consideradas nessa análise. Cada modal possui diferentes características que determinam sua adequação ao transporte de cargas específicas.

Em geral, o modal é escolhido com base nos seguintes requisitos:

- disponibilidade;
- velocidade de entrega;
- confiabilidade de entrega;
- perecibilidade do produto;
- custos de transporte;
- segurança de transporte;
- flexibilidade de rota.

**Vale ressaltar que** a adequada utilização dos modais, baseada em estudos de desempenho ambiental, considerando-se a eficiência do meio de transporte e o ciclo de vida do combustível utilizado, pode reduzir significativamente a carga ambiental associada ao produto transportado.

Portanto, é importante a consideração da componente ambiental no processo de escolha dos meios de transporte a serem utilizados para a movimentação de cargas. E isto pode ser feito eficientemente por meio de estudos de ACV.

Supondo que os demais fatores relevantes à seleção de modais foram anteriormente analisados e que se deseja uma avaliação do desempenho ambiental das alternativas de transporte, tem-se como exemplo a seguinte situação: um determinado produto A é produzido em São Paulo e tem seu principal mercado consumidor no Paraná.

Para a produção e comercialização deste produto, foram identificadas as seguintes alternativas:

**Cenário 1** - transporte por via ferroviária de 10.000kg do produto A de São Paulo para o Paraná (530km).

**Cenário 2** - transporte por via rodoviária de 10.000kg do produto A de São Paulo para o Paraná (530km).

Foram considerados nestes cenários os dois modais mais utilizados no Brasil, **rodoviário** e **ferroviário**, em função da característica nacional de utilização destes modais para o transporte de cargas, conforme apresentado no Tabela 6.

Para uma avaliação de desempenho ambiental é necessário considerar alguns parâmetros, tais como:

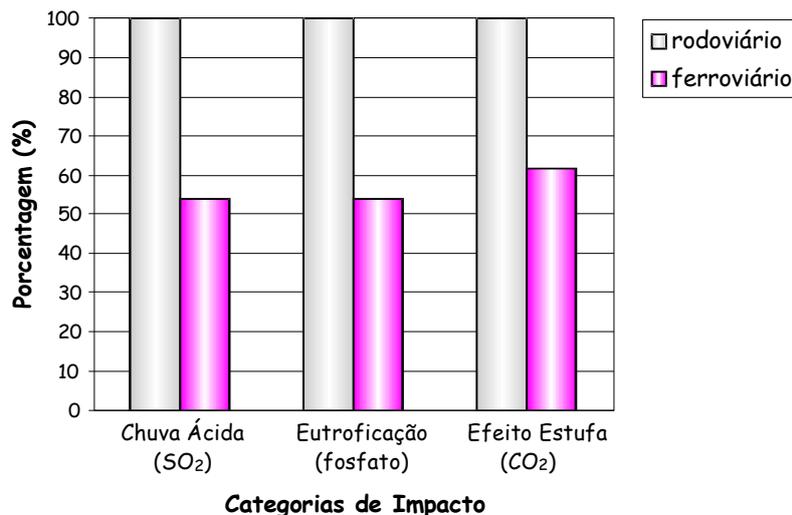
- consumo de combustível e o seu ciclo de vida - além do consumo de combustível estar diretamente relacionado ao tipo e meio empregado para o transporte, os dados de transporte para um estudo de ciclo de vida englobam também a etapa de produção do combustível desde a extração do petróleo até o seu refino, à qual também estão associados o consumo de energia e de água e a geração de emissões diversas;
- emissões - as emissões para o ar oriundas da queima de combustível durante o transporte dependem basicamente do tipo de combustível empregado, tipo de motor, manutenção e, no caso de caminhões, até mesmo do motorista;
- eficiência do transporte - a eficiência do transporte está relacionada com:
  - quantidade de combustível consumida (quanto menos melhor),
  - unidade de carga transportada (deve ser maximizada) - depende do uso e da densidade aparente da carga,

- otimização do uso do caminhão (evitando retornos vazios após a entrega da carga),
- características do produto transportado (produto líquido, pastoso, concentrado, etc.).

É possível, por meio da aplicação da metodologia de ACV, identificar e quantificar os impactos ambientais potenciais associados a cada modal de transporte, permitindo ao gestor identificar a alternativa de menor impacto ambiental.

Como pode ser observado na Figura 16, ficam evidentes as diferenças entre as emissões associadas aos dois meios de transporte analisados no exemplo. Nesta figura estão contabilizadas todas as emissões do ciclo de vida do produto A, desde a sua manufatura, incluindo o transporte das matérias-primas vindas dos EUA, processamento, até a entrega do produto no Paraná.

Comprova-se, portanto, uma menor carga poluidora pela opção do modal ferroviário, principalmente com relação à emissão de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e gás carbônico (CO<sub>2</sub>), diminuindo consideravelmente o impacto ambiental associado ao produto transportado.



**Figura 16.** Influência do tipo de transporte no ICV para a movimentação 10.000kg do produto A de São Paulo para o Paraná (530km).

Portanto, a consideração da contribuição dos impactos referentes ao processo de transporte deve ser tratada com muito cuidado, observando-se desde a escolha de fornecedores, em função da sua localização, até mesmo a forma de acondicionamento do produto, para que ele se adeqüe a um ou outro modal de transporte que cause menor efeito sobre o meio ambiente.

## EFEITO DAS DISTÂNCIAS DE TRANSPORTE

O transporte de cargas no Brasil é feito predominantemente por caminhões, sendo que mais de 50% da frota economicamente ativa é formada por caminhões de médio porte e idade média superior a 10 anos, de acordo com os dados obtidos junto a CNT - Confederação Nacional de Transporte (Tabela 7).

**Tabela 7.** Frota de caminhões economicamente ativos em 1996 (CONFEDERAÇÃO..., 1998).

Tonelagem	Leve	Médio	Pesado
Participação (%)	27,3	52,0	19,1
Idade média (anos)	8,35	11,15	8,06

Este perfil da frota influencia diretamente o consumo médio de combustível, uma vez que o mesmo depende dos diferentes tipos de caminhão. Os caminhões pesados consomem mais combustível por quilômetro rodado, porém

transportam uma carga maior, o que normalmente compensa seu maior consumo se a capacidade de carga for utilizada eficientemente.

### Como saber qual a contribuição do transporte no ICV de um produto?

Para responder esta questão, deve-se levar em conta vários aspectos:

Considerando-se todos estes fatores e empregando-se a metodologia de ACV, pode-se visualizar a influência das distâncias de transporte e da capacidade de carga do caminhão sobre o ICV de um determinado produto por meio das seguintes situações:

- Situação 1** - o produto A foi fabricado em São Paulo e distribuído por via rodoviária para Manaus (3971km) e para o Rio de Janeiro (429km), com utilização de **90% da capacidade de carga** do caminhão;
- Situação 2** - o produto A foi fabricado em São Paulo e distribuído por via rodoviária para Salvador (1.962km), com utilização de **50% da capacidade de carga** do caminhão.



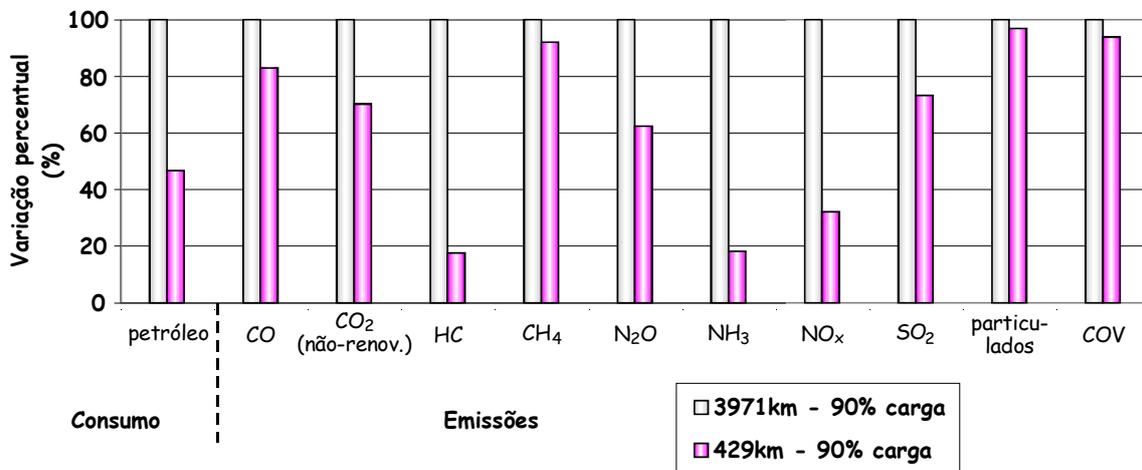
## Qual o efeito destes transportes no inventário de ciclo de vida - ICV do produto?

Considerando-se apenas o efeito da **distância de transporte** (Situação 1) e usando o Modelo de Transporte de Cargas desenvolvido no CETEA, obtém-se uma comparação dos índices de consumo/emissão em relação a alguns parâmetros do ICV, conforme apresentado na Figura 17.

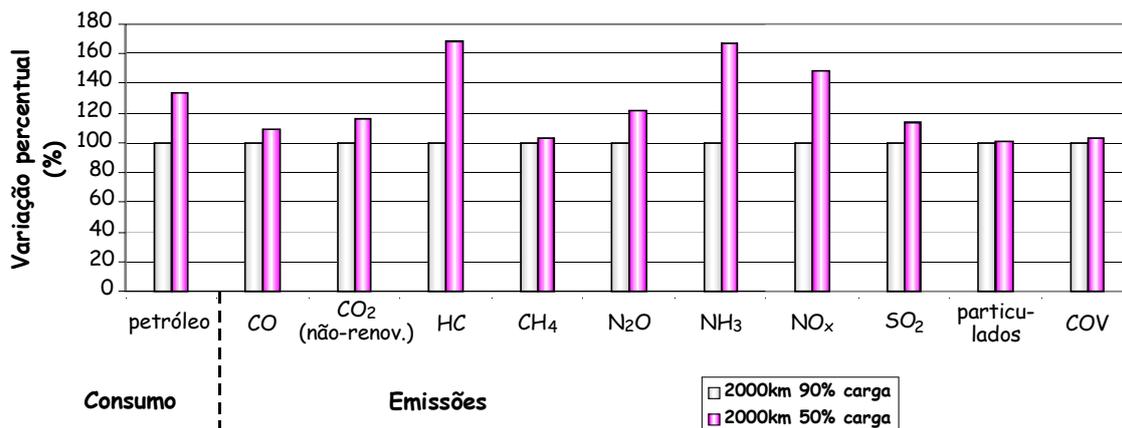
Esta Figura 17 ilustra a redução percentual dos diversos parâmetros associados ao transporte do produto A nos dois percursos selecionados. Assim, pode-se destacar que o menor consumo de combustível (petróleo) verificado no trajeto

de menor distância é acompanhado por uma redução dos níveis de emissão de poluentes para o ar, principalmente de hidrocarbonetos (HC), amônia (NH<sub>3</sub>) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>). Por outro lado, o efeito da distância é menos acentuado para a emissão de material particulado, compostos orgânicos voláteis (COV) e metano (CH<sub>4</sub>).

Na Figura 18, pode-se visualizar o efeito que a utilização da **capacidade de carga** do caminhão representa no ICV do produto A (Situação 2).



**Figura 17.** Influência da distância de transporte no ICV para a fabricação e distribuição de 1000kg do produto A em um mesmo tipo de caminhão, com utilização de 90% da capacidade de carga.



**Figura 18.** Influência da utilização de diferentes capacidades de carga para um mesmo tipo de caminhão no ICV, obtido para a fabricação e distribuição de 1000kg do produto A numa distância de 2000km.

No caso do ICV do produto A, a subutilização da capacidade de carga do caminhão (50%) traz como consequência um maior consumo relativo de combustível (derivado do petróleo), com aumento dos níveis de emissão de poluentes para o ar, principalmente de hidrocarbonetos (HC), amônia (NH<sub>3</sub>) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e menor efeito sobre a emissão de material particulado, compostos orgânicos voláteis (COVs) e metano (CH<sub>4</sub>).

**Portanto**, a subutilização da capacidade de carga tem os mesmos efeitos nos índices de emissão de poluentes que o aumento da distância de transporte. Desse modo, fica claro a grande importância de se otimizar o uso da capacidade de carga do transporte para a distribuição dos produtos, independentemente do tipo de transporte adotado.

Apesar da variação percentual da emissão de CO<sub>2</sub> não ser a mais pronunciada para as simulações do ICV do Produto A, vale ressaltar que a emissão de CO<sub>2</sub> é uma das principais contribuições do transporte, uma vez que sua emissão real, neste exemplo, foi bem maior do que as demais emissões atmosféricas.

É importante salientar que o CO<sub>2</sub> é um dos principais causadores do efeito estufa. Assim, toda alteração feita nas etapas de transporte que minimizem a emissão de CO<sub>2</sub> são bem vindas. Nos exemplos apresentados, isto é conseguido pela adoção de menores distâncias de distribuição e da maximização do uso da capacidade de carga do meio de transporte.

Tomando-se como exemplo o transporte entre a região Sudeste e o Nordeste, com uma distância média de 3000km, algumas vezes, o transporte pode representar cerca de 50% do consumo de energia e das emissões para o ar associados a um produto.

Portanto, é muito importante que os índices de emissão de poluentes, em função do transporte rodoviário, sejam considerado com bastante critério ao se levantar dados sobre qualquer produto/serviço, uma vez que o Brasil tem dimensões continentais e o transporte entre regiões é inevitável.

Para tanto, a ACV mostra-se uma ferramenta muito útil, permitindo que se tenha clareza do desempenho de diferentes meios de transporte, de diferentes capacidades de carga e de seu efeito na logística de distribuição.

**Assim**, fica clara a importância de se realizar estudos de ACV de produtos e serviços no Brasil, visando:

- otimização da logística de distribuição, inclusive transportando outros produtos no retorno do caminhão, o que representa vantagens financeiras e ambientais;
- redução da idade média da frota - caminhões velhos e sem manutenção contribuem para o aumento do consumo de combustível e das emissões para o ar;
- fiscalização das emissões atmosféricas dos caminhões - a fim de verificar se a Legislação está sendo obedecida quanto aos limites toleráveis de emissões.

Portanto, com o auxílio da ACV pode-se obter informações ambientais efetivas para a avaliação dos diferentes tipos e rotas de transporte, podendo-se otimizar o sistema de transporte e distribuição e contribuir para um melhor entendimento dos fatores que determinam o desempenho ambiental do produto ou serviço.

## CAPÍTULO 10

# ACV NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

Desde que o homem começou a negociar para melhorar sua qualidade de vida, surgiu a necessidade de transportar. Derivada do latim, a palavra "transporte" significa "carregar para o outro lado".

A indústria automotiva, responsável por 60% do transporte de cargas e 96% do transporte de passageiros, representa uma das mais importantes parcelas da economia nacional. Em 2000, o investimento médio neste setor foi cerca de 1,6 bilhão de dólares e seu faturamento correspondeu a 10,2% do PIB industrial brasileiro.

Responsável por grande parcela da atividade industrial do país e, tendo produzido em 2001, cerca de 1,8 bilhão de unidades automotoras (automóveis, caminhões e ônibus), o setor vem desenvolvendo e aplicando tecnologias inovadoras com o objetivo de atender as novas tendências e exigências do mercado globalizado.

Com o aumento da conscientização da sociedade, pressão de clientes e de organizações ambientalistas, surgimento de mercados "verdes" e de normas internacionais na área de qualidade ambiental, cresceu a necessidade de se fabricar produtos de maneira mais racional e condizente com a preservação ambiental, criando alternativas mais "limpas" para o uso de recursos, processos produtivos, aplicação e descarte de produtos, de modo a promover uma melhoria do desempenho ambiental global das atividades produtivas.

Diante deste quadro, cresce a exigência do mercado mundial quanto à mudança de postura das empresas em relação ao meio ambiente. Começa-se a perceber a necessidade de uma nova política ambiental no meio industrial que vá além da medição de efluentes, consumo de recursos ou destinação de resíduos. Assim, as

empresas devem partir dos efeitos reais de cada fluxo e da análise de todas as etapas da vida do produto fabricado: extração e processamento das matérias-primas, fabricação, transporte, uso e disposição final.

Nesse contexto, a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida desponta como ferramenta ideal para a análise integrada de produtos, permitindo identificar os impactos ambientais potenciais relacionados a cada uma das etapas do ciclo de vida, sendo possível, desta forma, identificar oportunidades de melhoria, para tornar o produto ambientalmente mais correto e mais competitivo.

### **Como a indústria automotiva pode melhorar seu desempenho ambiental?**

Segundo listagem oficial do INMETRO, tem crescido o número de montadoras que têm implementado sistemas de gerenciamento ambiental e que são certificadas pela norma NBR ISO 14001, fato que reflete a crescente preocupação e investimento do segmento na preservação ambiental.

No Brasil e no mundo as empresas estão investindo em novas tecnologias e ferramentas para:

- desenvolver veículos mais leves, com redução no consumo de matérias-primas e de combustível;
- otimizar seus processos produtivos - reduzindo consumo de materiais e geração de resíduos;
- utilizar materiais com um menor impacto ambiental;
- operacionalizar melhorias contínuas;
- desenvolver técnicas que facilitem a desmontagem e reciclagem de componentes.

## O que pode ser melhorado?

A metodologia de ACV é um instrumento capaz de demonstrar o desempenho ambiental de um produto, por meio da identificação e quantificação de aspectos relevantes em cada uma das etapas do ciclo de vida de veículos. A ACV revela e evidencia quais são os pontos críticos que requerem prioridade de ações, pois num setor dinâmico como o automobilístico, no qual a realidade se modifica com muita velocidade, é imprescindível o adequado investimento de recursos, mão-de-obra e tempo.

Em geral, o impacto ambiental de veículos está associado aos poluentes atmosféricos gerados na etapa de uso, mas é necessário considerar a depleção dos recursos naturais requeridos nas etapas de fabricação e uso.

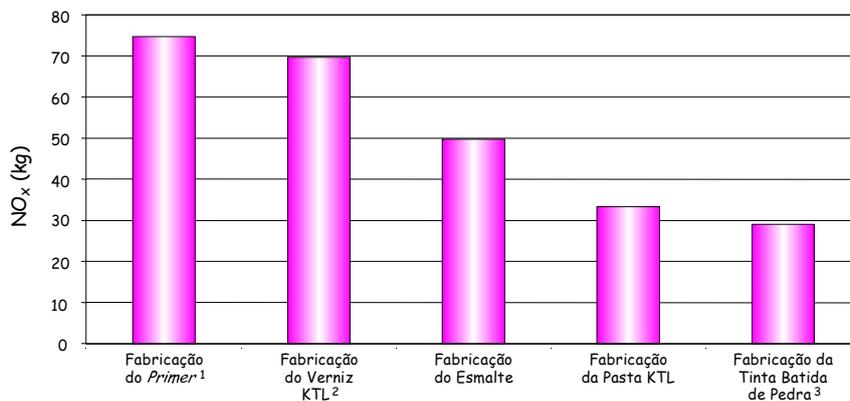
Na fabricação de veículos, o impacto ambiental está ligado à escolha dos materiais e à eficiência dos processos produtivos. Durante a vida-útil, grande parte dos veículos automotivos utilizam combustíveis de fontes não-renováveis que, ao serem queimados, geram gases que são emitidos para a atmosfera. Após sua vida-útil, na fase de descarte, um gerenciamento inadequado dos resíduos pode provocar a contaminação do solo, ar e água.

**Particularmente**, o setor automotivo está ligado a uma complexa rede de fornecedores e um gerenciamento ambiental adequado exige a consideração de toda a cadeia produtiva.

Os resultados expressos num Inventário do Ciclo de Vida são importantes indicadores ambientais a serem considerados na elaboração de objetivos e metas empresariais.

A divulgação de inventários periódicos pode indicar, por meio da avaliação dos indicadores, o ganho ambiental alcançado com a introdução de melhorias e mostrar o compromisso da empresa com a preservação ambiental.

A Figura 19 mostra que o impacto ambiental pode não estar necessariamente no processo produtivo analisado, mas sim nas etapas de fabricação das matérias-primas e dos insumos utilizados. Neste exemplo é mostrado que o desenvolvimento de novas práticas, voltadas à qualidade ambiental, deve considerar toda a cadeia produtiva, incluindo fornecedores diretos e indiretos.



**Figura 19.** Identificação das etapas críticas de emissão de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) na fabricação de diferentes tintas utilizadas na pintura automotiva.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *primer* - pintura de fundo. A finalidade desta aplicação é obter na carroceria uma maior resistência à corrosão, pela batida de pedras ou corpos estranhos e proporcionar um melhor aspecto visual da pintura final.

<sup>2</sup> *KTL* - Kathodisch Teich Lackierung - pintura por imersão catódica.

<sup>3</sup> *Batida de pedra* - tinta aplicada na parte inferior dos veículos com a finalidade de proteger contra a batida de pedra, evitando a corrosão.

Empresas europeias e norte-americanas têm considerado as questões ambientais como estratégicas, ao lado das questões tecnológicas e econômicas, obtendo-se redução no consumo de recursos naturais, além do aumento da aceitação de seus produtos pelos clientes e melhoria da competitividade.

Neste contexto, a DaimlerChrysler AG, empresa do ramo automobilístico, utilizou a metodologia de ACV para avaliar diferentes alternativas de materiais para confecção de um componente veicular, com a finalidade de melhorar a qualidade ambiental de seus produtos.

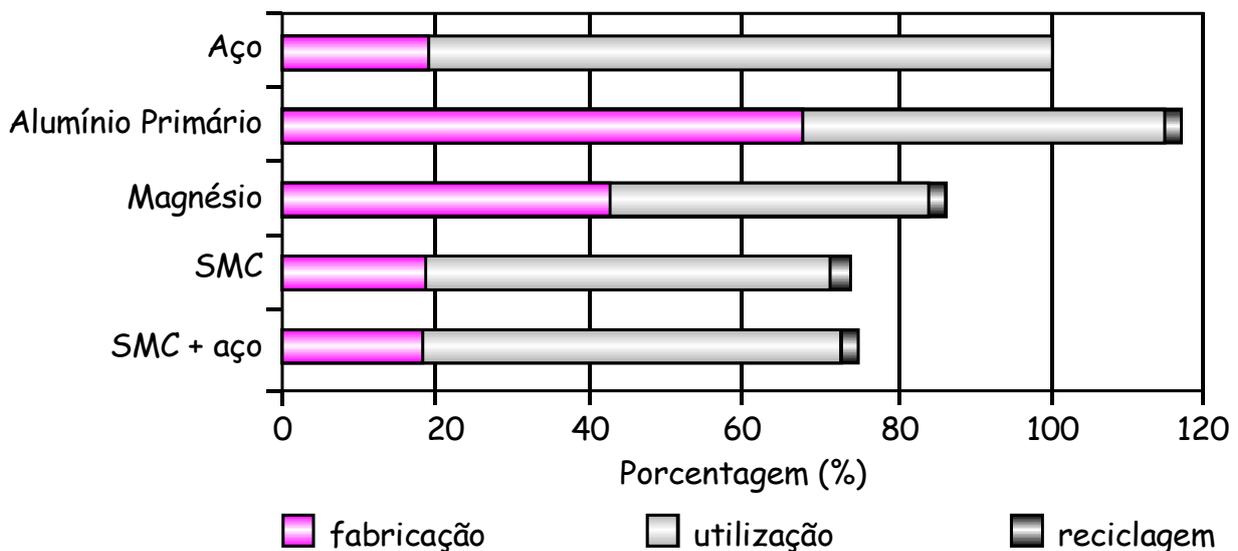
Neste estudo foram consideradas as etapas de fabricação, utilização e reciclagem de peças.

As alternativas de material avaliadas foram:

- Aço
- Alumínio primário
- Magnésio
- SMC<sup>1</sup>
- SMC + aço

O consumo energético é um dos principais aspectos do ciclo de vida de um produto, pois está relacionado ao consumo de recursos naturais renováveis e não-renováveis e geração de emissões.

Na Figura 20 são apresentados os resultados referentes ao consumo energético obtidos neste estudo. Estes dados fornecem ao gestor ambiental subsídios científicos e concretos, necessários nos processos de tomada de decisão, podendo selecionar dentre os materiais analisados, o de menor consumo energético.



**Figura 20.** Consumo energético para diferentes alternativas de materiais utilizados na confecção de 1 peça de um automóvel.

Considerando-se os atuais níveis de utilização dos recursos naturais, estima-se que vários dos insumos de fontes não-renováveis, largamente

utilizados nos processos produtivos, não estarão mais disponíveis nos próximos anos, tornando-se necessária a identificação de

<sup>1</sup> **SMC** - Sheet Molding Compound. Combinação de fios de vidro cortados e resina de poliéster com carga, na forma de manta pré-impregnada

alternativas a estes materiais.

Neste contexto, tem-se avaliado o potencial de aplicação de matérias-primas de fontes naturais renováveis na produção de componentes de veículos comerciais, como as fibras naturais (côco, sisal, curauá, juta, etc.) e os polióis<sup>1</sup> (óleo de mamona).

### **A utilização de materiais naturais melhora o desempenho ambiental?**

Essa pergunta só pode ser respondida se forem contabilizados todos os impactos ambientais associados a todas as etapas do ciclo de vida destes materiais. Para tanto, os seguintes aspectos devem ser observados:

- consumo de energia e recursos naturais;
- dados ambientais associados ao cultivo das fontes de matérias-primas renováveis, desde o plantio até seu processamento;
- logística e consumo de combustíveis considerando-se todas as etapas do seu ciclo de vida, ou seja, desde sua extração, processamento até sua utilização;
- consumo de energia e recursos naturais durante a utilização do produto;
- aplicação e destino dos resíduos após o descarte do produto.

O estudo realizado pela DaimlerChrysler do Brasil constitui-se num exemplo de aplicação da ACV como ferramenta para avaliação do desempenho ambiental de materiais. Este estudo, desenvolvido para avaliar uma peça de revestimento interno de um veículo comercial para transporte de cargas, foi modelado para atender aos seguintes objetivos:

- avaliar o desempenho ambiental de diferentes materiais (fontes renováveis e

não-renováveis);

- incentivar a aplicação de materiais naturais na indústria automobilística;
- mostrar cientificamente o ganho ambiental devido ao uso de materiais naturais;
- demonstrar como os resultados da ACV podem auxiliar projetistas e áreas gerenciais na escolha de materiais com melhor desempenho ambiental;
- aplicar alternativas no desenvolvimento de novos produtos: DFE - *Design for Environment*;

Assim, duas variantes de uma peça de revestimento interno (cobertura da caixa de ventilação localizada no painel de instrumentos) foram analisadas:

**Variante 1** - peça produzida com fibra de sisal + polioliol de mamona.

**Variante 2** - peça produzida com fibra de vidro + polioliol petroquímico.

O estudo teve como unidade funcional 100 unidades de peças produzidas. Foram incluídos no estudo os processos de:

- produção das principais matérias-primas e insumos utilizados na fabricação das peças; e
- a própria fabricação das peças.

Em função de não haver, até o momento, diferenças relevantes na fase de utilização (não ocorre reposição da peça) e de não existirem dados pesquisados sobre o descarte do componente avaliado, estas etapas foram consideradas equivalentes.

---

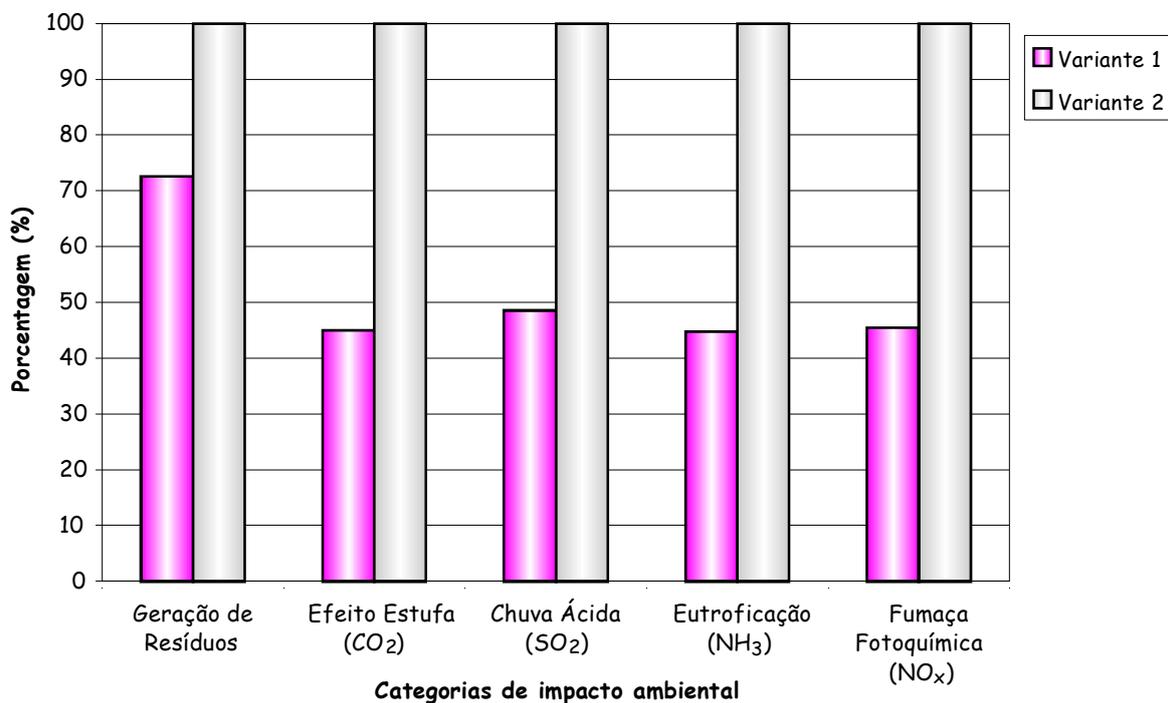
<sup>1</sup> *Polioliol* - substância líquida orgânica utilizada na produção de poliuretanos, os quais são empregados na fabricação de espumas rígidas e flexíveis.

Além das fibras de sisal e de vidro e dos polióis de mamona e petroquímico, utiliza-se ainda o MDI<sup>1</sup> (difenilmetano diisocianato) no processo de fabricação das peças.

Neste estudo, os dados utilizados tiveram diferentes origens: a fibra natural e o poliól de mamona foram provenientes de dados nacionais coletados junto às comunidades produtoras e aos principais fornecedores. Em função da dificuldade de se obter dados nacionais referentes aos

processos de obtenção da fibra de vidro, do poliól petroquímico e do MDI, recorreu-se à literatura internacional, efetuando-se ajustes nos dados de energia, considerando a matriz energética brasileira.

Na Figura 21 pode-se visualizar o efeito que o tipo de material empregado representa no conjunto de impactos ambientais potenciais associados à produção deste componente veicular avaliado.



**Figura 21.** Redução percentual dos diversos parâmetros associados à produção de um componente veicular.

Analisando-se os resultados apresentados na Figura 21, comprovou-se que a utilização de matérias-primas de fontes renováveis resultou em melhora significativa no desempenho ambiental

**É possível melhorar o desempenho ambiental do produto pela substituição de matérias-**

deste produto, verificado pela menor geração de resíduos e menor contribuição para as principais categorias de impacto ambiental.

**primas?**

Na indústria automotiva, a etapa de pintura é

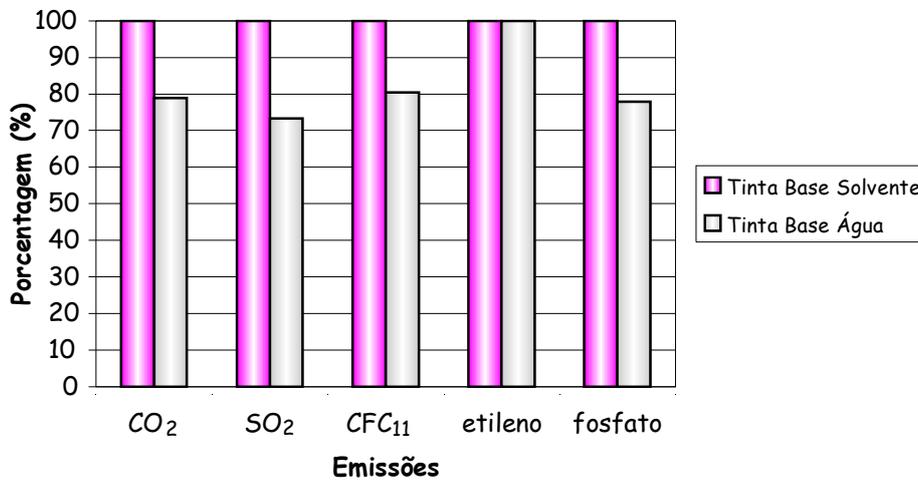
<sup>1</sup> MDI - difenilmetano diisocianato (C<sub>15</sub>H<sub>10</sub>O<sub>2</sub>N<sub>2</sub>). O MDI puro é utilizado na produção de fibras, espumas rígidas e ligantes.

considerada crítica em função de sua significativa contribuição para as principais categorias de impacto ambiental como chuva ácida, efeito estufa e redução da camada de ozônio, além da emissão de compostos orgânicos voláteis (COVs) para a atmosfera os quais podem causar problemas de saúde, tais como irritação e alergias.

A substituição da tinta base solvente por tinta base água requer investimentos para substituição de equipamentos e alterações de processo.

Dessa forma, por meio da ACV é possível simular cenários considerando diferentes alternativas para orientar a empresa na decisão de questões estratégicas e justificar os investimentos por meio dos ganhos ambientais.

A Figura 22 ilustra a redução percentual dos diversos parâmetros associados à confecção da peça avaliada, considerando-se dois cenários: um com utilização de tinta base solvente e outro com a aplicação de tinta base água. Neste caso, o uso de tinta base água apresenta melhor desempenho ambiental para determinadas categorias de emissão comparativamente.



**Figura 22.** Verificação do ganho ambiental pela comparação de duas alternativas de pintura (GOERGEN, 2001).

Assim, a aplicação da ACV, disponibiliza dados ambientais relevantes que podem ser utilizados como base para um gerenciamento ambiental sustentável.

Observa-se, portanto, que a indústria automotiva encontrou na metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida uma grande aliada na busca de se produzir veículos que atendam às necessidades sociais, garantindo a qualidade ambiental do planeta.

## CAPÍTULO 11

### A ACV NAS RELAÇÕES COMERCIAIS

Em virtude, principalmente, da globalização, houve um aumento das transações comerciais e, com elas, as barreiras técnicas e as exigências das empresas em relação a um melhor desempenho ambiental.

A preocupação ambiental com relação aos impactos potenciais associados aos produtos vem ganhando espaço cada vez maior entre os consumidores, provocando uma nova postura dos produtores e fornecedores no que diz respeito ao uso de ferramentas de gestão e ao desenvolvimento de novas tecnologias para melhor compreender e reduzir estes impactos.

As exigências de informações ambientais nas relações comerciais (*B<sub>2</sub>B - Business to Business*) têm quatro motivos principais:

1. Verificar a conformidade com as legislações vigentes: legislações nacionais e, principalmente, internacionais, estimulam cada vez mais investimentos em tecnologias limpas, redução de emissões para o ar, terra e água, de acordo com "boas práticas de produção";
2. Garantir a segurança no suprimento de matérias-primas ou insumos: as questões ambientais podem colocar em risco toda a cadeia de distribuição de um determinado produto, caso alguma destas matérias-primas ou insumos apresentem algum tipo de restrição ambiental;
3. Oportunidade para novos mercados: com o aumento da consciência ambiental dos consumidores, pode ocorrer um aumento na demanda no consumo de produtos "ambientalmente aceitáveis" a exemplo de outros países que, juntamente com as boas práticas de gestão, podem favorecer os fornecedores que demonstrarem, mais rapidamente, responsabilidade ambiental;
4. Ampliação da interpretação da relação custo/benefício: cada vez mais os aspectos relacionados à qualidade, agilidade na entrega, melhoria no *design* e desempenho ambiental são utilizados como base para decisões envolvendo a escolha de fornecedores e não apenas uma simples análise de competitividade de preço. Assim, considerando que na maioria das organizações as matérias-primas ou insumos representam uma parcela significativa no "custo" do produto final, a seleção de melhores fornecedores acaba resultando automaticamente na melhoria do produto.

Sendo assim, uma empresa ambientalmente responsável, além de atender a legislação vigente, deve estender seu gerenciamento ambiental à toda cadeia de fornecedores. Portanto, estudos de ACV podem ser bastante úteis para gerar as informações que irão subsidiar as decisões comerciais na seleção ou no desenvolvimento de fornecedores.

A ACV também é importante para orientar a rotulagem ambiental, que por sua vez influencia as relações comerciais de um determinado produto. Por exemplo, uma empresa que tem interesse em desenvolver um rótulo tipo III para seu produto, tem a necessidade de dados ambientais de seus fornecedores de matérias-primas ou insumos sendo este aspecto, muitas vezes, decisivo na escolha de seus fornecedores, privilegiando aquele com uma postura ambientalmente mais responsável. Estes dados ambientais não se restringem apenas a informações sobre o consumo de energia, por exemplo, mas são dados relativos a todo o ciclo de vida da matéria-prima ou insumo, ou seja, um inventário ambiental do produto obtido por meio de um estudo de ACV.

Assim, a rotulagem ambiental é encarada como uma forma de incentivo mercadológico para o

desenvolvimento de novos mercados para os produtos que contemplam a melhoria ambiental na sua concepção. A ACV é, portanto, uma ferramenta importante para as relações comerciais, cada vez mais incentivando e encorajando o desenvolvimento de produtos "ambientalmente aceitáveis".

Um exemplo de aplicação de ACV voltada às relações comerciais foi um estudo dirigido a alguns componentes utilizados na fabricação de detergente na Europa que, em virtude de seu elevado consumo anual (cerca de 5,5 milhões de toneladas na União Européia), acabou se tornando alvo de preocupação ambiental. Assim, em 1992, a Associação das Indústrias de Sabão e Detergente da Suíça, tendo efetuado um estudo sobre ACV de detergentes e produtos de limpeza, concluiu que as informações obtidas em seu estudo seriam mais confiáveis e seguras, caso estes pudessem contar com o apoio de seus fornecedores.

Neste contexto, um estudo de ACV com ênfase na Análise de Inventário foi desenvolvido, visando o levantamento de parâmetros ambientais de componentes utilizados na fabricação de detergente na Europa. Inicialmente, o estudo foi direcionado ao levantamento dos dados relativos à produção de um componente denominado Zeólito<sup>1</sup> tipo A (FAWER *et al.*, 1998), utilizado como auxiliar do agente surfactante<sup>2</sup> empregado no detergente.

Em decorrência deste estudo, um dos componentes utilizados na obtenção do Zeólito tipo A, um tipo específico de silicato de sódio, foi também investigado. Este estudo aguçou o interesse dos Produtores de Silicato da Europa, que decidiram desenvolver um novo estudo de Análise de Inventário para vários tipos de silicatos de sódio, envolvendo 5 produtores (FAWER *et al.*, 1999).

Estes estudos envolveram um levantamento de dados ambientais referente ao consumo de energia, água e recursos naturais e as emissões potenciais para o ar, água e solo relacionados à obtenção destes produtos. Uma vez obtidas as Análises de Inventário médias do setor produtivo dos produtos, Zeólito tipo A e silicato de sódio, cada empresa tendo a sua Análise de Inventário individual pôde comparar o seu desempenho ambiental com relação aos dados médios, efetuando um *benchmarking* interno, visando identificar os pontos de melhoria de seu processo.

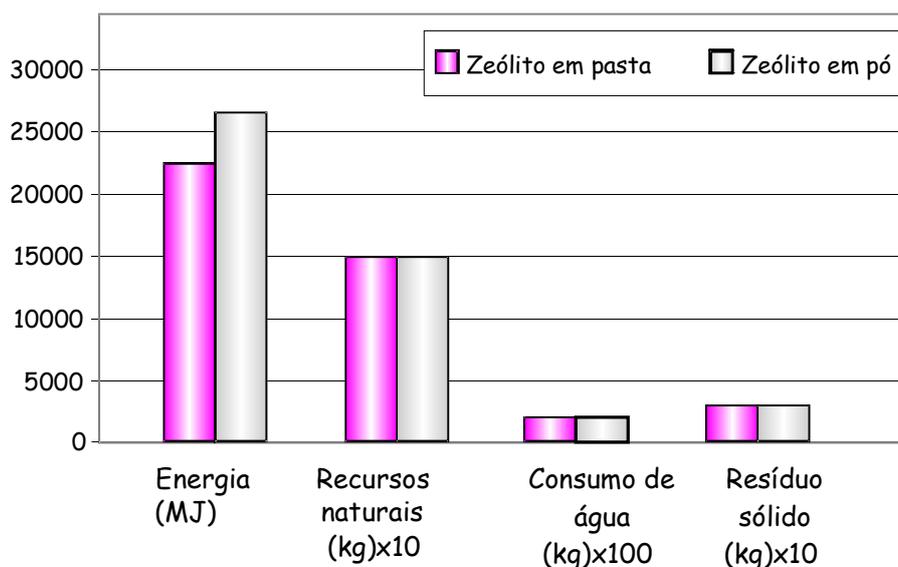
Um exemplo dos dados parciais obtidos na Análise de Inventário média do Zeólito tipo A, encontra-se ilustrado na Figura 23. Estes dados foram levantados para o Zeólito tipo A obtido na forma de pasta<sup>3</sup> e outro na forma de pó, tendo como referência a unidade funcional de 1000kg de produto base seca.

---

<sup>1</sup> **Zeólito** - mineral cristalino pertencente à classe dos aluminosilicatos, podendo ser encontrado em rochas de origem vulcânica, sendo que mais de 150 tipos podem ser sintetizados. Seu descobridor, o Sueco Cronstedt, em 1756, observou que quando rapidamente aquecida a rocha contendo este mineral, parecia entrar em ebulição, dando origem ao seu nome, composto por duas palavras gregas: zeo - ato de entrar em ebulição e lithos - pedra.

<sup>2</sup> **Agente surfactante**- do inglês surfactant é uma substância que altera as propriedades da superfície de um líquido ou da interface de um líquido e um sólido (tensoativo), possibilitando a solubilização de gorduras e facilitando a remoção de sujidades e manchas.

<sup>3</sup> **Zeólito na forma de pasta** - Suspensão do Zeólito tipo A em 48 a 50% de água e adição de 1,5% de uma substância tensoativa para evitar a sedimentação do produto.



**Figura 23.** Exemplo parcial dos dados médios obtidos na Análise de Inventário do Zeólito tipo A, produzido na forma de pasta e na forma de pó, tendo como referência a unidade funcional de 1.000kg de produto base seca (FAWER *et al.*, 1998).

A principal diferença entre as duas formas de produção do Zeólito tipo A, encontra-se no consumo de energia, sendo necessária uma etapa adicional para a secagem do produto e, conseqüentemente, a obtenção do produto na forma de pó. Estes dados foram levantados dentro das empresas participantes do estudo, não sendo avaliado o efeito do transporte deste produto até seus principais clientes. No entanto, a comercialização do Zeólito tipo A na forma de pasta é economicamente preferível e recomendada para pequenas distâncias de transporte, ou seja, abaixo de uma distância

crítica onde o custo do transporte da água seja inferior ao de sua captação direta.

Assim, a partir da Análise de Inventário média do Zeólito tipo A, foi possível completar a Avaliação do Ciclo de Vida de sistemas de produção de detergentes na Europa, incluindo comparações com outros sistemas e proposições de melhorias. As empresas envolvidas no levantamento destes dados puderam ainda comparar o seu desempenho ambiental individual com os dados médios obtidos, podendo identificar pontos fracos e oportunidades de melhoria de processo.



## CAPÍTULO 12

### A ACV E AS EMBALAGENS

A industrialização e o uso de embalagens adequadas possibilitam a redução da perda de alimentos, o aproveitamento de subprodutos industriais e o aumento da segurança alimentar. Inclusive, ainda se perde muito alimento por falta de embalagem no Brasil!

A embalagem é essencial para a indústria e para o comércio, sendo fundamental para a logística de distribuição dos produtos desde os centros de produção até o consumo. Entretanto, é inegável que, após seu uso, ainda há um valor agregado à embalagem, seja pelo material que pode vir a ser aproveitado ou pela energia que ainda está disponível nesse resíduo.

Muitos estudos de ACV de embalagens já foram desenvolvidos no exterior, motivados pelo *marketing* "verde" ou visando a orientação de legislações ambientais (ou para se defender destas), ou mesmo em resposta aos questionamentos sobre o resíduo de embalagem no lixo urbano, mostrando que este é apenas uma das muitas conseqüências da relação de um produto com o meio ambiente. Todos esses estudos foram específicos para as fronteiras e extensão territorial consideradas, com conclusões restritas às suposições feitas e limitadas pela qualidade dos dados utilizados. Alguns destes estudos foram comparativos e tiveram a ilusão de selecionar uma "embalagem vencedora"...

Não há uma embalagem ideal. Todas as opções de embalagem devem ser otimizadas. Diferentes sistemas de embalagem<sup>1</sup> são utilizados para um mesmo produto, adequados a

cada logística de distribuição, necessidade de proteção do produto, faixa de custo, tamanho e conveniência para o consumidor. Muitas opções são viáveis e podem ser usadas simultaneamente, desde que sejam continuamente otimizadas na produção e uso e que sejam reais as alternativas para a gestão do resíduo pós-consumo...

A otimização de um sistema de embalagem<sup>1</sup> sob o aspecto ambiental requer um trabalho de parceria entre os fabricantes dos materiais de embalagem, profissionais de *marketing*, agentes da logística de distribuição, técnicos da produção e do acondicionamento do produto, indústria da reciclagem e, inclusive, o consumidor.

Um estudo de ACV de um sistema de embalagem com objetivo de melhoria do desempenho ambiental pode orientar ações que levam a:

- redução de perdas;
- minimização da quantidade de embalagem por volume de produto acondicionado;
- gestão adequada da fabricação dos materiais e das embalagens;
- contabilização dos benefícios da reciclagem, incentivando sua aplicação;
- demonstração da vantagem da colaboração do consumidor com a coleta seletiva, separando o material a ser reciclado do lixo orgânico;
- otimização de sistemas de embalagem retornáveis, considerando o número de retornos e a distância média de distribuição;

---

<sup>1</sup> **Sistema de embalagem** - conjunto de embalagens e acessórios utilizado para acondicionamento de um produto. Envolve a embalagem primária (em contato direto com o produto), tampa, rótulo, selos de segurança, embalagem secundária, paletes e filmes de paletização, etc.

- redução do uso de recursos naturais, seja pela redução da quantidade de material de embalagem e/ou pela economia de combustíveis, etc.

Uma questão importante num estudo de ACV de um sistema de embalagem é a unidade funcional. Muitos estudos expressam os resultados considerando 1000kg de embalagem, porém é necessário avaliar o ciclo todo, que envolve, no mínimo, o acondicionamento e a distribuição do produto acondicionado, a contabilização das perdas, o destino da embalagem pós-consumo e os processos disponíveis para reciclagem e o gerenciamento do resíduo sólido urbano.

Assim, recomenda-se tomar como base a função da embalagem. Logo, a unidade funcional mais lógica deve ser o volume de produto acondicionado / comercializado / consumido, pois a embalagem só existe porque há um produto a ser entregue ao consumidor, como por exemplo: 1000 litros de óleo acondicionado, 1000kg de frutas comercializadas, etc.

Num estudo de ACV de um sistema de embalagem, os seguintes parâmetros são importantes:

- relação massa de embalagem por volume de produto acondicionado;
- disponibilidade de recursos naturais e matérias-primas na região (logística de abastecimento de matérias-primas);
- logística de abastecimento da embalagem;
- distância média de distribuição do produto acondicionado;
- taxa de reciclagem real do material na região;
- número de usos sucessivos da embalagem que é retornável (número de retornos) e a distância média de distribuição;
- aproveitamento da capacidade de carga dos caminhões nas etapas de transporte.

Para o meio ambiente, quanto menos melhor: todos os esforços e investimentos devem procurar reduzir a necessidade de recursos naturais e de energia e minimizar, ou se possível eliminar, as fontes de emissão.

## ESTUDOS DE ACV DE SISTEMAS DE EMBALAGEM TÊM MOSTRADO QUE...

Os recursos naturais são utilizados tanto para fabricação do material de embalagem (bauxita para o alumínio, minério de ferro para o aço, madeira para o papel, areia para o vidro, petróleo para os materiais plásticos, etc.), como também para uso como combustíveis em usinas termelétricas, meios de transporte, fornos e caldeiras industriais, etc. (carvão, petróleo, gás natural). Logo, ações para otimização da logística de distribuição ou para o aumento da eficiência energética de processos industriais também contribuem para a redução do consumo de recursos naturais e não apenas a redução de peso de uma embalagem ou a substituição de materiais.

A água, muito utilizada nas etapas de fabricação de materiais de embalagem, de alimentos, como também na higienização de embalagens, dentre outras inúmeras aplicações, é hoje um dos recursos naturais mais preocupantes. Desta forma, o uso racional de água nos processos industriais, as opções por sistemas fechados de circulação de água e os tratamentos de efluentes que permitem retornar a água usada com qualidade ao meio ambiente, são temas prioritários, que devem estar na pauta de qualquer desenvolvimento de produto e de sua embalagem.

## Degradabilidade nem sempre é vantagem

Os materiais degradáveis não "desaparecem". Podem deixar de ser um problema de resíduo sólido, mas transformam-se em emissões para o ar e água. Os materiais orgânicos biodegradáveis deveriam ser aproveitados via compostagem. Por outro lado, ao se degradar, um material perde o potencial de revalorização, seja via reciclagem mecânica ou via recuperação de energia.

## A otimização do sistema extrapola os portões da empresa

Todos os processos industriais, desde a exploração de minérios e de petróleo até a máquina de condicionamento do produto, utilizam energia, seja na forma de eletricidade ou pela queima de combustíveis. As etapas de transporte de todo o ciclo de vida do produto requerem energia, até mesmo o caminhão da coleta de lixo. Toda essa energia é usada devido à necessidade do uso do produto e de sua embalagem. Mais uma vez, além de trabalhar na eficiência energética dos processos industriais, a otimização da logística de distribuição dos materiais/ embalagens/ produtos e resíduos também leva à redução da necessidade energética do sistema.

## Redução de peso da embalagem nem sempre é a melhor solução

As embalagens primária, secundária e a de distribuição de um sistema devem atuar de forma integrada. Assim, reduzir demais o peso da embalagem primária, pode exigir um reforço adicional da embalagem de distribuição para garantia da proteção do sistema.

Um outro aspecto é a capacidade: embalagens de grande volume apresentam menor consumo de materiais e geração de emissões por quantidade de produto acondicionado. No entanto, a capacidade da embalagem deve

atender a necessidade de consumo, pois a perda de produto não consumido dentro do prazo de validade, pode causar maior prejuízo para o meio ambiente pelas emissões para água ou solo e pelo próprio desperdício do produto.

Esse dilema é enfrentado na especificação de embalagens para produtos destinados a consumidores que vivem sozinhos ou famílias pequenas. O consumidor, por sua vez, deve ser conscientizado para otimizar sua opção de compra.

## O SALDO DA RECICLAGEM É NORMALMENTE POSITIVO

Como discutido no Capítulo 5, se por um lado a reciclagem evita a utilização dos recursos naturais, a reciclagem pós-consumo tem alguns efeitos sobre o meio ambiente, os quais também devem ser quantificados num estudo de ACV de um sistema de embalagem. Dentre eles pode-se

citar: o consumo de energia e as emissões decorrentes da coleta e transporte do material até a planta de reciclagem, o consumo de água, de energia e de combustíveis para seleção, limpeza e processamento do material, assim como as emissões para água, ar e solo gerados no processo de reciclagem.

Em um estudo de ACV só é permitido contabilizar os benefícios da reciclagem, se também forem considerados seus efeitos. De qualquer maneira, num estudo de ACV de embalagens, o saldo da reciclagem é normalmente positivo.

O aumento da taxa de reciclagem eleva os benefícios ambientais, porém, seu efeito sobre o Inventário do Ciclo de Vida não é da mesma ordem de grandeza da taxa de reciclagem. Isso acontece pois permanecem as contribuições relativas às demais etapas do ciclo de vida (transporte, acessórios e embalagem secundária, acondicionamento do produto, etc.). Por exemplo, um aumento de 20% na taxa de reciclagem da embalagem primária corresponde a uma redução inferior a 20% no ICV de um sistema de embalagem.

É importante lembrar que não basta o material ser reciclável; ele deve ser efetivamente reciclado no local de comercialização do produto acondicionado, onde o resíduo de embalagem é gerado.

O sucesso da reciclagem também depende das outras do ciclo de vida. Por exemplo, a especificação de uma embalagem deve:

- usar combinação de materiais que permitam a reciclagem mecânica sem prévia separação, ou materiais que sejam facilmente separáveis antes da reciclagem;
- eliminar ou, no mínimo, padronizar as cores dentro de uma mesma classe de produtos para evitar problemas decorrentes da mistura de embalagens de cores diferentes;
- usar tintas e pigmentos que sejam facilmente removidos e menos poluentes;
- evitar o uso de aditivos que comprometam o processo de reciclagem, etc.

O consumidor, por sua vez, deve contribuir separando o material reciclável do lixo orgânico, destinando-o adequadamente à coleta seletiva.

## APLICAÇÃO DA ACV PARA OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE EMBALAGEM RETORNÁVEL

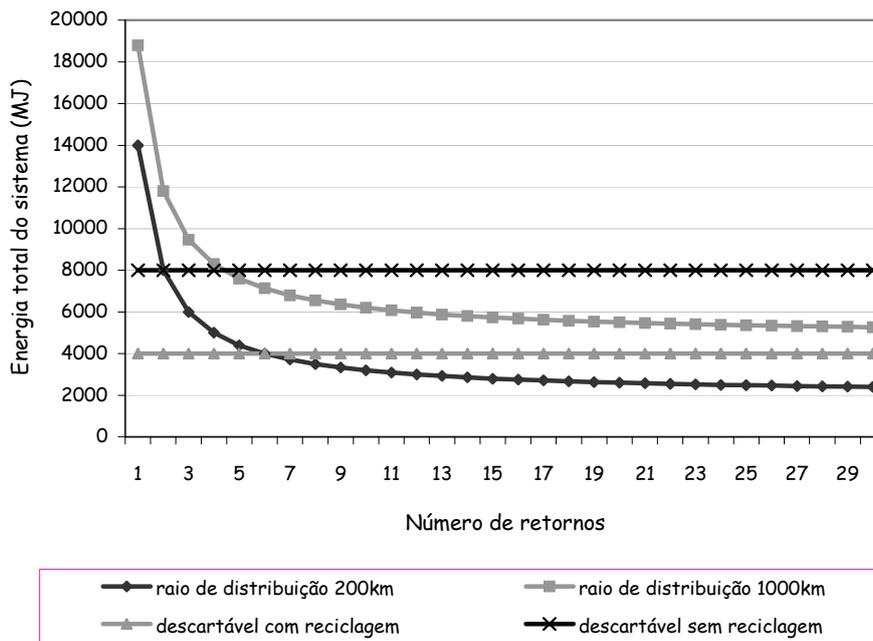
Um sistema de embalagem retornável apresenta uma boa relação de massa de embalagem por quantidade de produto acondicionado. Entretanto, seu desempenho é influenciado pelo número de viagens realizadas por unidade de embalagem e pela distância média de distribuição do produto acondicionado.

Quanto maior a distância de distribuição do produto acondicionado, ou seja, quanto maior a distância entre a planta de acondicionamento do produto e o centro consumidor, maior o custo ambiental do transporte (consumo de combustíveis fósseis e emissões para o ar). Além disso, deve ser considerada a utilização da capacidade de carga dos meios de

transporte na distribuição e no retorno das embalagens vazias para um novo ciclo de uso.

Em sistemas retornáveis para alimentos e bebidas é necessário higienizar as embalagens primárias e secundárias entre os ciclos de uso, por razões de segurança alimentar. Desta forma, devem ser considerados o gasto energético e o consumo de água para lavagem das embalagens entre os ciclos de uso.

O exemplo teórico apresentado na Figura 24, ilustra a interpretação dos resultados de um estudo de ACV de 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.



**Figura 24.** Relação entre a energia total associada a um sistema de embalagem e o número de retornos para a unidade funcional de 1000kg de produto comercializado / consumido.

O consumo energético é um indicador interessante, pois a ele estão associados o consumo de recursos naturais e as emissões de poluentes para o ar, como o gás carbônico - CO<sub>2</sub>, monóxido de carbono - CO, particulados, compostos orgânicos voláteis - COVs, óxidos de nitrogênio - NO<sub>x</sub> e de enxofre SO<sub>2</sub>, etc.

Pode-se observar pela Figura 24 que, para uma mesma distância de distribuição (raio de distribuição), a energia total diminui à medida em que aumenta o número de retornos (viagens), tendendo a um valor mínimo que expressa os requisitos da lavagem, higienização, transporte do produto, embalagens secundárias, retorno das embalagens vazias e reposição das embalagens que deixam o sistema (taxa de reposição). Desta forma, pelo exemplo apresentado, a partir de cerca de 20 retornos, o aumento do número de viagens não interfere significativamente na energia total requerida pelo sistema.

Comparando-se as curvas obtidas para os cenários de 200 e de 1000km de raio de distribuição, observa-se que o aumento da distância de distribuição requer maior consumo

de energia, reduzindo a vantagem do sistema retornável.

Na Figura 24, as linhas horizontais referem-se a um sistema 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 200km, a partir de 6 viagens o sistema retornável passa a consumir menos energia do que o sistema descartável (com alta taxa de reciclagem). Entretanto, no cenário de 1000km, o sistema descartável com alta taxa de reciclagem pós-consumo revela-se uma melhor opção que o sistema retornável.

É necessário lembrar que, normalmente, embalagens descartáveis são mais leves e, portanto, estão associadas a um menor consumo de energia por unidade funcional de produto acondicionado do que a embalagem retornável em seu primeiro uso. Por outro lado, a reciclagem pós-consumo, como já mencionado,

trás vantagens significativas para o desempenho do sistema descartável.

Assim, dependendo da distância de distribuição, fica inviável operar em sistema retornável, pois o consumo de combustível e as emissões do transporte das embalagens em retorno superam as vantagens advindas da relação massa de embalagem/volume de produto.

Quanto maior o raio de distribuição do produto acondicionado, ou seja, quanto maior a distância do envasador do centro consumidor, menores as vantagens do sistema retornável, pois o custo ambiental do transporte (consumo de combustíveis fósseis e emissões para o ar) fica mais significativo.

Logo, o sistema retornável nem sempre é a melhor opção considerando as várias interfaces produto/meio ambiente, principalmente em um país com dimensões continentais como o Brasil, onde, muitas vezes, o raio de distribuição do produto é da ordem de grandeza de 1000km ou mais.

Sistemas retornáveis podem ser adequados para soluções regionais, onde o raio de distribuição é pequeno. Por sua vez, uma alta taxa de reciclagem pode compensar a não adoção de um sistema retornável, especialmente para grandes distâncias de distribuição.

## CONTABILIZANDO ESFORÇOS DO DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGEM

Os esforços para otimização de um sistema de embalagem sob o ponto de vista ambiental geralmente trazem associados benefícios econômicos, a exemplo de:

- redução do consumo de material para uma mesma função (redução de peso de uma embalagem);
- aumento da eficiência energética (menor consumo de energia elétrica ou de combustíveis);
- redução do uso de água;

- melhor aproveitamento e eficiência da distribuição (menor gasto com fretes e/ou combustíveis);
- menor incidência de perda de produto acondicionado.

Por outro lado, muitas vezes os esforços para redução de custo de um produto também trazem consigo benefícios para o meio ambiente, os quais podem vir a ser contabilizados por meio da aplicação da ACV.

## CAPÍTULO 13

# GERENCIAMENTO DO RESÍDUO SÓLIDO URBANO

O gerenciamento do resíduo sólido (lixo) urbano - GRSU interessa aos estudos de ACV, pois este 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 urbano - GRSU.

## O GRSU COMO UMA ETAPA DO CICLO DE VIDA DE PRODUTOS

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 é traduzida para 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 do GRSU 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.).

Por exemplo, num estudo de ACV de frango congelado, devem ser levantados dados sobre:

- a quantidade e o destino dos resíduos de frango (ossos, peles, miúdos, etc.) não aproveitados;
- a forma de descarte da embalagem (filme plástico);
- as características do sistema de gerenciamento do RSU do local.

Num estudo de ACV sobre refrigerante em embalagem de PET, por sua vez, devem ser levantados dados sobre:

- a taxa de reciclagem da embalagem pós-consumo na região estudada;
- a forma de descarte da parcela de embalagem não enviada à reciclagem;
- as características do sistema de gerenciamento do RSU do local;
- uma estimativa da quantidade de refrigerante não ingerido (descartado) para cálculo de emissões para água.

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 das garrafas 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 no RSU 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 a céu aberto - lixões<sup>1</sup>, aterros sanitário ou controlado, incineração e/ou compostagem). No caso de resíduos destinados a aterros e lixões:

<sup>1</sup> *Lixões* - forma inadequada de disposição de resíduo sólido a céu aberto.

- para materiais orgânicos: devem ser calculadas as emissões para água e para o ar originárias da sua biodegradação;
- para materiais com tempo de degradação elevado: devem ser estimados a massa e o volume do resíduo em cada forma de 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 característica com o meio ambiente, por exemplo:

- o impacto ambiental da disposição em lixões é muito maior do que em aterros sanitários;
- devem ser verificadas quais as condições disponíveis no aterro (se há queima de gases ou não, se há aproveitamento de energia na queima de gases, 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 resíduos urbanos, 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 a céu aberto.

## FERRAMENTA DE SUPORTE AO GERENCIAMENTO INTEGRADO DO RSU

Um gerenciamento de RSU 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 GRSU 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 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 do RSU. São necessários um sistema de coleta adequado e a aplicação de uma série de opções de tratamentos incluindo reciclagem, tratamento biológico (compostagem e/ou biogaseificação), incineração e aterro.

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

- Recuperação de materiais que possam ser reciclados mecanicamente;
- Tratamento biológico da fração orgânica;
- Incineração com recuperação de energia;
- Aterro de resíduo inerte.

Logo, o gerenciamento integrado do RSU envolve a aplicação simultânea de técnicas como recuperação de recicláveis, compostagem, incineração e aterro sanitário, visando a otimização do sistema.

Num estudo de ACV do RSU são avaliadas as atividades de coleta, transporte, aterro, segregação, triagem, compostagem e incineração, 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.

ACV tem sido usada para auxiliar o gerenciamento integrado do RSU 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 pela captação de gases de aterros: sua queima reduz a emissão de metano e de outros compostos orgânicos voláteis e, além disso, pode-se aproveitar o valor energético desta queima;
- 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 urbano.

ACV não indica qual é a "melhor" estratégia de GRSU, mas o ICV fornece uma lista de consumo de energia e de emissões para o ar, água e solo e prevê a quantidade de produtos utilizáveis que podem ser gerados a partir do resíduo sólido, como composto orgânico, materiais secundários para reciclagem mecânica e energia utilizável (Figura 25).

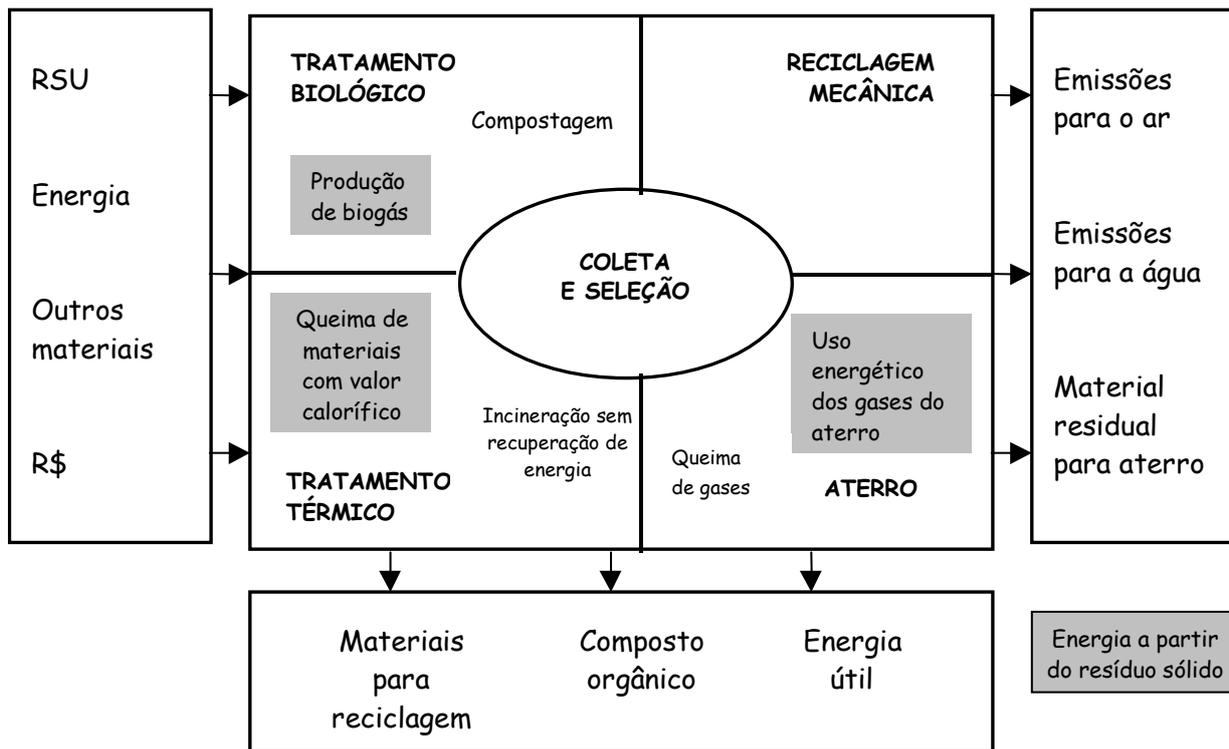


Figura 25. Visão do GRSU segundo a técnica de ACV (WHITE *et al.*, 1995).

Hoje estão disponíveis alguns *softwares* dedicados à aplicação de ACV para o GRSU, em uso na Europa, USA e Canadá. Esses *softwares* estão sendo aperfeiçoados para melhorar os dados e assim, a modelagem dos diversos tipos de tratamento, para facilitar seu uso e a forma de comunicação dos resultados, bem como para torná-los mais flexíveis, para que o usuário possa adaptá-los às circunstâncias locais.

A seguir é apresentado um exemplo de aplicação da ACV na avaliação do perfil energético e de parâmetros ambientais do sistema de gerenciamento de RSU da cidade de Palermo na Itália (BECCALI *et al.*, 2001). Nesse estudo foram analisadas as seguintes alternativas:

- **Opção A:** situação atual existente, caracterizada por disposição em aterro sem significativa seleção ou recuperação;
- **Opção B:** separação de cerca de 35% do total do resíduo para reciclagem mecânica,

com GRSU incluindo: seleção do resíduo, incineração com recuperação de energia, tratamento biológico da fração orgânica e aterro do resíduo inerte.

- **Opção C:** separação de cerca de 50% do total do resíduo para reciclagem mecânica e uso de tratamento biológico para o resíduo orgânico.

A unidade funcional adotada foi a quantidade de resíduo domiciliar ou resíduo com características semelhantes produzido em uma determinada área geográfica (cerca de 300.000 toneladas).

Neste estudo, a reciclagem mecânica contabilizou também a economia de energia e as emissões evitadas pela substituição do uso de material virgem pelo material reciclado, mas, por outro, foi considerado o gasto energético do transporte para coleta e entrega dos materiais à planta de reciclagem. Da mesma forma, na incineração com recuperação de

energia também foram contabilizadas a economia de energia e as emissões evitadas associadas à produção dos combustíveis que produziriam uma quantidade equivalente de energia.

Os resultados do estudo de ACV, expressos em termos de contribuição a algumas categorias de impacto são apresentados na Figura 26.

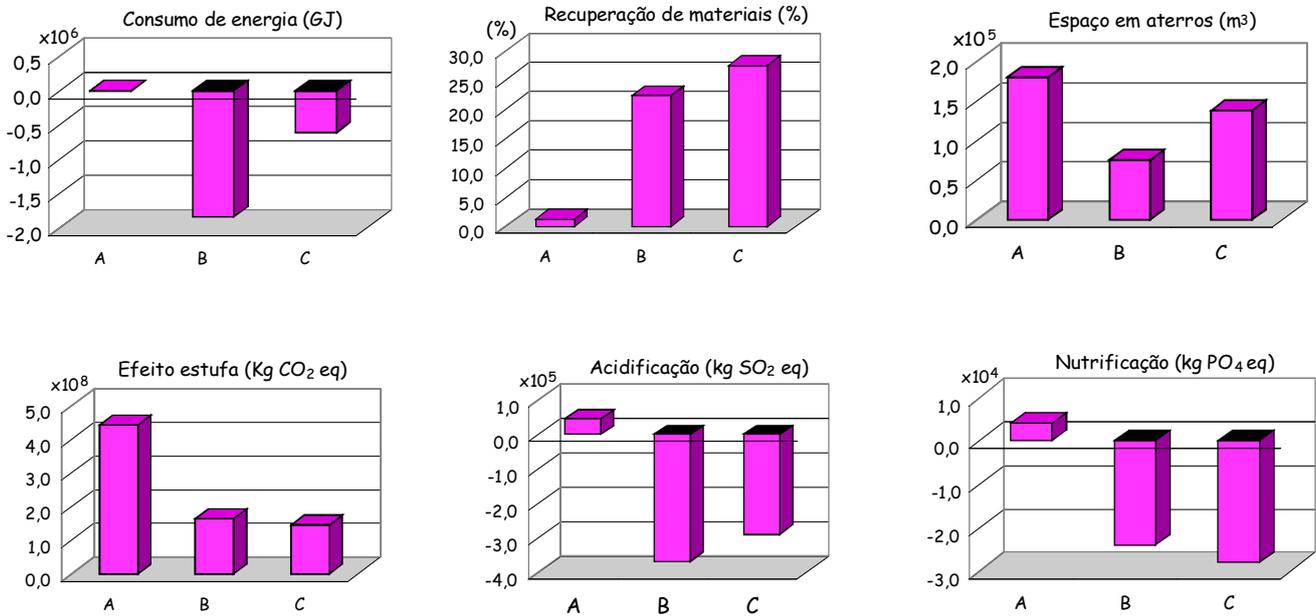


Figura 26. Impacto ambiental calculado para cada opção de GRSU avaliada (BECCALI *et al.*, 2001).

Nos cenários avaliados observou-se que:

A opção B, em relação à atual, permite significativa geração de energia, maior recuperação de materiais, requer menor espaço para disposição final em aterros e contribui menos para as categorias de impacto ambiental de efeito estufa, acidificação e nutrição.

A opção C, em relação à atual, representa economia de energia, maior aproveitamento de materiais, requer menos espaço para disposição final, contribui menos para as categorias impacto ambiental de efeito estufa, acidificação e nutrição.

A opção C, em relação à B, tem como vantagens a maior recuperação de materiais, menor

potencial de efeito estufa e menor menor potencial de nutrição, entretanto, requer maior espaço para disposição final.

O melhor sistema de GRSU para uma região dependerá das necessidades e prioridades locais, como por exemplo, reduzir o volume de resíduo sólido destinado aos aterros, ou necessidade de reduzir emissões para o ar ou para água. Então, a ACV é uma ferramenta suporte para tomada de decisão, não uma ferramenta de decisão. A seleção da melhor prática de GRSU para uma região requer uma decisão e a ACV fornece informações amplas sobre as interfaces com o meio ambiente auxiliando o processo de tomada de decisão.



# BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

## CAPÍTULO 1 ALGUMAS DIRETRIZES AMBIENTAIS

- ALMEIDA, L.T. **Política ambiental** - Uma análise econômica. Campinas: Papirus/UNESP, 1998. 192p.
- BARBIERI, J. CARLOS. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**. As estratégias de mudanças da Agenda 21. 2a ed. São Paulo: Vozes, 1998.158p.
- BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Legislação básica**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. (*on line*). Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legilei1.html>. Acesso em 01/abril 2002.
- CAVALCANTI, C. **Meio Ambiente, Desenvolvimento sustentável e políticas Públicas**. São Paulo: Cortez, Editora, 1997. 436p. p94.
- CMUMAD - Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Nosso Futuro Comum**. Rio de Janeiro: FGV, 1988. 430p.
- JÖNSON, G. **LCA - a tool for measuring environmental performance**. Surrey: Pira International, 1996. 190p.
- SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI** - Desenvolvimento e meio ambiental. São Paulo: Studio Nobel - FUNDAP, 1993. Apud ALMEIDA, L.T. **Política Ambiental** - uma análise econômica. Campinas: Papirus/UNESP, 1998. 192p.

## CAPÍTULO 2 O QUE É AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA?

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de vida - princípios e estrutura - NBR ISO 14040**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. 10p.
- JÖNSON, G. **LCA - a tool for measuring environmental performance**. Surrey: Pira International, 1996. 190p.
- OWENS, J. W. Life Cycle Assessment Experience & Case Study From American Industry. In: WORKSHOP SOBRE ANÁLISE DO CICLO DE VIDA, 1. 1996, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABNT/GANA/ISO, 1996. v.2, 33p.
- POSTLETHWAITE, D. **Industrial Use and Data Overview**. In: WORKSHOP SOBRE ANÁLISE DO CICLO DE VIDA, 1., 1996, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABNT/GANA/ISO, 1996. v.2, 33p.

## CAPÍTULO 3 ORIGEM DA ACV E NORMATIZAÇÃO

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Gestão Ambiental: Avaliação do ciclo de vida - princípios e estrutura - NBR ISO 14040**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. 10p
- BOUSTEAD, I. **Eco-balance methodology for commodity thermoplastics**. Brussels: APME, [s.d.]. 25p.
- CHEHEBE, J. R. B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos - Ferramenta Gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed. 1998. 104p.
- CHRISTANSEN, K. Life cycle assessment - principles and framework. In: WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE ANÁLISE DO CICLO DE VIDA, 1., 1996, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABNT, 1996. 15p.
- CONSOLI, F. *et al.* **Guidelines for Life-Cycle Assessment: A code of practice**. Pensacola: SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY - SETAC, 1993. 73p.
- FOEFL - SWISS FEDERAL OFFICE OF ENVIRONMENT, FORESTS AND LANDSCAPE (BUWAL). **Ecobalance of packaging materials state of 1990**. Berne: FOEFL, 1991. 262p. (Environmental series n.132 - waste).
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **Environmental management - Life cycle assessment - Examples of application of ISO 14041 - ISO/TR 14049**. Genève: ISO, 2000a. 67p. (Technical Report).
- \_\_\_\_\_. **Environmental management - Life cycle assessment - Goal and scope definition and inventory analysis - ISO 14041**. Genève: ISO, 1998. 22p.

\_\_\_\_\_. **Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment - ISO 14042.** Genève: ISO, 2000b. 29p.

\_\_\_\_\_. **Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle interpretation - ISO 14043.** Genève: ISO, 2000c. 18p.

\_\_\_\_\_. **Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework - ISO 14040.** Genève: ISO, 1997. 12p.

SAEFL - SWISS AGENCY FOR THE ENVIRONMENT, FORESTS AND LANDSCAPE (BUWAL). **Life cycle inventories for packagings.** Berne: SAEFL, 1998. v.1,v.2, 552p. (Environmental series n.250 -I e II- waste).

SWISS FEDERAL ENERGY OFFICE (ETH). **Environmental life-cycle inventories of energy systems.** Zurich: 1994.

## CAPÍTULO 4 AS 4 FASES DA ACV

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Gestão Ambiental: Avaliação do ciclo de vida - princípios e estrutura - NBR ISO 14040.** Rio de Janeiro: ABNT, 2001.10p.

**BURACO na camada de ozônio.** Disponível em: <<http://www.agendamarron.com.br>> Acesso em: 4 fev. 2002.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos - Ferramenta Gerencial da ISO 14000.** Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 1998. 104p.

CHRISTANSEN, K. Life cycle assessment - principles and framework. In: WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE ANÁLISE DO CICLO DE VIDA, 1., 1996, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABNT, 1996. 15p.

**EFEITO estufa.** Disponível em: <<http://sites.uol.com.br/jmacedoc/efeitoestufa.html>> Acesso em: 4 fev. 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **Environmental management - Life cycle assessment - Goal and scope definition and inventory analysis - ISO 14041.** Genève: ISO, 1998. 22p.

\_\_\_\_\_. **Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment - ISO 14042.** Genève: ISO, 2000b. 29p.

\_\_\_\_\_. **Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle interpretation - ISO 14043.** Genève: ISO, 2000c. 14p. (Draft International Standard).

\_\_\_\_\_. **Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework - ISO 14040.** Genève: ISO, 1997. 12p.

JÖNSON, G. **LCA - a tool for measuring environmental performance.** Surrey: Pira International, 1996. 190p.

MASSAMBANI, O. Aquecimento Global: Expectativas para o Século XXI. In: FORGHIERI, C.C. *et al.* **A terra gasta - a questão do meio ambiente.** São Paulo: EDUC - Editora da Pontifícia Universidade Católica - PUC - SP, [s.d.] p.41-48.

**O MAR está morrendo!** Disponível em : <<http://www.bibirrt.futuro.usp.br>> Acesso em: 4 fev. 2002.

## CAPÍTULO 5 A IMPORTÂNCIA DA ACV

DIEGUES, A.C. Desenvolvimento sustentado, gerenciamento geoambiental e o de recursos naturais. **Cadernos Fundap,** São Paulo, v. 9, n. 16, p. 33-45, Jun. 1989.

GARCIA, E.E.C., COLTRO, L. Reciclagem de embalagens de PET no Brasil - uma visão segundo a metodologia de análise de ciclo de vida - ACV. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 6, 2001, Gramado. **Anais...** Rio Grande do Sul: IQ/UFRGS, 2001. P. 1820-1823.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **Environmental labels and declarations - General principles - ISO 14020.** Genève: ISO, 1998.

\_\_\_\_\_. **Environmental labels and declarations - Type II Self-declared environmental claims - ISO 14021.** Genève: ISO, 1999a.

\_\_\_\_\_. **Environmental labels and declarations - Type I environmental labelling - Principles and procedures - ISO 14024.** Genève: ISO, 1999b.

\_\_\_\_\_. **Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Guiding principles**

and procedures – ISO 14025. Genève: ISO, 2000.

JÖNSON, G. **LCA - a tool for measuring environmental performance**. Surrey: Pira International, 1996. 190p.

LEE, J., CHO, H., CHOI, B., SUNG, J., LEE, S., SHIN, M. Life cycle assessment of tractors. **International Journal of LCA**, v. 5, p. 205-208, 2000.

NEITZEL, H. Application of life cycle assessment in environmental labelling – German experiences. **International Journal of LCA**, v. 2, p. 241-249, 1997.

OWENS, J.W. LCA Experience & case studies from American industry. In: WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE ANÁLISE DE CICLO DE VIDA, 1., 1996, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABNT/GANA/ISO, 1996. v. 2, 33p.

TALVE, S. Life cycle assessment of a basic lager beer. **International Journal of LCA**, v. 6, p. 293-298, 2001.

**ROTULAGEM Ambiental** - Base para o programa brasileiro. Brasília: Mma/SPDS, 2002. 210p.

## **CAPÍTULO 6** **O PAPEL DA ACV NA COMUNICAÇÃO**

**ANUÁRIO ESTATÍSTICO ABAL**. São Paulo: ABAL, 2000. 37p.

GARCIA, E.E.C. O consumo de energia na cadeia produtiva de alimentos. In: SEMINÁRIO: A IMPORTÂNCIA ESTRATÉGICA DA EMBALAGEM PARA O MEIO AMBIENTE. 2001, São Paulo. **Compilação de Palestras...** Campinas: CETEA/ITAL, 2001. 17p.

JÖNSON, G. **LCA - a tool for measuring environmental performance**. Surrey: Pira International, 1996. 190p.

KOOIJMAN, J. **Environmental impact of packaging performance in the food supply system**. Londres: The Industry Council for Packaging and the Environment (INCPEN). 1995.

LEONARDI, M.L.A. Educação ambiental e teorias econômicas: primeiras aproximações. In: **Economia do meio ambiente**. [S.L.]: UNICAMP/EMBRAPA MEIO AMBIENTE, 1997. 39p.

OWENS, J.W. LCA Experience & case studies from American industry. In: WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE ANÁLISE DE CICLO DE VIDA, 1., 1996, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABNT/GANA/ISO, 1996. v. 2, 33p.

PINHEIRO, D. Vitória da vida. **Veja**, São Paulo, p.192-196, 22 de dezembro, 1999.

SORRENTINO, M. **Educação ambiental e universidade**: um estudo de caso. 1995. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo. *Apud* LEONARDI, M.L.A. Educação ambiental e teorias econômicas: primeiras aproximações. In: **Economia do meio ambiente**. [s.d.]: Unicamp/Embrapa MEIO AMBIENTE, 1997.

## **CAPÍTULO 7** **LIMITAÇÕES DA ACV**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Gestão Ambiental: Avaliação do ciclo de vida – princípios e estrutura – NBR ISO 14040**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.10p.

FULLANA, P.; PUIG R. **Análisis del ciclo de vida**. Barcelona: Rubes Editorial, 1997. 143p.

JÖNSON, G. **LCA - a tool for measuring environmental performance**. Surrey: Pira International, 1996. 190p.

MADI, L.F.C., GARCIA, E.E.C., COLTRO, L., MOURAD, A.L., GATTI, J.A.B., JAIME, S.B.M., ORTIZ, S.A. **Análise de Ciclo de Vida de Embalagens para o Mercado Brasileiro**. Campinas: CETEA/ITAL, 1999. (relatório confidencial)

## **CAPÍTULO 8** **A ACV E O SETOR DE CELULOSE E PAPEL**

AMERICAN FOREST PAPER ASSOCIATION. **Life cycle inventory analysis - User's Guide**. Washington: AF & PA, 1996.

CETEA - Centro de Tecnologia de Embalagem. **Brasil Pack Trends 2005** - Embalagem, distribuição e consumo. Campinas: CETEA/ITAL, 2000.273p.

FEFCO. **Base de dados Européia para estudos do ciclo de vida do papelão ondulado**. Paris: FEFCO/ Groupment Ondulé, Kraft Institute, 1996.32p.

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. *Towards a sustainable paper cycle*. London: IIED, 1996.258p.

SAEFL - SWISS Agency For the Environment, Forests and Landscape. *Life cycle inventories for packaging*. Berne: SAEFL, 1998a. Vol I, 320p. (Environmental series n° 250/I - Waste)

SAEFL - SWISS Agency For the Environment, Forests and Landscape. *Life cycle inventories for packaging*. Berne: SAEFL, 1998b. Vol II, p.321-552. (Environmental series n° 250/II - Waste).

## **CAPÍTULO 9**

### **TRANSPORTE: MODALIDADES E DISTÂNCIAS**

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT. **Frota brasileira de caminhões economicamente ativos e estimativa da idade média dos veículos**. Brasil 1980-96 (última atualização: 29/09/98). Disponível em: <http://notesweb.cnt.org.br/aplic/Tdados.nsf/webgeral?OpenView&Start=1&Count=30&Expand=5>. Acesso em: 27 mar. 2002.

GEIPOT - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes - **Anuário Estatístico 2000 (Brasil 1996-0)**. Disponível em: <http://www.geipot.gov.br/novaweb/indexanu.htm>. Acesso em 21 mar. 2002.

MADI, L.F.C., GARCIA, E.E.C., COLTRO, L., MOURAD, A.L., GATTI, J.A.B., JAIME, S.B.M., ORTIZ, S.A. **Análise de Ciclo de Vida de Embalagens para o Mercado Brasileiro**. Campinas: CETEA/ITAL, 1999. (relatório confidencial)

TEIXEIRA, S. G. *Considerações Ambientais no Setor de Transporte*. In: Seminário sobre Transportes e Meio Ambiente, 1990, Brasília. **Anais...** Brasília: UnB, 1990. p.87-91.

## **CAPÍTULO 10**

### **ACV NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

ALMEIDA, S. M. G. **Estudo da Técnica de Análise do Ciclo de Vida e sua aplicação como Ferramenta de Gestão Ambiental nas Empresas** (Tese de Mestrado), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1998.

ANFAVEA - Anuário Estatístico da Indústria Automobilística Brasileira. **Indústria automobilística brasileira - informações gerais e aspectos econômicos e sociais**. São Paulo, 2002. Capítulo I. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/anuario.htm> Acesso em 25/abril/2002.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos**. Rio de Janeiro, 1998.

GOERGEN, L.R. **Análise do Ciclo de Vida em linha de pintura da DaimlerChrysler do Brasil**. T-Systems do Brasil: São Bernardo do Campo, 2001. (Relatório Confidencial).

GOERGEN, L.R., NEIS, A.M., CASA, F., DOKI, C., FERRARESI, G. **Análise do Ciclo de Vida - Ferramenta para avaliação de performance ambiental de produtos, processos e materiais referentes à indústria automobilística**. In: **XI Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva**. 2001, São Paulo. Disponível em: <http://www.cempre.org.br/>.

REIS, M. J. L. **ISO 14000 - Gerenciamento Ambiental: um Novo Desafio para a sua Competitividade**. Rio de Janeiro, 1995.

SAE International (P-311). **Proceedings of the 1997 Total Life Cycle Conference - Design for the Environment, Recycling and Environmental Impact (Part 2)**. USA, 1997.

## **CAPÍTULO 11**

### **A ACV NA RELAÇÕES COMERCIAIS**

CHRISTIANSEN, K., HOFFMANN, L. **Decision support system for environmental sounder purchase of catering materials and products for inflight services**. In: **WORKSHOP SOBRE ANÁLISE DO CICLO DE VIDA, 1.**, 1996, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABNT/GANA/ISO, 1996. v.2, 45p.

FAWER, M., POSTLETHWAITE, D., KLÜPPEL, H-J. **Life cycle inventory for the production of zeolite A for detergents**. **International Journal of LCA**, Landsberg, v.4, n.4, p.71-74, 1998.

FAWER, M., CONCANNON, M., RIEBER W. **Life cycle inventories for the production of sodium silicates**. **International Journal of LCA**, Landsberg, v.4, n.4, p.207-212, 1999.

## **CAPÍTULO 12** **A ACV E AS EMBALAGENS**

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.

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**. 12, p.235-239. 1999.

## **CAPÍTULO 13** **GERENCIAMENTO DO RESÍDUO SÓLIDO URBANO**

BECCALI, G., CELLURA, M., MISTRETTA, M. Managing municipal solid waste. **International Journal of LCA**, Landsberg, v.6, n.4, p.243-249, 2001.

**Lixo Municipal**: Manual de Gerenciamento Integrado. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. 370p.

McDOUGALL, F. R., WHITE, P. R. Integrated waste management and the tool of life cycle inventory: a route to sustainable waste management. In: R2000. **WORLD CONGRESS ON INTEGRATED RESOURCES MANAGEMENT**, 5, 2000, Toronto. **Proceedings...** Geneve: PEAR LTD/Ministry of the Environment, 2000 (CD ROM).

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

<b>PREFÁCIO .....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUÇÃO - POR QUE UM LIVRO SOBRE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA? .....</b>	<b>1</b>
DA LENDA DA FARTURA INFINITA À COMPREENSÃO DO HOMEM .....	1
A lenda da fartura infinita.....	1
A compreensão do homem .....	1
As muitas histórias.....	2
E o que deixará para seus filhos?.....	3
A responsabilidade .....	3
<b>CAPÍTULO 1 - ALGUMAS DIRETRIZES AMBIENTAIS .....</b>	<b>5</b>
VISÃO ECODESENVOLVIMENTISTA .....	5
O conceito de sustentabilidade no mundo.....	6
RESPONSABILIDADE AMBIENTAL .....	7
A IMPORTÂNCIA DOS CICLOS ECOLÓGICOS .....	8
<b>CAPÍTULO 2 - O QUE É AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA? .....</b>	<b>9</b>
O CONCEITO DE CICLO DE VIDA.....	9
AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA COMO INSTRUMENTO .....	14
ABORDAGEM HOLÍSTICA.....	15
<b>CAPÍTULO 3 - ORIGEM DA ACV E NORMATIZAÇÃO .....</b>	<b>17</b>
PRIMEIROS ESTUDOS DE ACV .....	18
ESTUDOS COMPARATIVOS.....	18
NECESSIDADE DE PADRONIZAÇÃO DA METODOLOGIA .....	19
PONTOS FUNDAMENTAIS DA SÉRIE DE NORMAS ISO 14000 SOBRE ACV .....	19
AS NORMAS DA SÉRIE ISO 14000 RELATIVAS À ACV .....	20
<b>CAPÍTULO 4 - AS 4 FASES DA ACV .....</b>	<b>21</b>
DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO .....	21
ANÁLISE DE INVENTÁRIO.....	22
AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL.....	24
Principais categorias de impacto .....	24
Consumo de recursos naturais.....	24
Consumo de energia.....	26
Efeito estufa .....	26
Acidificação .....	27
Toxicidade humana .....	27
Ecotoxicidade .....	28
Nutrificação e eutroficação .....	28
Fumaça fotoquímica oxidante .....	28
Redução da camada de ozônio.....	29
INTERPRETAÇÃO.....	30
<b>CAPÍTULO 5 - A IMPORTÂNCIA DA ACV .....</b>	<b>31</b>
GERENCIAMENTO DE RECURSOS NATURAIS .....	31
IDENTIFICAÇÃO DE PONTOS CRÍTICOS.....	32
OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUTOS .....	34
DESENVOLVIMENTO DE SERVIÇOS.....	36
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS .....	37
OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE RECICLAGEM .....	38
ROTULAGEM AMBIENTAL .....	39

<b>CAPÍTULO 6 - O PAPEL DA ACV NA COMUNICAÇÃO</b> .....	<b>43</b>
MITOS E REALIDADES.....	43
CONSCIÊNCIA AMBIENTAL.....	46
EDUCAÇÃO AMBIENTAL.....	47
DIVULGAÇÃO DE MELHORIAS AMBIENTAIS.....	48
<b>CAPÍTULO 7 - LIMITAÇÕES DA ACV</b> .....	<b>51</b>
FRONTEIRAS.....	51
ABRANGÊNCIA GEOGRÁFICA.....	53
TEMPORALIDADE OU EXTENSÃO TEMPORAL.....	54
QUALIDADE DOS DADOS.....	54
NECESSIDADE DE COMBINAÇÃO COM OUTROS INSTRUMENTOS.....	55
<b>CAPÍTULO 8 - A ACV E O SETOR DE CELULOSE E PAPEL</b> .....	<b>57</b>
APLICAÇÕES DA ACV NO SETOR CELULÓSICO.....	58
INDICADORES AMBIENTAIS.....	58
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS/PROCESSOS.....	60
ROTULAGEM AMBIENTAL.....	63
INFORMAÇÃO/EDUCAÇÃO AMBIENTAL.....	64
FUTUROS ESTUDOS DE ACV.....	64
<b>CAPÍTULO 9 - TRANSPORTE: MODALIDADES E DISTÂNCIAS</b> .....	<b>65</b>
MODAIS DE TRANSPORTE.....	65
EFEITO DAS DISTÂNCIAS DE TRANSPORTE.....	68
<b>CAPÍTULO 10 - ACV NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA</b> .....	<b>71</b>
<b>CAPÍTULO 11 - A ACV NAS RELAÇÕES COMERCIAIS</b> .....	<b>77</b>
<b>CAPÍTULO 12 - A ACV E AS EMBALAGENS</b> .....	<b>81</b>
ESTUDOS DE ACV DE SISTEMAS DE EMBALAGEM TÊM MOSTRADO QUE.....	82
O SALDO DA RECICLAGEM É NORMALMENTE POSITIVO.....	83
APLICAÇÃO DA ACV PARA OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE EMBALAGEM RETORNÁVEL.....	84
CONTABILIZANDO ESFORÇOS DO DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGEM.....	86
<b>CAPÍTULO 13 - GERENCIAMENTO DO RESÍDUO SÓLIDO URBANO</b> .....	<b>87</b>
O GRSU COMO UMA ETAPA DO CICLO DE VIDA DE PRODUTOS.....	87
FERRAMENTA DE SUPORTE AO GERENCIAMENTO INTEGRADO DO RSU.....	88
<b>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA</b> .....	<b>93</b>



**SECRETARIA DE  
AGRICULTURA E  
ABASTECIMENTO**

