

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO PRODUTO COMO FERRAMENTA PARA O
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Bruno Bastos de Assis

MONOGRAFIA SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DE CURSO DE ENGENHARIA
DE PRODUÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PRODUÇÃO.

Aprovada por:

Prof. Márcio de Oliveira

Prof. ^a Roberta Cavalcanti Pereira Nunes, D.Sc.

Prof. Vanderlí Fava de Oliveira, D.Sc.

JUIZ DE FORA, MG - BRASIL

JUNHO DE 2009

Assis, Bruno Bastos de

Avaliação do ciclo de vida do produto como ferramenta para o desenvolvimento sustentável / Bruno Bastos de Assis – 2009. 53 f. :il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.

1. Impactos ambientais. 2. Gestão ambiental. 3. Produtos. I. Título

CDU 504

Dedico essa conquista aos meus pais, Kleber e Eunice, principais responsáveis por essa realização.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado pais que sempre incentivaram meus estudos e me deram total apoio em todas as decisões que tomei em minha vida, e por ter me dado força para alcançar essa conquista.

Aos meus pais pelas condições que proporcionaram para que eu pudesse ingressar no curso de Engenharia de Produção, pelo apoio incondicional, pelo incentivo e pela dedicação. Aos professores da Engenharia e do ICE que contribuíram para minha formação profissional.

Ao professor Márcio de Oliveira, pela dedicação ao longo de quase um ano, sempre atencioso e disposto a ajudar através de seu conhecimento, disponibilizando material para estudo e orientando de forma brilhante.

À professora Roberta Cavalcanti Pereira Nunes, por aceitar participar da banca examinadora e pela grande contribuição que prestou ao trabalho por meio de correções, sugestões e incentivo.

Ao professor Vanderlí Fava de Oliveira, pela importante participação que teve na banca examinadora, contribuindo para o trabalho com suas sugestões e com seu conhecimento sobre o tema.

Aos meus amigos de turma pela excelente convivência, pelos bons momentos que vivemos juntos, pelo apoio nas horas de estudo e pela companhia nos momentos de diversão.

Às pessoas que estiveram comigo nas empresas nas quais trabalhei e fiz estágio, pelo apoio, companheirismo e compreensão nos momentos difíceis.

Resumo da monografia apresentada à Coordenação do Curso de Engenharia de Produção como parte dos requisitos necessários para a graduação em Engenharia de Produção.

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO PRODUTO COMO FERRAMENTA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Bruno Bastos de Assis

Junho/2009

Orientador: Márcio de Oliveira

Curso: Engenharia de Produção

Considerando os impactos ambientais que um produto pode vir a causar em qualquer estágio de seu ciclo de vida, este trabalho descreve a ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida – ACV do produto, apresentando suas etapas, a metodologia para sua aplicação e as melhorias em processos e produtos, que podem ser alcançadas através de sua utilização. A ferramenta é explicada por meio de conceitos e referenciais teóricos, além de ser ilustrada por exemplos práticos com o objetivo de tornar a apresentação mais clara e reforçar a importância de sua aplicação. O estudo também trata das limitações da Avaliação do Ciclo de Vida do produto, mostrando as características que dificultam sua utilização. Além da descrição da ferramenta, são abordados conceitos relacionados à gestão ambiental para justificar o emprego da ACV e contextualizá-la no cenário atual.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida, impactos ambientais, gestão ambiental, produto.

Abstract of Thesis presented to Production Engineering Course Coordination as a partial fulfillment of the requirements for the degree in Production Engineering

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF THE PRODUCT AS A TOOL FOR SUSTAINABLE
DEVELOPMENT

Bruno Bastos de Assis

Junho/2009

Advisor: Márcio de Oliveira

Department: Production Engineering

Considering the environmental impacts that a product could cause at any stage of its life cycle, this paper describes the tool of Life Cycle Assessment - LCA of the product, showing its stages, the methodology for implementation and improvements in processes and products, which can be achieved through its use. The tool is explained by concepts and theoretical references, and is illustrated by practical examples in order to make the presentation more clear and reinforce the importance of its application. The study also addresses the limitations of Life Cycle Assessment of the product, showing the characteristics that hinder its use. Besides the description of the tool, are discussed concepts related to environmental management to justify the use of LCA and contextualize it in the current scenario.

Keywords: Life Cycle Assessment, environmental impacts, environmental management, product.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estratégia para reduzir os impactos ambientais.....	25
Figura 2 – Fase de planejamento do SGA vs estrutura de aplicação da ACV.....	31

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Normas ISO 14040 – Avaliação do Ciclo de Vida.....	29
Quadro 2 – Exemplo de uma Folha do Questionário.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação das fraldas de pano x descartáveis.....	51
Tabela 2 – Resumo dos resultados da aplicação ACV para o Estágio Transformação da matéria-prima.....	53
Tabela 3 – Resumo dos resultados da aplicação ACV para o Estágio Transformação da matéria-prima.....	54
Tabela 4 – Resumo dos resultados da aplicação ACV para o Estágio Uso do Produto.....	55
Tabela 5 – Resumo dos resultados da aplicação ACV para o Estágio Transporte do produto.....	56
Tabela 6 – Resumo dos resultados da aplicação ACV para o Estágio Descarte final do produto.....	57
Tabela 7 – Totalização dos resultados da ACV.....	58

GLOSSÁRIO DE SIGLAS

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
DfE – Design for the Environment
ECA – Ecotoxicidade Aquática
ECT – Ecotoxicidade Terrestre
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENCEP – Encontro Nacional de Coordenadores de Cursos de Engenharia de Produção
ENECEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção
EPA – Environmental Protection Agency
ETH – Eidgenössische Technische Hochschule
EREN – Exaustão dos Recursos Não Renováveis
FOF – Formação de Oxidantes Fotoquímicos
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBICT – Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
IFEU – Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg GmbH
ICV – Inventário do Ciclo de Vida
ISO – International Organization for Standardization
ITAL – Instituto Técnico de Alimentação
MIT – Massachusetts Institute of Technology
MMA – Ministério do Meio Ambiente
MRI – Midwest Research Institute
ONU – Organização das Nações Unidas
PA – Potencial de Acidificação
PAG – Potencial de Aquecimento Global
PMA – Projeto para o Meio Ambiente
PN – Potencial de Nutrição
PPD – Projeto para Desmontagem
PRCO – Potencial de Redução da Camada de Ozônio
PTH – Potencial de Toxicidade Humana
PML – Produção Mais Limpa
REPA – Resource and Environmental Profile Analysis
RMIT – Royal Melbourne Institute of Technology
SETAC – Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SGA – Sistema de Gestão Ambiental

SPOLD – Society for the Promotion of the Life cycle Development

WBCSD / BCSD – World Business Council for Sustainable Development / Conselho
Empresarial para o desenvolvimento sustentável

SUMÁRIO

1. CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO.....	14
1.1. Considerações iniciais.....	14
1.2. Objetivos.....	14
1.3. Justificativas.....	15
1.4. Condições de contorno.....	16
1.5. Metodologia.....	17
1.6. Estrutura do Trabalho.....	17
2. CAPÍTULO II – Gestão ambiental e a ACV.....	19
2.1. A relação entre desenvolvimento e meio ambiente	19
2.2. O meio ambiente e a crise ambiental.....	20
2.3. Modelos pontuais de gestão ambiental.....	23
2.4. Avaliação do Ciclo de Vida.....	25
2.4.1. Aplicação da ACV nas empresas.....	28
2.4.2. As etapas da ACV.....	29
2.4.3. A ACV como ferramenta de gestão.....	30
2.4.4. Aplicação da ACV nas empresas.....	32
2.4.5. As etapas da ACV.....	33
3. CAPÍTULO III – Metodologia da ACV.....	35
3.1. Contextualização da ACV.....	35
3.2. Contribuição da ACV para os setores público e privado.....	35
3.3. A ACV na execução de projetos.....	36
3.4. As organizações que usam a ACV.....	37
3.5. As etapas da ACV.....	38
3.5.1. Definição do Objetivo e do Escopo.....	38
3.5.1.1 Limites do Sistema.....	40
3.5.1.2 Unidade funcional.....	41
3.5.2. Realização do Inventário.....	42
3.5.2.1 Categoria dos dados.....	42
3.5.2.2 Critérios para inclusão de dados.....	43
3.5.2.3 Coleta de dados.....	44

3.5.2.4 Validação dos dados.....	46
3.5.3. Avaliação do impacto ambiental.....	47
3.5.3.1 Classificação.....	47
3.5.3.2 Caracterização.....	48
3.5.3.3 Valoração.....	49
3.5.4 Interpretação.....	49
3.6. Exemplos de aplicação da ACV.....	50
3.6.1. Aplicação da ACV para comparação de fraldas.....	50
3.6.2. Aplicação da ACV para comparação de projeto de eletrodomésticos.....	51
4. CAPÍTULO IV – CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
4.1. Importância da ACV.....	61
4.2. Limitações da ACV.....	61
4.3. ACV como filosofia.....	62
4.4. Sobre o Trabalho de Conclusão de Curso.....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64

Capítulo I

INTRODUÇÃO

1.1. Considerações iniciais

A partir da Revolução Industrial, a oferta de bens de consumo tem crescido enormemente, tanto em volume quanto em variedade. As mudanças nos hábitos de consumo pelas quais as sociedades passaram e vêm passando ao longo deste período contribuiu para o aumento da procura por produtos cada vez mais variados e inovadores. Porém, o crescimento populacional e o consumo crescente de produtos resultam em uma necessidade de aumento na extração de matérias-primas e na geração de energia para atender ao consumismo atual. Considerando os impactos ambientais que um produto pode vir a causar em qualquer estágio de seu ciclo de vida, o tema deste trabalho tem por objetivo apresentar a ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida – ACV para analisar como o produto pode interferir no meio ambiente, seja durante seu processo de fabricação, seja durante seu uso ou até mesmo seu descarte e disposição final. Essa ferramenta auxilia o Sistema de Gestão Ambiental, e permite identificar oportunidades de melhoria em qualquer fase do produto, desde a extração de suas matérias-primas até o descarte, promovendo o controle dos aspectos ambientais, e melhorando seu conceito frente aos consumidores e à sociedade em geral.

Diante da importância da Gestão Ambiental em qualquer organização e das necessidades de sua adequação aos requisitos legais e às normas ambientais, este trabalho vem apresentar a ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida do produto.

O interesse por esse tema surgiu ao longo do curso da disciplina Gestão Ambiental em Engenharia de Produção, através da qual foi possível adquirir o conhecimento que serviu de base para o desenvolvimento deste trabalho.

1.2. Objetivos

O presente trabalho visa apresentar, por meio de um estudo bibliográfico, como a ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida – ACV pode interferir na concepção, no desenvolvimento e na fabricação do produto. São apresentados os conceitos e as etapas da ACV, assim como os resultados que podem ser obtidos por meio de sua utilização, mostrando como esta pode contribuir para a sustentabilidade ambiental ao longo de toda a cadeia produtiva, não ficando restrita a apenas uma ou a poucas fases do ciclo de vida do produto.

1.3. Justificativas

O engenheiro de produção, atuando como gestor, deve estar atento aos impactos ambientais que os processos de fabricação dos produtos podem causar, não somente pelos danos que isto acarreta à imagem da organização, mas também porque uma infração ou crime ambiental que possam ser cometidos em virtude de uma condição não – conforme será de responsabilidade tanto da empresa como do gestor.

É papel do engenheiro de produção se preocupar com as boas práticas de fabricação no que se refere à relação da empresa com o meio ambiente. Suas decisões precisam sempre considerar os impactos ambientais e suas conseqüências sociais, ecológicas e econômicas.

A Engenharia de Produção tem, dentre suas grandes áreas de atuação, a Engenharia da Sustentabilidade, que segundo documento elaborado pela Comissão de Graduação e referendado no Grupo de Trabalho do ENCEP 2008 e ENEGEP 2008, passou a ser a área da Engenharia de Produção que engloba a Gestão de Recursos Naturais e Energéticos, a Gestão de Efluentes e Resíduos Industriais e a Responsabilidade Social. Devido ao potencial da ACV em contribuir para melhoria dos aspectos ambientais dos produtos, esta ferramenta pode ter importante participação no desenvolvimento desta área.

Outra grande área da Engenharia de Produção, a Gestão do Produto, pode receber uma importante contribuição da Avaliação do Ciclo de Vida, principalmente no projeto do produto, atribuindo a este, características que não oferecem riscos ao meio ambiente e a seus usuários, e que atendam aos princípios de sustentabilidade e às normas ambientais. A ACV também interfere na Engenharia do Produto, propondo a utilização de materiais menos agressivos ao meio ambiente, e o uso racional e otimizado de energia e matérias-primas. Além disso, com base nos resultados da ACV, podem-se propor estratégias no desenvolvimento de produtos com a finalidade de prolongar sua vida útil, facilitar sua desmontagem para o aproveitamento de seus componentes e possibilitar a reciclagem de seus materiais. Pode-se utilizar o projeto para desmontagem – PPD (*design for disassembly*), que permite a recuperação de partes para serem empregadas em outros produtos, eliminando a necessidade de fabricar essas partes novamente, reduzindo assim, a utilização de matéria-prima e a geração de resíduos.

Na Gestão de Operações, a ACV pode contribuir para definir a escolha dos recursos de produção, além da forma como as atividades relacionadas à fabricação do produto ou a prestação dos serviços serão integradas. Com base nos resultados da ACV, elaboram-se de forma mais eficiente o planejamento da utilização dos recursos, o planejamento das necessidades de materiais, o desenvolvimento de produtos e o controle da produção.

Não somente os produtos podem ser modificados a partir das conclusões da ACV, mas também seus processos de produção. Caso seja constatado que um processo não está sendo realizado de uma forma sustentável, ou seja, está demandando mais materiais e energia que o necessário, ou que está gerando resíduos em excesso, esse deve ser objeto de estudos e melhorias. A Logística de distribuição do produto e de suas matérias-primas também é alvo da Avaliação do Ciclo de Vida. Os impactos causados pelo tipo de transporte utilizado e pela forma como ocorre a movimentação de materiais também são avaliados pela ACV. Considera também a logística reversa, que consiste no recolhimento pela indústria dos produtos inservíveis ou defeituosos para que sejam reaproveitados ou para que seja dada uma destinação adequada no caso de não ser possível seu reaproveitamento.

A adequação às leis ambientais não é somente uma questão de obrigatoriedade, é também uma questão estratégica. A imagem de uma organização está atrelada à forma como esta lida com os aspectos ambientais de seus produtos, serviços e processos. Tanto do ponto de vista da sociedade como do meio empresarial, uma organização deve possuir boa reputação não só para consolidar sua imagem, mas também para aproveitar oportunidades de negócios, já que muitas empresas exigem que seus parceiros possuam certificações que comprovem sua adequação às normas ambientais.

A Avaliação do Ciclo de Vida dos produtos permite ao engenheiro de produção encontrar fontes alternativas de matéria-prima e energia para tais produtos, desenvolver processos que necessitam de menos insumos e que geram menos resíduos, identificar a possibilidade de reutilizar subprodutos ou partes do produto acabado, e dar um destino adequado ao produto após seu descarte pelo consumidor ou usuário.

1.4. Condições de Contorno

O trabalho apresenta, por meio de estudo teórico, os procedimentos para realização da Avaliação do Ciclo de Vida do produto como uma ferramenta capaz de auxiliar a Gestão Ambiental e o Projeto do Produto. É apresentada cada etapa da ACV, descrevendo os passos para realização de cada uma, e relacionando-as com as fase do ciclo de vida do produto. Serão abordados conceitos de Ecologia Industrial e Desenvolvimento Sustentável com o objetivo de oferecer sustentação à escolha do tema. O estudo é ilustrado por exemplos de aplicação da ACV com o objetivo de comprovar a aplicabilidade da ferramenta e relacionar os conceitos teóricos à prática.

1.5. Metodologia

Durante a elaboração deste Trabalho de Conclusão de Curso foram pesquisados materiais referentes ao assunto para consolidar sua escolha como tema do trabalho, e para o devido embasamento teórico que foi exigido ao longo de sua preparação. Como fontes de pesquisa foram considerados livros, trabalhos acadêmicos, artigos publicados, sites relacionados ao assunto e o apoio do professor-orientador.

Escolhido o tema, foi feita uma seleção inicial da bibliografia a ser utilizada, que foi complementada durante a execução do trabalho. A partir daí, fez-se um estudo do tema, que permitiu identificar tópicos mais específicos que foram abordados por este trabalho, e foi dada continuidade com maior direcionamento através da apresentação de casos em que a ACV foi aplicada ou que há um potencial para sua aplicação. Paralelamente à pesquisa bibliográfica, foram coletados dados para dar sustentação às explanações sobre a ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida – ACV e à elaboração do trabalho.

1.6. Estrutura do Trabalho

O presente Trabalho de Conclusão de Curso está estruturado em quatro capítulos, seguindo uma ordem que permite apresentar o tema e, ao longo da leitura, aprofundar em questões mais detalhadas que exigem os conhecimentos básicos apresentados na parte introdutória deste trabalho.

O Capítulo I introduz o tema, abordando assuntos que justificam a escolha do tema do trabalho e contextualiza-o no cenário atual de mudanças no que diz respeito às questões ambientais e de sustentabilidade, sempre buscando relacionar o tema à Engenharia de Produção.

No Capítulo II, são tratadas as questões que possuem ligação com o tema do trabalho, nas quais a ferramenta fonte de estudo tem alguma influência ou das quais sofre influência. As informações levantadas neste capítulo são embasadas por relatos pesquisados durante a revisão bibliográfica do presente trabalho, informações estas que são consideradas ao longo dos capítulos subsequentes.

O Capítulo III traz a descrição da ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida. Apresenta as fases necessárias a sua execução, sua aplicação, sua contribuição para empresas públicas e privadas, além de exemplos práticos de sua utilização, buscando ilustrar os conceitos que foram expostos nos capítulos anteriores.

O Capítulo IV apresenta as considerações finais sobre a pesquisa, relatando o conhecimento adquirido com o Trabalho de Conclusão de Curso e fazendo considerações finais acerca do tema.

Capítulo II

Gestão ambiental e a ACV

2.1. A relação entre desenvolvimento e o meio ambiente

O desenvolvimento econômico é objetivo de grande parte das atividades humanas, e é um processo irreversível que está vinculado a uma série de mudanças: sociais, tecnológicas, políticas e ambientais. Atribuindo maior enfoque às mudanças ambientais, considerar-se-á a interação do desenvolvimento com o meio ambiente, observando o papel que este desempenha de fornecedor de recursos e receptor de resíduos.

Como qualquer ser vivo, o ser humano retira recursos do meio ambiente para prover sua subsistência e devolve as sobras. No ambiente natural, as sobras dos organismos que, ao se decomporem, devolvem elementos químicos que serão absorvidos por outros seres vivos, de modo que nada se perde. O mesmo não acontece com as sobras das atividades humanas, que serão denominadas aqui genericamente de poluição. (BARBIERI, 2007, p. 20).

Deve-se observar que o desenvolvimento não pode ser alcançado a qualquer custo. As ações tomadas no presente precisam levar em conta suas conseqüências imediatas e futuras. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), “Sustentabilidade é o atendimento das necessidades atuais, sem comprometer a possibilidade de satisfação das gerações futuras.” (ONU, Brundtland Commission, na publicação “Our Common Future”, Oxford University Press) *apud* Bier, Bousfield e Abreu (2006, p. 27).

Sachs (2000) apresenta as cinco dimensões do desenvolvimento sustentável: cultural, social, espacial, econômica e ambiental. A sustentabilidade cultural está associada à transmissão de valores fundamentais, como os sentidos de solidariedade, justiça e liberdade. Já os princípios de sustentabilidade social relacionam-se basicamente à busca constante pela melhoria da qualidade de vida dos cidadãos, à garantia de segurança e justiça e à promoção da igualdade de oportunidades. A sustentabilidade econômica tem seus princípios baseados na organização da estrutura econômica, na lucratividade a longo prazo e na preservação do patrimônio, seja este tangível ou não. Na dimensão espacial da sustentabilidade, está o conceito de organização do espaço, rural e urbano, para reduzir a ocupação desordenada, a concentração de atividades e a centralização do poder.

Como já dito anteriormente, neste trabalho, é dado maior enfoque à sustentabilidade ambiental, que está associada à eficiência na utilização dos recursos naturais, limitação do consumo de combustíveis fósseis e recursos escassos, controle da geração de resíduos e de poluição, reuso, remanufatura e reciclagem de produtos. Por sustentabilidade ambiental

entende-se como “o uso das funções vitais do ambiente biofísico de maneira a permanecer disponível indefinidamente.” (EMBRAPA,2008).

2.2. O meio ambiente e a crise ambiental

O crescimento populacional, a intensificação das atividades industriais e o movimento da população do campo para as cidades, que acelerou o processo de urbanização, são fenômenos que tiveram sua progressão acentuada durante o século XX, e que provocaram e vêm provocando consequências sobre o meio ambiente, como ressaltam Itani e Vilela (2007):

O processo de forte industrialização e urbanização verificado a partir de meados do século XX, com seus padrões de processos produtivos e de consumo, vem provocando impacto no meio ambiente e afetando a saúde da sociedade. Os resíduos e poluentes no ar, no solo e na água vêm contaminando várias áreas e provocando doenças entre a população. Muitos desses impactos negativos são irreversíveis, apresentando-se como problemas para a sociedade. (ITANI; VILELA. 2007. p. 1).

Além disso, as sociedades experimentaram ao longo do tempo várias mudanças no que se refere aos hábitos de consumo. Os produtos foram se adequando às expectativas de seus consumidores e usuários, e o ritmo da produção acompanhando a demanda e o imediatismo exigido quando se pensa em adquirir um produto. Tais fatores podem contribuir para a ocorrência de impactos ambientais. Conforme relata JACOBI (*apud* Portilho, 2005, p. 255): “o planeta está chegando a um ponto cada vez mais crítico, observando-se que não pode ser mantida a lógica prevalecente de aumento de consumo. Já se verificam os impactos no plano ecológico global”.

Os processos se modernizaram, novas matérias-primas passaram a ser utilizadas, a rapidez e o volume da produção aumentaram significativamente para atender a demanda gerada pelo crescimento populacional, e com isso a oferta de produtos cresceu, assim como o consumo dos recursos naturais. De acordo com Schenini e Nascimento (2002), o constante crescimento da população do planeta gera um aumento na demanda por bens e serviços, além de vários recursos essenciais a sua sobrevivência. Dentre esses recursos, podem-se citar o espaço, a energia disponível, os recursos não renováveis, a água e os alimentos.

As alterações nos hábitos de consumo, o volume de produtos e resíduos, as novas matérias-primas empregadas na fabricação destes produtos, as fontes de energia que passaram a ser mais exploradas, e o crescimento populacional vêm provocando um impacto

ambiental em escala globalizada. De acordo com a Resolução nº 001/86, do Conselho Nacional do Meio Ambiente, impacto ambiental pode ser definido como:

[...] a alteração das propriedades físico-químicas e biológicas do meio ambiente causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança, o bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos. (CONAMA, 1986).

A introdução de novos materiais nos processos de manufatura provocou o surgimento de produtos cujas características, às vezes, são incompatíveis com o conceito de sustentabilidade, pois muitos desses materiais levam mais tempo para se degradar no meio ambiente ou não permitem seu reaproveitamento após o descarte. Todo produto é desenvolvido com o intuito de proporcionar a seus usuários o bem-estar desejado, atendendo suas necessidades, sejam estas básicas ou não. Para Hahn (1994), a civilização entrou em uma nova era, na qual as sociedades avançadas em todo o mundo rapidamente adquirem habilidades para desenvolver materiais com o intuito de satisfazer as necessidades humanas.

Mas o desenvolvimento, que a princípio é benéfico do ponto de vista do consumidor, nem sempre está acompanhado de uma consciência ambiental. Ou seja, os impactos que esses produtos podem causar ao longo de sua existência, na maioria dos casos, não são levados em consideração, seja pela falta de informação, seja pela irresponsabilidade de parte da sociedade. Isso torna necessária uma tomada de consciência através uma ponderação individual e coletiva, como afirma Jacobi (2003):

A reflexão sobre as práticas sociais, em um contexto marcado pela degradação permanente do meio ambiente e do seu ecossistema, cria uma necessária articulação com a produção de sentidos sobre a educação ambiental. (JACOBI, 2003, p. 1).

O conforto e a comodidade proporcionados por vários produtos, quase sempre têm um peso maior na escolha por parte do consumidor se comparados ao fato de que esses produtos, em alguma fase do seu ciclo de vida, podem não estar em conformidade com os princípios da sustentabilidade. Porém, essas práticas vêm passando por modificações, principalmente devido à disseminação dos conceitos de sustentabilidade e preservação ambiental, fazendo surgir o que Chamorro (2001) chama de consumidores ecológicos, que são aqueles que manifestam sua preocupação pelo meio ambiente em seu comportamento na hora da compra, buscando produtos que são percebidos como de menor impacto sobre o meio ambiente.

A diminuição da vida útil dos produtos para aumentar a satisfação momentânea do usuário acaba por gerar uma quantidade enorme de material que não recebe um destino adequado. Na maioria das vezes, o consumo de produtos com uma vida útil pequena não é uma escolha do consumidor, e sim uma imposição dos fabricantes. Os indivíduos são obrigados a consumir bens que se tornam obsoletos antes do tempo, já que cada vez mais se tornam funcionalmente inúteis logo após saírem das fábricas. Durning (1992) ressalta o fato de que os eletrodomésticos fabricados na década de 50 eram muito mais resistentes que os produzidos atualmente, sendo fabricados para durar e não quebrar com facilidade; caso quebrassem, seu conserto era economicamente viável, o que atualmente não acontece mais com frequência.

Mas não é só a diminuição do tempo de vida útil dos produtos que contribui para agravar a crise ambiental pela qual a sociedade atual vem passando. Muitos produtos possuem um tempo de vida relativamente grande, mas ao longo de sua existência, provocam consequências danosas sobre o meio ambiente, como é o caso dos automóveis e motocicletas. De acordo com o Ministério das Cidades, o transporte individual é responsável, nas cidades brasileiras, por 74% do consumo de energia e por 80% da emissão de poluentes nocivos ao meio ambiente. Ou ainda, alguns produtos, embora pareçam ambientalmente amigáveis, em alguma fase de seu ciclo de vida podem apresentar aspectos ambientais que em determinado momento causam agressões ao meio ambiente.

A conscientização da sociedade com relação às questões ambientais vem crescendo ao longo das últimas décadas, mesmo que de forma lenta e gradual, e o tema sustentabilidade tem ganhado notoriedade, em virtude da divulgação da crise ambiental por parte dos meios de comunicação, dos grupos ativistas e da comunidade científica. Já é possível observar ações com o objetivo de reduzir ou eliminar os impactos do desenvolvimento sobre o meio ambiente. Kirchner (2007) ressalta que a comunicação tem desempenhado importante papel na mudança de políticas governamentais entre as nações, criando novos métodos de industrialização, proporcionando alterações na legislação ambiental e formando uma economia básica viável para as decisões de consciência ambiental. Com todos esses fatores, verificam-se impactos consideráveis nos setores públicos e privados.

A legislação ambiental se desenvolveu, os órgãos de fiscalização ganharam maior poder de atuação e a própria sociedade passou a ser mais exigente quanto às práticas de fabricação e aos produtos consumidos. De acordo com o presidente do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama, Eduardo Martins, com a aprovação da Lei de Crimes Ambientais e sua sanção, a sociedade brasileira, os órgãos ambientais e o Ministério Público passaram a contar com um instrumento que lhes garante

agilidade e eficácia na punição aos que infringem as leis que protegem o meio ambiente (IBAMA, 2008).

No meio empresarial, a necessidade de adequação ambiental não é somente consequência dos requisitos legais, é também resultado das exigências do mercado, que impõe rígidas normas de controle ambiental às empresas que querem se estabelecer. Pereira (2004) afirma que em todo mundo, empresas, governos, empregados, associações e sindicatos estão atribuindo maior importância à discussão sobre a responsabilidade das empresas, baseados no consenso de que estas são parte da sociedade, e portanto, suas ações interferem na vida da comunidade.

Por exemplo, empresas que zelam pelo cumprimento das leis ambientais e pelo controle de seus aspectos ambientais, exigem que seus fornecedores e parceiros estejam em plena sintonia com os princípios de sustentabilidade. Em alguns casos, as exigências vão além do cumprimento da legislação. Torna-se um diferencial competitivo o fato de possuir certificados que comprovam a adequação dos processos a normas referentes ao controle de poluição e à utilização de recursos naturais. Santos *et al.* (2002) ressaltam o fato de que vários setores da sociedade se organizam em defesa de questões ambientais, exigindo das empresas e governos posturas ambientalmente corretas. Para cumprir com essas exigências, as organizações utilizam meios para avaliar e controlar os impactos de suas atividades sobre o meio ambiente a fim de se adequarem à legislação e às normas vigentes.

2.3. Modelos pontuais de gestão ambiental

A mudança dos padrões de produção e consumo é um ponto chave para a sociedade caminhar rumo ao desenvolvimento sustentável. De acordo com Ministério do Meio Ambiente (2006), a Agenda 21 menciona três aspectos fundamentais para a mudança destes padrões: o exame dos padrões insustentáveis de produção e consumo; o desenvolvimento de políticas e estratégias nacionais de estímulo a mudança nos padrões insustentáveis de consumo; e estratégias para estimular o uso mais eficiente da energia e dos recursos.

Com o objetivo de mudar os padrões de produção, são adotados alguns modelos que estimulam a mudança, como por exemplo, a Produção Mais Limpa, o Ecodesign, a Ecoeficiência, além dos sistemas de gestão ambiental e respectivas certificações, como é o caso da série ISO 14000. Esses modelos se aplicam a determinadas fases do ciclo de vida do produto, visando obter resultados que reduzem ou eliminam as consequências negativas

dos produtos sobre o meio ambiente, compatibilizando estes com os conceitos e práticas do desenvolvimento sustentável.

No caso da Produção Mais Limpa (PML), o foco é utilizar, no processo de fabricação ou na execução do serviço, recursos naturais renováveis, eliminar o uso recursos não-renováveis e que causam impactos ambientais. De acordo com a UNIDO/UNEP (1989), a PML “é uma estratégia ambiental preventiva aplicada a processos, produtos e serviços para minimizar os impactos sobre o meio ambiente”.

Segundo o Greenpeace (1997), a PML tem como foco principal a atenção ao processo e ao produto de forma que sejam utilizados recursos naturais renováveis e que não causem danos ao meio ambiente. O processo é caracterizado pelo uso eficiente de energia, fontes de matérias-primas renováveis e processo atóxico. Já o produto é caracterizado pela durabilidade de sua vida útil, reutilização, embalagens não agressivas ao meio ambiente e materiais recicláveis.

Já o Ecodesign contribui para o desenvolvimento sustentável através de soluções efetivas no projeto e desenvolvimento de produtos. Segundo Giannetti *et al.* (2007), o Projeto para o Meio Ambiente ou Design para o Meio Ambiente (PMA/DfE) representa um importante instrumento para se atender aos requisitos ambientais, pois incorpora critérios relativos aos aspectos ecológicos à metodologia do design de produtos, atribuindo aos aspectos ambientais, o mesmo status que se dá a valores tradicionais do projeto como estética, funcionalidade, ergonomia, economia, entre outros. O Ecodesign introduz o conceito de prevenção a todo o ciclo de vida do produto, atuando inclusive na fase de planejamento e concepção, quando já se podem mensurar os impactos ambientais, sendo possível assim, evitá-los ou minimizá-los.

A Ecoeficiência consiste na medição de fatores que caracterizam o desempenho ambiental de produtos e processos, indicando a eficiência na utilização de matérias-primas, energia, recursos renováveis e não-renováveis. Sendo assim, mostra a relação entre a quantidade de recursos utilizados e quantidade desperdiçada. Como expressam Sisinno e Moreira (2005), o processo de produção em um programa de ecoeficiência é permanentemente monitorado, sendo identificadas as fontes de consumo de água, energia, matéria-prima e outros recursos dos quais podem ou não estar ocorrendo desperdícios ocultos, provocando conseqüente aumento nos gastos e aumentando a geração de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas. Esses desperdícios podem estar relacionados a problemas operacionais, à qualidade dos materiais e à falta de procedimentos e de treinamento adequados oferecidos às equipes.

Já o World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) *apud* Michelini *et al.* (2004) define o conceito de Ecoeficiência associando-o ao impacto dos negócios, sendo o trabalho direcionado a minimizar impactos ambientais, devido ao uso minimizado de matérias-primas: produzir mais com menos.

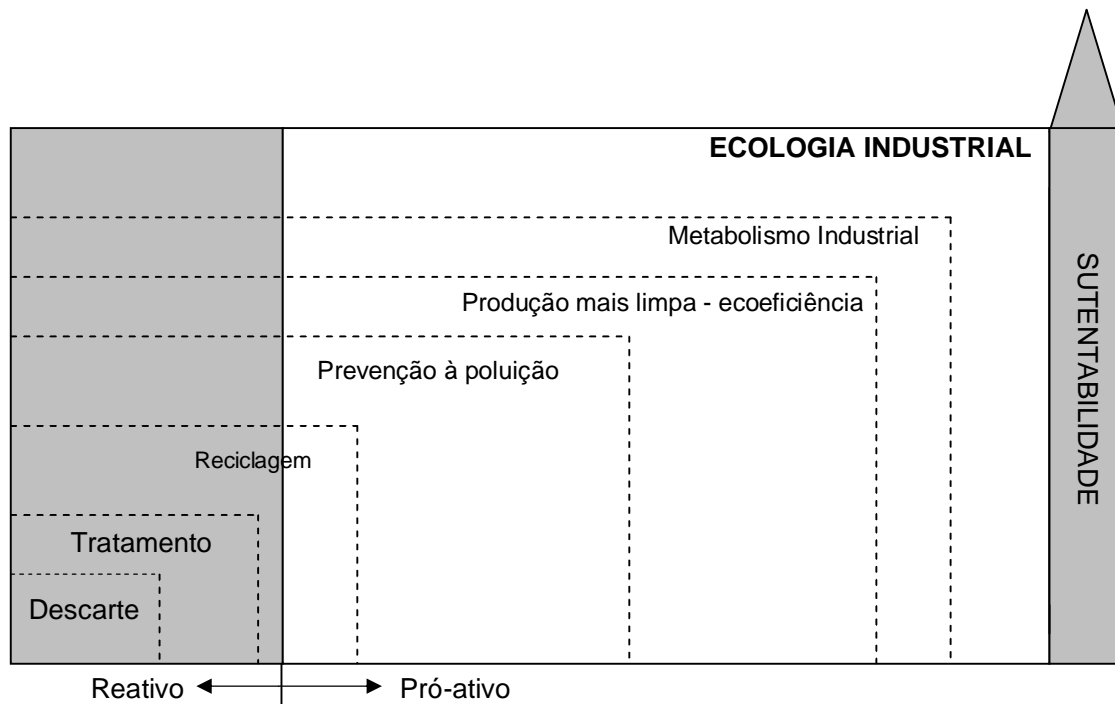


Figura 01: Estratégias para reduzir os impactos ambientais

Fonte: Almeida e Giannetti (2006)

De acordo com a figura 01, podem-se usar estratégias para reduzir os impactos ambientais e contribuir para a sustentabilidade. Segundo Almeida e Giannetti (2006), cada atividade ocorre em um nível específico do sistema, e a Ecologia Industrial pode englobar estas estratégias para beneficiar o sistema como um todo. Algumas estratégias surgem em respostas a uma situação que já ocorreu ou que ocorre normalmente. Outras buscam antecipar-se aos efeitos indesejáveis de um possível impacto ambiental em alguma fase do ciclo de vida do produto.

2.4. Avaliação do Ciclo de Vida

Contudo, todos os modelos apresentados acima abordam a gestão ambiental de uma forma pontual, ou seja, estão focados em determinada parte da cadeia produtiva, não

considerando todas as fases do ciclo de vida do produto. Isso faz com que não se tenha uma visão sistêmica da cadeia produtiva, restringindo a atuação sobre seus aspectos ambientais e as oportunidades de melhoria que podem ser observadas a partir de uma análise mais abrangente. Giannetti *et al.* (2003) afirmam que não se podem realizar avaliações fragmentadas de impactos ambientais causados pelas atividades industriais. As oportunidades de redução da geração de resíduos e do consumo de matérias-primas e energia devem ser analisadas de forma mais abrangente, com o objetivo de interligar o destino de materiais e de sua transformação em produto por meios de vários processos.

Esta necessidade de considerar toda a cadeia produtiva na análise dos impactos ambientais dos produtos fez surgir uma ferramenta para o acompanhamento dos ciclos de produção e identificação de alternativas de interação entre processos com o intuito de identificar oportunidades de melhoria dos aspectos ambientais. Essa ferramenta, objeto de estudo deste trabalho, é denominada Avaliação do Ciclo de Vida – ACV, definida por Guidelines for life-cycle assessment (*apud* Almeida e Giannetti, 2006) como sendo um estudo que inclui o ciclo de vida completo do produto, processo ou atividade, considerando a extração e o processamento de matérias-primas, a fabricação, o transporte e a distribuição, o uso, a reutilização, a manutenção, a reciclagem e a disposição final, para avaliar o impacto ambiental de bens e serviços. A Avaliação do Ciclo de Vida quantifica os fluxos de energia e de materiais no ciclo de vida do produto.

A Environmental Protection Agency - EPA (1993), dos Estados Unidos, define a Avaliação de Ciclo de Vida como “uma ferramenta para avaliar, de forma holística, um produto ou uma atividade durante todo seu ciclo de vida”.

O mercado competitivo faz com que as empresas apresentem diferenciais em relação a seus concorrentes. Esses diferenciais estão relacionados à qualidade e ao controle dos aspectos ambientais de seus produtos e processos. É diante desse cenário empresarial que surge a necessidade da utilização da ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida, como ressaltam Takahashi e Morais (2000):

A dinâmica competitiva do mercado globalizado impõe necessidades cada vez mais rigorosas de qualidade e controle de produtos e processos. Neste contexto, a análise do ciclo de vida do produto (ACV) surge como uma ferramenta de controle com ampla aplicabilidade. A ACV é uma ferramenta de análise de desempenho ambiental de sistemas de produção utilizada como estratégia para inserção no mercado. (TAKAHASHI; MORAIS, 2000, p. 1).

Como define o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia IBICT (2006), a Avaliação do Ciclo de Vida é uma técnica para avaliação dos aspectos ambientais

e dos impactos potenciais associados a um produto, compreendendo as etapas que vão desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares que entram no processo produtivo até a disposição do produto final, abordando parâmetros como: produção de energia, fluxograma das atividades, transporte, consumo de energia não renovável, impactos relacionados com o uso ou aproveitamento de subprodutos, reuso do produto e questões relacionadas à disposição, recuperação ou reciclagem de resíduos e embalagens.

De acordo com Valt (2004), a ACV permite a identificação de oportunidades de melhorias dos aspectos ambientais considerando as várias fases de um sistema de produção, contribuindo para a diminuição do consumo de recursos naturais e geração de resíduos.

Segundo o IBICT (2006), o primeiro estudo realizado foi implementado por um fabricante de refrigerantes mundialmente conhecido nos anos 70 com o objetivo de comparar os diferentes tipos de embalagens de refrigerante e selecionar qual deles se apresentava como o mais adequado do ponto de vista ambiental e de melhor desempenho com relação à preservação dos recursos naturais. Este estudo ficou conhecido como *Resource and Environmental Profile Analysis - REPA*.

Mais tarde, muitos consultores passaram a estudar a metodologia REPA, e assim, foram acrescentando novos critérios que contribuíram para uma melhor análise dos impactos ambientais. Porém, estudos sobre os mesmos produtos ou serviços foram realizados com modelos diferentes, encontrando-se resultados diferentes, o que gerou confusão acerca de sua interpretação, fazendo com que sua validade fosse questionada. Este fato foi agravado pelo surgimento e proliferação dos chamados Rótulos Ambientais, que segundo Barboza (2001), é “a certificação de produtos adequados ao uso e que apresentam menor impacto no meio ambiente em relação a outros produtos comparáveis disponíveis no mercado”. Inicialmente, estes eram atribuídos com base em apenas um aspecto ambiental do produto ou serviço, não levando em consideração todas as fases do ciclo de vida do produto.

Com isso, a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) iniciou os primeiros trabalhos de sistematização e padronização dos termos e critérios da ACV. O código de conduta da SETAC define a Avaliação de Ciclo de Vida como:

[...] um processo para avaliar os impactos ambientais associados com um produto, processo ou atividade através da identificação e quantificação da energia e materiais usados e resíduos e emissões liberados no ambiente, calcular o impacto destes no ambiente, e identificar e avaliar oportunidades para melhorias ambientais efetivas. A avaliação inclui todo o ciclo de vida do produto, processo ou atividade, desde a extração e processamento das matérias-primas, produção, transporte e distribuição, uso, reutilização, manutenção, reciclagem e deposição final. SETAC (1993).

2.4.1. Histórico da ACV

Conforme relata Chehebe (2002), os primeiros estudos relacionados ao que se chamam hoje de Avaliação do Ciclo de Vida tiveram início durante a primeira crise do petróleo. Essa crise gerou uma busca por fontes alternativas de energia e chamou a atenção da população mundial para a necessidade de melhor utilização dos recursos naturais. Naquela época, vários estudos foram realizados com o intuito de avaliar os processos produtivos e racionalizar o consumo das fontes de energia não-renováveis. Apesar de esses estudos terem como foco a questão energética, alguns deles chegaram a considerar aspectos ligados à questão ambiental, na medida em que estimavam as emissões geradas a partir do consumo de cada tipo de fonte de energia.

Muitos trabalhos desenvolvidos abordavam os materiais para embalagens segundo as discussões sobre reciclagem, comparando as então recentes embalagens recicláveis com as retornáveis. Em 1965 a Coca-Cola custeou um estudo realizado pelo MRI (*Midwest Research Institute*) com o objetivo de comparar diferentes tipos de embalagem para refrigerantes e de determinar qual delas apresentava índices mais adequados de emissão para o meio ambiente e melhor desempenho na utilização dos recursos naturais. O processo de quantificar o consumo de recursos naturais e os índices de emissão utilizados pela Coca-Cola neste estudo ficou conhecido como REPA (*Resource and Environmental Profile Analysis*). Esse modelo foi aprimorado em 1974 pelo MRI durante um estudo para a EPA (*Environmental Protection Agency*), e é reconhecido como um marco para o surgimento do que se conceitua hoje como Avaliação do Ciclo de Vida – ACV (*Life Cycle Assessment*).

De acordo com Barbieri (2007), essa ferramenta tem sido usada por muitas empresas e foi sistematizada por diversas instituições e regulamentada em países como Alemanha, França, e Estados Unidos. Desde meados da década de 1980, a ACV se tornou um instrumento para auxiliar a regulamentação pública ambiental no âmbito da Comunidade Européia. Grandes empresas da Europa criaram em 1992 a Sociedade para Promoção do Desenvolvimento da ACV (SPOLD), que, além de outras contribuições, produziu vários guias para orientar as empresas quanto à aplicação dessa ferramenta.

2.4.2. A ACV e as normas ISO

Existem normas que orientam as organizações no sentido de se tornarem adequadas ao contexto de melhoria dos aspectos ambientais relacionados às suas atividades. Essas normas incluem planos dirigidos para tomadas de decisão que contribuam para prevenção dos impactos ambientais como, contaminação do solo, água, ar. Exemplos são as normas ISO 14000 – Gestão Ambiental, que tratam sobre “o que a organização faz para minimizar os efeitos nocivos ao ambiente causados pelas suas atividades” (ISO, 2000).

Quadro 01: Normas ISO 14040 – Avaliação do Ciclo de Vida

Nº. ano	Título da Norma
14040:1999	Avaliação do ciclo de vida – princípios e estruturas.
14041:1998	Avaliação do ciclo de vida – objetivos e escopo, definições e análise de inventários.
14042:2000	Avaliação do ciclo de vida – avaliação de impacto de ciclo de vida.
ISO/TR 14043:2000	Avaliação do ciclo de vida – interpretação dos resultados de um estudo de avaliação do ciclo de vida.
ISO/TS 14048:2002	Avaliação do ciclo de vida – informações sobre a apresentação de dados para um estudo de avaliação do ciclo de vida.
ISO/TR 14049:2002	Avaliação do ciclo de vida – exemplos para a aplicação da norma ISO 14041:1998.

Fonte: (Adaptado de Barbieri, 2007).

Como mostra o quadro acima, a série ISO 14040 trata da Avaliação do Ciclo de Vida, especificando sua estrutura geral e orientando a elaboração de cada uma de suas fases. Também fornece exemplos de algumas das formas de aplicação da ACV e padrões para a apresentação de dados.

Chehebe (2002) ressalta que as normas ISO definem requisitos gerais para a condução de ACV's e estabelecem critérios para a divulgação de seus resultados. O propósito dessas normas é oferecer às empresas ferramentas para a tomada de decisão, assim como a avaliação de alternativas sobre métodos de manufatura. Elas também podem ser utilizadas para dar apoio às declarações de rótulos ambientais ou para selecionar indicadores ambientais. De acordo com Abreu *et al* (2008), as normas são necessárias para assegurar a ética, a transparência, a verificabilidade, a justificação da metodologia empregada, relatos precisos e a padronização internacional, além de inibir o mau uso da ferramenta.

2.4.3. A ACV como ferramenta de gestão

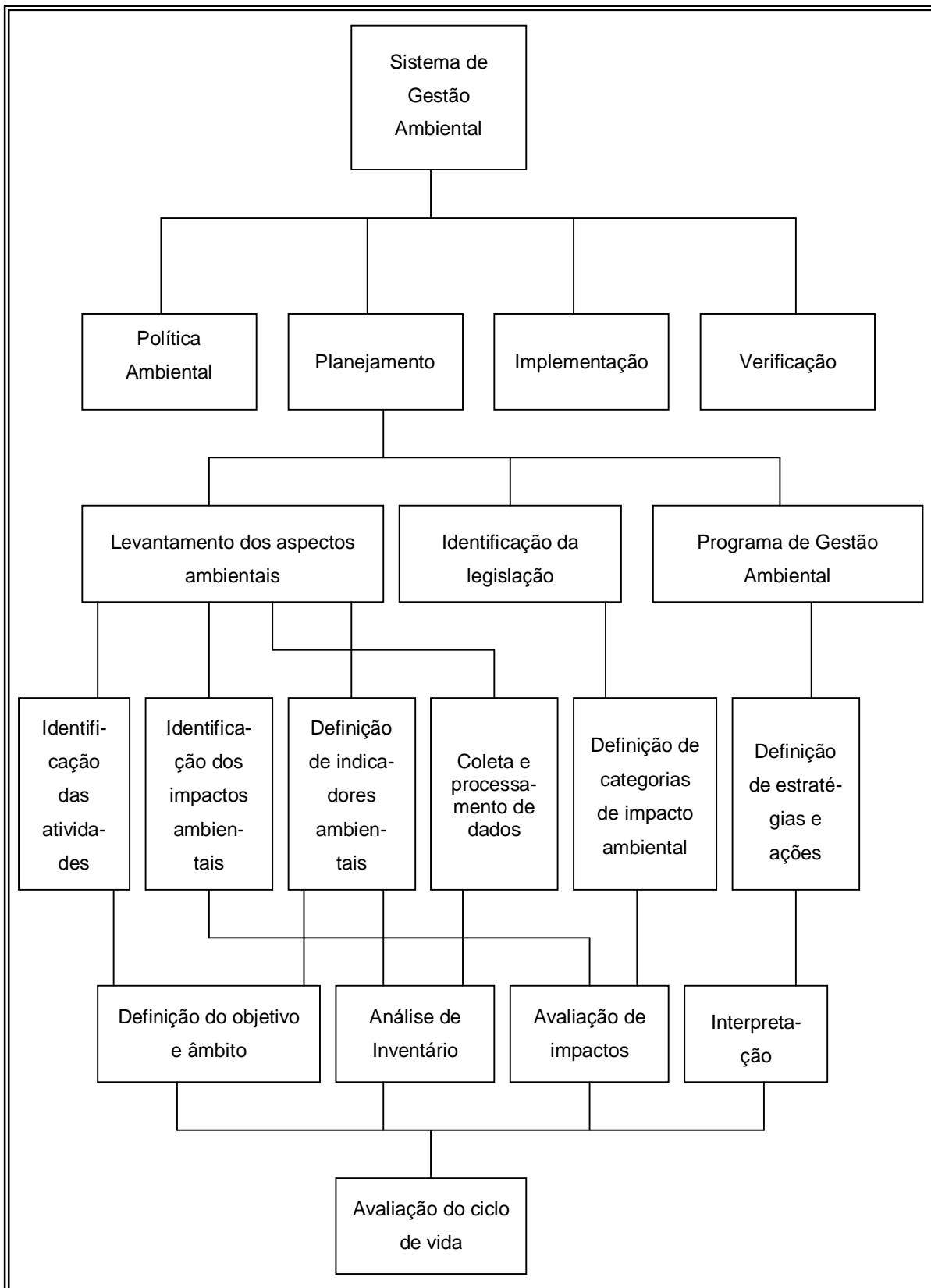
Os modelos anteriormente citados abordam a gestão ambiental de uma forma pontual, ou seja, estão focados em determinada parte da cadeia produtiva, não considerando todas as fases do ciclo de vida do produto. Isso faz com que não se tenha uma visão sistêmica da cadeia produtiva, restringindo a atuação sobre seus aspectos ambientais e as oportunidades de melhoria que podem ser observadas a partir de uma análise mais abrangente, como afirma Giannetti *et al.* (2003).

De acordo com Carreiras *et al.* (2007), a utilização de várias ferramentas de gestão ambiental de forma integrada é hoje uma prática comum, contribuindo-se desta forma para uma otimização permanente dos sistemas e das atividades. A aplicação da ACV colabora para a implementação de um Sistema de Gestão Ambiental - SGA, sendo utilizada como ferramenta de apoio à decisão no que se refere a equipamentos, técnicas e recursos a adotar. As informações recolhidas na ACV, os resultados da sua análise e interpretações podem ser úteis para tomadas de decisão, as quais são importantes no planejamento estratégico das atividades das organizações.

Para Chehebe (2002), o enfoque gerencial da Avaliação do Ciclo de Vida de produtos representa uma forte tentativa de integração da Qualidade Tecnológica do produto, da Qualidade Ambiental e do valor agregado para o consumidor e para a sociedade. Esse fato representa uma importante mudança estratégica nas empresas, haja vista os resultados que podem ser alcançados quando se lida simultaneamente com esses três vetores da qualidade no desenvolvimento integrado de um produto.

Chehebe (2002) afirma que, para a introdução e implementação de um enfoque gerencial baseado na Avaliação do Ciclo de Vida em atividades estratégicas e de decisão em uma empresa, deve-se procurar integrar a performance ambiental dos produtos com os conceitos de qualidade e valor agregado para o consumidor, de tal forma que tanto os fatores econômicos quanto ambientais sejam considerados sob a ótica do ciclo de vida. A empresa deve incorporar o enfoque da ACV aos conceitos de Qualidade Total, estabelecendo times integrados para a discussão e execução de projetos sobre desenvolvimento estratégico e desenvolvimento de produtos, incluindo também a participação de representantes de consumidores e fornecedores. Devem-se elaborar programas de médio e longo prazo visando à organização de um banco de dados, à formação de um grupo interno de “*experts*”, à realização de programas educacionais, à elaboração de manuais internos de procedimentos e ao uso sistemático da ACV para estabelecer uma base de conhecimento técnico.

FIGURA 2: Fase de planejamento do SGA vs estrutura de aplicação da ACV.



Fonte: Carreiras *et al.*, 2007

A figura 2 mostra o paralelismo existente entre a fase de planejamento do Sistema de Gestão Ambiental e as fases da ACV. Os resultados alcançados com a utilização dessa ferramenta contribuem para a tomada de decisão, pois fornece informações que devem ser consideradas durante a implementação e manutenção do SGA.

2.4.4. Aplicação da ACV nas empresas

De acordo com o IBICT (2006), as empresas utilizam a ferramenta ACV para os seguintes aplicações:

- Desenvolvimento de uma avaliação sistemática das conseqüências ambientais relacionadas a um determinado produto;
- Análise das trocas ambientais associadas com um ou mais produtos ou processos específicos para obter dos tomadores de decisão (estado, comunidade e outros) aprovação para alguma ação planejada;
- Quantificação das emissões de poluentes para o ar, água e terra durante cada estágio do ciclo de vida ou ao processo que mais contribui para essas emissões;
- Avaliação dos efeitos do consumo de materiais e das emissões de poluentes sobre o meio ambiente e sobre o homem;
- Identificação de áreas de oportunidade para atingir uma maior eficiência econômica na concepção e desenvolvimento de produtos.

Segundo o IBICT (2006), a ACV facilita o gerenciamento ambiental na indústria, uma vez que sistematiza as questões associadas ao sistema de produção, melhora a compreensão do processo de produção e facilita a identificação de prioridades para tomadas de decisão.

Pequenas e médias empresas podem não apresentar condições para desenvolver a aplicação da ACV, mas podem aplicar seus conceitos aos seus produtos e serviços, como afirma Takahashi e Moraes (2000):

É importante ressaltar ainda que uma pequena ou média empresa talvez não tenha condições de conduzir um estudo deste tipo. Porém, ainda assim, a idéia e o conceito da ACV podem ser aplicados pelas pequenas e médias empresas ao conceberem e desenvolverem os seus produtos ou serviços. (TAKAHASHI; MORAIS, 2000, p. 5).

2.4.5. As etapas da ACV

Segundo Chehebe (2002), de acordo com a norma ISO 14040, a Avaliação do Ciclo de Vida de produtos deve incluir em seu desenvolvimento e aplicação, a definição do objetivo e do escopo do estudo, uma análise do inventário, uma avaliação de impacto ambiental e a interpretação dos resultados. As etapas para realização de uma ACV podem ser classificadas, de acordo com ISO 14040 (1997) *apud* Almeida e Giannetti (2006), em: definição dos objetivos e limites do estudo, realização do inventário, e avaliação do impacto ambiental do ciclo de vida.

Definição dos objetivos e limites do estudo:

Nesta primeira etapa, elabora-se um plano, estabelecendo as razões pelas quais a ACV será efetuada, a delimitação das fronteiras do sistema, definindo o objetivo da avaliação e a metodologia a ser adota para a coleta de dados. Após a definição dos limites do sistema e do objetivo da avaliação, é necessária a escolha de uma unidade funcional para o cálculo das entradas e saídas do sistema. Unidade funcional deve ser entendida como uma referência à qual estão relacionadas às quantidades descritas no inventário. A unidade funcional representa uma unidade de medida da função que o sistema realiza. A função de um determinado processo está relacionada à produção, esta pode gerar produtos e subprodutos. Sendo assim, o processo apresenta duas funções: uma que gera o produto e outra que gera o subproduto. A unidade funcional deve necessariamente representar o impacto causado pelo produto avaliado. Pode-se também atribuir fatores de impacto a diferentes funções do sistema, como por exemplo, a massa do produto, o conteúdo energético, a densidade e outras propriedades físicas.

Realização do inventário:

A fase seguinte é a realização do inventário, em que é feito um levantamento acerca das emissões que ocorrem durante o ciclo do produto, e das quantidades de energia e matérias-primas utilizadas. O inventário representa um balanço de massa e energia, no qual todos os fluxos de entrada devem corresponder a um fluxo de saída que é quantificada como produto, resíduo ou emissão. Por meio do inventário, é possível identificar, no ciclo de vida do produto, os pontos de produção de resíduos e sua destinação, as quantidades de material que circulam pelo sistema e que dele saem. Isso permite identificar os pontos onde há maior desperdício de matéria-prima ou onde ocorre a geração de resíduos.

Avaliação do impacto ambiental do ciclo de vida:

Na fase de avaliação do impacto ambiental, o objetivo é avaliar a intensidade e a relevância dos impactos ambientais com base na análise do inventário. Essa avaliação procura determinar a gravidade dos impactos sobre o meio ambiente através de três etapas: classificação, caracterização e valoração.

Na classificação são agrupados os dados obtidos através do inventário em categorias de impacto. Essas categorias, de uma forma geral, são: o esgotamento de recurso, a saúde humana e os impactos ecológicos.

Durante a etapa de caracterização ocorre a quantificação do impacto em cada categoria através da utilização de dados físicos, químicos, biológicos e toxicológicos relacionados aos potenciais impactos.

Na fase de valoração, aborda-se a importância dos resultados da avaliação dos impactos ambientais.

Capítulo III

Metodologia da ACV

3.1. Contextualização da ACV

Em virtude da exigência do mercado por produtos e serviços que estejam alinhados aos princípios do desenvolvimento sustentável, surgiu a necessidade da aplicação de métodos que visam melhorar o desempenho ambiental desses produtos e serviços, entendendo-se por desempenho ambiental a eficiência na utilização de matérias-primas e fontes de energia, a redução da geração de resíduos durante os processos de fabricação, a diminuição dos impactos ambientais durante a utilização do produto, a possibilidade de reaproveitamento do produto após período de utilização, e o potencial poluidor do produto ao ser descartado pelo consumidor ou usuário.

Uma ferramenta utilizada para identificar as oportunidades de melhoria de um produto no que diz respeito aos aspectos ambientais é a Avaliação do Ciclo de Vida - ACV do produto. Segundo Almeida e Giannetti (2006), essa ferramenta busca, em cada estágio da existência do produto, desde a extração de matéria-prima até a disposição final, fatores que possam interferir no meio ambiente. Através da análise do fluxo de materiais e energia, é possível quantificar e qualificar os potenciais danos ambientais ao longo do ciclo de vida do produto, englobando a retirada de matéria-prima da natureza, os processos de fabricação e embalagem, o transporte e distribuição, a utilização por parte do usuário, o descarte, a reutilização, remanufatura, reciclagem e disposição final. Em cada uma dessas fases, a avaliação do ciclo de vida considera o consumo de energia, a emissão de substâncias poluentes ou tóxicas, a utilização da terra e de outros recursos naturais.

3.2. Contribuição da ACV para os setores público e privado

De acordo com Almeida e Giannetti (2006), a ACV tem o objetivo de proporcionar grandes vantagens às empresas que a aplicam a seus produtos, como por exemplo, permite identificar os processos, materiais e sistemas que mais contribuem para o impacto ambiental, comparar opções para minimizar esse impacto ambiental, e ter uma visão para se elaborar uma estratégia que considere o projeto do produto, a utilização de materiais e o consumo de energia.

No setor público, a ACV pode ser aplicada para se desenvolver políticas de longo prazo com o intuito de regulamentar o uso de materiais, a conservação de reservas naturais e a redução de impactos ambientais durante o ciclo de vida dos produtos. Além disso,

permite avaliar a redução de reservas naturais e desenvolver tecnologias alternativas para a utilização de resíduos.

De acordo o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), diversos países têm utilizado a ACV no estabelecimento de suas políticas ambientais. O uso da ACV colabora para a definição de políticas consistentes, evitando assim que impactos ambientais sejam transferidos para outras fases do ciclo de vida do produto ou serviço.

3.3. A ACV na execução de projetos

O projeto da grande maioria dos produtos visa apenas atender às necessidades do consumidor, sem levar em conta os impactos ambientais decorrentes de cada fase de seu ciclo de vida. Com a aplicação da ACV, podem ser incluídos no projeto, critérios que estabelecem a correta utilização de matérias-primas, o consumo racional das fontes de energia, a possibilidade de reutilização, remanufatura ou reciclagem do produto após o descarte, e também o emprego de técnicas e procedimentos que resultem em uma boa relação custo/benefício, principalmente no que tange os aspectos ambientais.

Com base na ACV, podem-se promover alterações no projeto do produto de modo a torná-lo ambientalmente amigável. Por exemplo, a partir dos resultados da ACV, pode-se concluir que o material utilizado na fabricação do produto não permite que este seja reciclado, ou que sua estrutura física dificulta a desmontagem para que seus componentes possam ser reaproveitados. Sendo assim, devem-se buscar alternativas que permitam um melhor reaproveitamento do produto após este ser descartado pelo usuário. Ou ainda, se durante a avaliação do ciclo de vida do produto for constatado que sua utilização oferece algum risco ao consumidor ou ao meio ambiente, também é prudente que o seu projeto seja modificado.

Não basta que o produto seja ambientalmente correto apenas em uma ou poucas fases de seu ciclo de vida. Para que o produto seja considerado ambientalmente correto, precisa apresentar, no mínimo, um bom desempenho ambiental em cada fase de seu ciclo. Para isso, devem-se escolher materiais mais adequados, considerando a ACV; otimizar o consumo de fontes de energia não renováveis e optar pelas fontes renováveis quando possível; aumentar a vida do produto; evitar o desperdício de material; reduzir ou eliminar o uso de materiais tóxicos ou poluentes; reduzir ou eliminar o uso de substâncias que contribuem com a destruição da camada de ozônio; e buscar soluções de logística que reduzam a necessidade de transporte.

Muitos impactos ambientais podem ser evitados se forem adotadas medidas considerando os aspectos ambientais ainda no projeto do produto. Essa adoção prévia de medidas de melhoria do projeto representa uma antecipação aos problemas que possam vir a causar conseqüências indesejáveis com relação ao meio ambiente e à saúde do consumidor.

Um exemplo de projeto voltado para a adequação do produto aos conceitos de sustentabilidade é o polietileno verde, um tipo de plástico feito com etanol, desenvolvido pela empresa brasileira Braskem. Além do fato de o etanol ser obtido a partir de um recurso natural renovável, a cana-de-açúcar, o plantio desta cultura em larga escala ainda contribui para aumentar a captura de gás carbônico, um dos gases responsáveis pelo aumento do aquecimento global. Esse projeto rendeu à Braskem a classificação entre as vinte melhores empresas em termos de sustentabilidade no Guia EXAME 2007. Braskem (2007).

3.4. As organizações que usam a ACV

De acordo com Chehebe (2002), muitos países vêm utilizando técnicas de ACV para elaborar suas políticas governamentais no que se refere às questões ambientais e ao desenvolvimento sustentável. Diversos países europeus, os Estados Unidos e o Japão são exemplos de países que fazem uso da ACV.

A Alemanha e a França estabeleceram políticas rígidas de responsabilidade dos produtores para regular o uso de embalagens. Além disso, o governo alemão aprovou uma legislação que o habilita a estabelecer metas e cronogramas para a indústria implementar programas de ciclo de vida para outros produtos além das embalagens. E a França concede um rótulo ambiental chamado “*NF-Environment*”, baseado em critérios desenvolvidos a partir das informações provenientes de inventários realizados durante a aplicação da ACV.

Chehebe (2002) ainda ressalta o fato de que muitas instituições acadêmicas e centros de ciência também desenvolvem estudos sobre a ACV, entre as quais se destacam o IFEU – Instituto de Pesquisa sobre Energia e Meio Ambiente (Alemanha), a Fundação de Pesquisa Ostfold (Noruega), o Centro de Projetos RMIT (Austrália), o Instituto de Tecnologia de Massachussetts – MIT (EUA), o Centro para Gerenciamento de Recursos Ambientais (França) e o EHT – Instituto Suíço de Tecnologia e Meio Ambiente.

Além dos governos e organizações citadas, várias empresas e associações de classe utilizam as técnicas da ACV para avaliar seus processos produtivos. Alguns setores industriais têm desenvolvido estudos por meio de associações de classe, como por exemplo, a Associação de Manufaturas de Plástico da Europa, o *International Iron and Steel*

Institute, além de outras. No Brasil, nota-se o uso dessa ferramenta por parte do Instituto Técnico de Alimentação – ITAL, e de algumas empresas.

3.5. As fases da ACV

De acordo com as normas ISO 14040 *apud* Chehebe (2002), a Avaliação do Ciclo de Vida do produto deve incluir a definição do objetivo e do escopo do trabalho, uma análise do inventário, uma avaliação de impacto e a interpretação dos resultados. Segundo Almeida e Giannetti (2006), a ACV propõe uma análise bastante complexa do ciclo de vida do produto, com muitas variáveis. Por isso, há uma estrutura formal para sua execução, estrutura essa, dividida em etapas, e que seguem procedimentos estabelecidos pelas normas ISO 14040. Porém, o desenvolvimento de metodologias para avaliação do impacto ambiental ainda é um tema relativamente novo, sendo assim, pode-se dizer que de certa forma permanece incompleto.

3.5.1. Definição do Objetivo e do Escopo

Nessa fase, define-se o principal motivo para a realização do estudo, sua abrangência e seus limites, a unidade funcional, a metodologia a ser empregada e os procedimentos que garantem a confiabilidade do estudo.

Segundo Chehebe (2002), a norma ISO 14040 preconiza que na fase de definição dos objetivos seja esclarecida a utilização que se pretende dar aos resultados do estudo, a que tipo de audiência este se destina e o processo de revisão crítica que se pretende adotar. As definições que estabelecem a funcionalidade do sistema, não importando se de produtos ou serviços, devem ser dadas antes de se formular a metodologia, e como essa fase influencia diretamente o resultado final, representa uma etapa fundamental de qualquer projeto de ACV.

Chehebe (2002) ainda ressalta o caráter preliminar das definições do objetivo, pois a ACV é uma ferramenta iterativa, ou seja, faz parte de sua metodologia a revisão, sempre que necessária, do planejamento inicial.

A norma ISO 14040 estabelece que o conteúdo mínimo de um estudo de Avaliação do Ciclo de Vida deve se referir a três dimensões: onde iniciar e parar o estudo do ciclo de vida, quantos e quais subsistemas incluir, e o nível de detalhes do estudo. Estabelece ainda que essas dimensões devem ser definidas de forma compatível para atender o estabelecido nos objetivos do estudo.

Em princípio, a ACV engloba todos os estágios do ciclo de vida do produto, incluindo a extração dos recursos naturais, o processamento desses recursos, a manufatura, o uso e o reuso, e a disposição final, além de quaisquer outros processos que possam ocorrer entre os aqui mencionados. Porém, na prática, o delineamento do contorno do sistema a ser estudado deve ser feito com extrema cautela, pois um estudo excessivamente abrangente pode inviabilizar economicamente a realização da ACV. Chehebe (2002) afirma que na ACV, assim como em várias técnicas de modelagem, existem certas tensões entre a precisão e a praticidade. À medida que aumenta-se o nível de detalhamento dos modelos, adiciona-se complexidade e despesas. Por esse motivo, regras devem ser adotadas para determinar os limites do sistema e quais são os insumos, matérias-primas e fontes de energia relevantes para o estudo. Em resumo, ao iniciar-se uma Avaliação do Ciclo de Vida de um produto, é necessário estabelecer, de forma clara, o objetivo e o escopo do estudo.

De acordo com Chehebe (2002), o escopo refere-se à aplicabilidade geográfica, técnica e histórica do estudo, ou seja, de onde virão os dados, como atualizar o estudo, como a informação será manipulada e onde os dados serão aplicados. As normas ISO 14040 e ISO 14041 estabelecem padrões para o objetivo e o escopo do estudo.

Nessa fase é necessário que se defina se o objetivo do estudo é a comparação de produtos ou o estabelecimento de uma relação entre o produto em análise com um padrão; se há a intenção de atingir uma melhoria do produto ou projetar um novo; ou se o que se pretende é obter informações a respeito dos possíveis impactos ambientais que esse produto pode gerar ao longo de seu ciclo de vida. É importante também que seja informado quem está realizando o estudo e a quem este se destina. Estudos que serão tornados públicos devem seguir vários requisitos das normas ISO 14040 e ISO 14041.

Chehebe (2002) elenca os pontos que devem ser considerados na definição do objetivo e do escopo do estudo:

- O sistema a ser estudado.
- A definição dos limites do sistema.
- A definição das unidades de processo.
- O estabelecimento da função e da unidade funcional do sistema.
- Os procedimentos de alocação.
- Os requisitos dos dados.
- As hipóteses e limitações.
- Se será realizada Avaliação de Impacto e a metodologia a ser adotada.

- Se será realizada a fase de Interpretação e a metodologia a ser adotada.
- A definição dos critérios para a revisão crítica, se necessárias.

3.5.1.1 Limites do sistema

A fase de definição dos limites do sistema estabelece o contorno que delimita os subsistemas a serem estudados. Os limites da ACV são geralmente apresentados em fluxogramas que indicam a seqüência dos processos relacionados ao ciclo de vida do produto. Segundo Chehebe (2002), os limites do sistema determinam quais conjuntos de unidades de processo devem ser incluídas na ACV. Os fatores determinantes para a definição dos limites do sistema são: as aplicações pretendidas do estudo, as hipóteses realizadas, os critérios de corte, as restrições de dados e de custos, e a audiência pretendida.

Os critérios adotados para se estabelecerem os limites do sistema precisam ser identificados e claramente apresentados no escopo do estudo, e devem ser utilizados para garantir o comprometimento dos resultados obtidos com os objetivos previamente declarados, e dessa forma, atribuir transparência e confiabilidade ao processo. Qualquer informação sobre os estágios do ciclo de vida do produto que possa ser omitida deve ser mencionada, e a decisão de omiti-la deve ser justificada. Definir os limites do sistema significa, de forma resumida, estabelecer o que deve e o que não deve ser incluído no estudo. O excesso de detalhamento gera gastos e geralmente não produz efeitos consideráveis nos resultados.

Chehebe (2002) cita o exemplo da produção de determinados tipos de bens de capital, como edificações utilizadas na manufatura, que é ignorada porque os impactos ambientais desses processos são relativamente pequenos quando comparados aos impactos do ciclo de vida dos produtos.

Em alguns casos, uma definição equivocada dos limites do sistema pode fazer com que se rode em círculos. Por exemplo, a produção de energia em uma usina hidrelétrica requer aço para a construção desta, e o aço requer energia elétrica para sua fabricação.

No entanto, uma definição dos limites do sistema feita de uma forma excessivamente restritiva, também pode alterar a confiabilidade dos resultados. Por isso, deve-se ter cuidado para não ignorar nenhuma etapa relevante. Por exemplo, o transporte das matérias-primas e do produto e os processos de embalagem devem ser incluídos na maioria dos casos. Também devem ser incluídos os processos que lidam com produtos químicos que reconhecidamente são potenciais causadores de impactos ambientais.

A descrição da área geográfica que será incluída no estudo da ACV é extremamente importante, pois os efeitos das emissões sobre o meio ambiente dependem diretamente das condições locais.

Com relação à área geográfica, Chehebe (2002) afirma que um estudo de Avaliação do Ciclo de Vida pode ser baseado na localização geográfica real de uma determinada empresa ou unidade no ciclo de vida de um produto; na média de uma determinada área geográfica representando a situação real de oferta, utilizado para estudos específicos em que o produtor tem diferentes alternativas de suprimentos ou quando não é possível identificar o ofertante ou o consumidor; na pior localização geográfica, empregado quando o estudo tem foco em opções de curto prazo; ou na melhor localização geográfica, quando o objetivo do estudo é o desenvolvimento de produtos ou a sua melhoria a curto prazo.

Portanto, a escolha do método depende do objetivo do estudo. Cada método tem suas vantagens e desvantagens. Sendo assim, deve-se ressaltar que a omissão ou inclusão de dados de áreas específicas ou o uso de valores médios podem influenciar os resultados do estudo, por isso necessitam ser feitas de forma cuidadosa e criteriosa.

3.5.1.2 Unidade funcional

Uma das considerações mais importantes que se deve fazer ao se definir o escopo de um estudo de ACV é o estabelecimento das características de performance do produto a ser modelado, as quais recebem o nome de função. Um sistema pode ter várias funções. As funções escolhidas para um determinado estudo dependem de seu objetivo e escopo. Quando essas funções são quantificadas, a fim de se obter informações mais precisas, tem-se o que é chamado de unidade funcional.

De acordo com Almeida e Giannetti (2006, p.46) “unidade funcional é a referência, à qual são relacionadas às quantidades mencionadas no inventário. É uma unidade de medida da função realizada pelo sistema”.

Chehebe (2002) cita o exemplo de uma ACV aplicada a toalhas de papel e de pano. Nesse caso, a função das toalhas poderia ser definida como sendo secar as mãos, e a unidade funcional, poderia ser caracterizada pela percentagem de umidade das mãos após o uso de cada tipo de toalha separadamente. Ou também, a unidade funcional poderia ser o número de mãos que cada toalha consegue secar.

A unidade funcional deve ser claramente definida e de fácil mensuração para que o estudo não se torne complexo já em sua fase inicial, e comprometa as fases seguintes da

ACV. O propósito da unidade funcional é fornecer uma referência com a qual os dados de entrada e saída são relacionados.

3.5.2. Realização do Inventário

Após a definição do objetivo e escopo do estudo, a etapa que se segue é a realização do inventário, que consiste na coleta de dados e no processamento de cálculos. É um balanço entre o que entra no sistema em estudo e o que sai em termos de materiais e energia. De acordo com Almeida e Giannetti (2006), o inventário determina as emissões que ocorrem durante o ciclo de vida do produto e matérias-primas e fontes de energia que são utilizadas, consistindo basicamente em um balanço de massa e energia, no qual os fluxos de entrada devem corresponder a um fluxo de saída que é quantificado na forma de produto, resíduo ou emissão. A partir do inventário, podem-se identificar os pontos de produção de resíduos e a destinação que é dada a estes, as quantidades de material que circula no sistema e as quantidades que saem dele. Com o inventário, também é possível identificar os pontos críticos de desperdício de matéria-prima ou de geração de resíduos.

Como afirma Chehebe (2002), durante a realização do inventário, deve-se iniciar um programa exaustivo de coleta de dados e realizar uma investigação preliminar, ou seja, uma análise seletiva do ciclo de vida. Essa análise seletiva precisa incluir uma coleta grosseira de dados, abrangendo os pontos mais constantes da estratégia de coleta, enfatizando, a princípio, a integridade dos dados mais do que a precisão e a qualidade dos mesmos. As informações a partir dessa análise seletiva servem para ajustar as decisões tomadas anteriormente na etapa de planejamento, otimizando dessa forma, a investigação mais detalhada que se seguirá.

A norma ISO 14041 estabelece alguns princípios a serem seguidos durante a fase de realização do inventário. A norma define um padrão para análise de inventário que serve tanto para a etapa de realização do inventário de uma Avaliação do Ciclo de Vida, estabelecida de acordo com a norma ISO 14040, quanto para o que se convencionou chamar Inventário do Ciclo de Vida de produtos (ICV), como ressalta Chehebe (2002).

3.5.2.1 Categoria dos dados

Como um grande volume de dados será coletado das unidades de processo que estão dentro dos limites do sistema, e como os dados são provenientes de diversas fontes, esses devem ser organizados de forma que permita uma análise seletiva. As grandes

categorias sob as quais os dados podem ser organizados, de acordo com Chehebe (2002), são:

- Energia, matérias-primas, materiais auxiliares, outras entradas físicas.
- Produtos
- Emissões.
- Emissões para o ar, emissões para a água, emissões para a terra, outras emissões.

Essas categorias individuais podem ser posteriormente detalhadas de acordo com os objetivos do estudo. Por exemplo, pode-se desmembrar a categoria emissões para o ar em monóxido de carbono, óxidos de enxofre, fuligem, entre outros tipos específicos de emissão atmosférica.

3.5.2.2 Critérios para inclusão de dados

A escolha dos dados que serão necessários para a realização da Avaliação do Ciclo de Vida depende do objetivo e do escopo que foram anteriormente estabelecidos. Durante a fase de definição do escopo do estudo já se define um conjunto de categorias de dados para a realização do inventário.

De acordo com Chehebe (2002), se possível fosse, o ideal seria que todos os dados referentes aos fluxos de entrada e saída dos processos do sistema fossem coletados. Porém, isso inviabilizaria o estudo, tanto por questões econômicas como de tempo. Por isso, procuram-se identificar quais variáveis devem ser rastreadas até a natureza. A identificação dessas variáveis deve ser feita utilizando o máximo de dados disponíveis. Quaisquer dados que sejam eles coletados, medidos, calculados ou estimados são utilizados para quantificar as entradas e saídas de cada processo envolvido no estudo.

Por exemplo, uma indústria que deseja avaliar o impacto ambiental causado pela utilização de uma máquina elétrica terá que coletar um conjunto de informações, incluindo o consumo de energia durante a operação da máquina. A energia pode ser proveniente de fornecedores diferentes, por isso, é preciso considerar que preços e características técnicas podem ser diferentes. Isso vale para outras características do sistema em geral.

Os critérios utilizados para inclusão de dados durante a fase de realização do inventário devem ser claramente apresentados e sua escolha devidamente justificada, utilizando, se necessário forem, técnicas estatísticas para comprovar a importância da inclusão dos dados.

De acordo com Chehebe (2002), os critérios que podem ser utilizados para decidir quais variáveis serão utilizadas no estudo baseiam-se na relevância da variável em termos do:

- Balanço de massa – inclusão no estudo de todas as entradas que de forma cumulativa contribuem mais do que determinada percentagem da massa total de entrada do sistema do produto avaliado.
- Balanço energético – inclusão no estudo das entradas que de forma cumulativa contribuem mais do que uma determinada percentagem da energia total que entra no sistema do produto avaliado.
- Importância para o meio ambiente – inclusão das entradas que contribuem mais do que uma percentagem da quantidade estimada de cada categoria de dados anteriormente escolhidas. Por exemplo, se o óxido de enxofre for selecionado como uma categoria de dados, um critério poderia ser incluir qualquer entrada que contribua com mais do que uma determinada percentagem das emissões totais de óxido de enxofre.

O critério mais utilizado é o balanço de massa. Porém, uma decisão que se baseia exclusivamente no balanço de massa pode, de forma involuntária, omitir uma variável importante para o processo que poderia surgir se a análise fosse feita utilizando-se outro critério. Por esse motivo, a norma ISO 14041 estabelece que estudos que visem divulgação ao público precisam incluir os três critérios.

3.5.2.3 Coleta de dados

A coleta de dados na fase de realização do inventário pode necessitar da elaboração de questionários complexos para serem respondidos pela empresa que fabrica o produto ou presta o serviço ao qual a ACV está sendo aplicada. De acordo com Chehebe (2002), alguns cuidados devem ser tomados para assegurar o entendimento das informações que estão sendo solicitadas. Esses cuidados incluem o desenho de fluxogramas que inter-relacionam as unidades escolhidas; a descrição detalhada de cada unidade funcional; a elaboração de um glossário que defina as unidades de medida utilizadas; a descrição das técnicas utilizadas para coleta de dados ou para cálculos e processamento dos dados; e o fornecimento de instruções aos profissionais envolvidos com o estudo de ACV a fim de documentar algum caso especial, irregularidades ou outros fatores associados aos dados coletados.

Abreu *et al.* (2008) afirmam que é muito comum que 80% dos dados necessários para o inventário sejam dados de fundo, ou seja, que não precisam ser coleados através de questionários, podem ser encontrados na literatura. Porém, usar dados de fundo requer uma atenção especial, pois esse tipo de dado não é coletado pessoalmente. Portanto deve-se avaliar a procedência desses dados para que eles possam ser introduzidos no estudo. Há que se fazer uma investigação para certificar a confiabilidade dos dados antes de usá-los nos cálculos do inventário.

Segundo Chehebe (2002), a coleta de dados é a tarefa que mais consome tempo e recursos da ACV. Dados confiáveis muitas vezes somente são obtidos através de medições locais, e o tempo e os recursos limitados podem não permitir investigações mais detalhadas. Por isso é necessário buscar identificar a abordagem mais simples. As principais fontes de informação incluem normas técnicas, estatísticas ambientais, licenças ambientais, literatura técnica, informação interna nas empresas, fornecedores reais ou potenciais e banco de dados de ACV's.

Nesta fase da realização do inventário pode ser necessário o uso de cálculos teóricos ou estimativas para ajustar dados provenientes de diferentes fontes. Sendo assim, pode-se realizar uma análise de sensibilidade para se evitar a ocorrência de erros grosseiros que fazem com que a ACV não retrate a realidade do sistema. A credibilidade dos resultados finais dependerá da qualidade dos dados coletados. Chehebe (2002) afirma que é útil realizar estimativas antes da coleta de dados para fornecer suporte ao se estabelecer uma base de comparação para os números envolvidos e, além disso, pode ajudar na identificação de dados não considerados.

O volume de informações nesta etapa poderá ser relativamente grande, por isso faz-se necessário o emprego de procedimentos para armazenar essas informações de modo que elas possam ser facilmente recuperadas quando forem requisitadas, e para que nenhuma informação relevante seja perdida ao longo do estudo. Um exemplo simplificado para a coleta de dados é mostrado no quadro 2.

Quadro 2: Exemplo de uma Folha do Questionário

FOLHA DE DADOS			
PROCESSO:		DATA:	
BALANÇO DE MASSA			
ENTRADA DE MATÉRIAS-PRIMAS	kg/t	SAÍDAS	t
Produto principal: Subprodutos: Resíduos sólidos:			
OUTRAS ENTRADAS	kg/t	Comentários	
ENTRADA DE ENERGIA			
FONTES ENERGÉTICAS	kg/t	GJ/t	Comentários
TRANSPORTES	MEIO		
ATIVIDADES DE TRANSPORTES (por t de produto principal)	(rodoviário, ferroviário, marítimo)	DISTÂNCIA km	CARGA (t)
DADOS AMBIENTAIS	Kg/t	Comentários	
EMISSÕES PARA O AR	Kg/t	Comentários	
EMISSÕES PARA A ÁGUA	Kg/t	Comentários	
EMISSÕES PARA A TERRA			

Fonte: Chehebe, 2002

3.5.2.4 Validação dos dados

Depois de recebidas as informações, é importante verificar se estas estão corretas e se são compatíveis com os dados de outras fontes. A validação consiste em efetuar balanços de energia ou análises comparativas de fatores de emissão. Anomalias e ausência de dados devem ser investigadas. Segundo Chehebe (2002), anomalias são valores extremos presentes em um conjunto de dados que podem ser identificados através da elaboração de balanços simples para cada processo ou de análises estatísticas, considerando que as entradas totais de cada processo devem ser iguais às saídas totais, incluindo emissões e resíduos. Os balanços são baseados em massa de produtos ou em um elemento específico de carbono. Esses balanços nunca são totalmente corretos, mas oferecem uma indicação de como e de onde os desvios aparecem.

Quando se suspeita que o valor de um dado é anômalo, tem-se que verificar se este está dentro de uma faixa de variação esperada. As anomalias confirmadas devem ser retiradas do conjunto de dados, e o motivo da retirada deve ser relatado no resultado do estudo.

3.5.3. Avaliação do impacto ambiental

De acordo com Almeida e Giannetti (2006), o objetivo da avaliação do impacto ambiental do ciclo de vida do produto é compreender e avaliar a magnitude e a importância dos impactos ambientais com base na análise do inventário, pois a ACV tem por objetivo principal reduzir a intensidade da poluição gerada por processos relacionados à fabricação de um bem ou à prestação de um serviço.

Depois de identificadas as emissões lançadas ao meio ambiente disponíveis na tabela de resultados do inventário, os impactos são caracterizados e avaliados. A avaliação busca determinar a gravidade dos impactos. Almeida e Giannetti (2006) mostram que para isso são definidas três etapas: classificação, caracterização e valoração.

Classificação: agrupam-se os dados do inventário em algumas categorias de impacto como por exemplo esgotamento de recursos, saúde humana e impactos ecológicos.

Caracterização: etapa de análise e quantificação do impacto a partir de cada categoria selecionada, com a utilização de dados físicos, químicos, biológicos e toxicológicos que descrevem os impactos potenciais.

Valoração: envolve a interpretação, ponderação e ordenação dos dados do inventário para se discutir a importância dos resultados da avaliação dos impactos.

3.5.3.1 Classificação

Nesta etapa, os impactos são classificados de acordo com o meio receptor ou com os efeitos ambientais. De acordo com Almeida e Giannetti (2006), meio receptor é aquele que recebe o resíduo descartado. E os efeitos ambientais são as conseqüências do descarte, ou seja, o esgotamento de matérias-primas, o potencial de aquecimento global, o potencial de redução da camada de ozônio, entre outros. Os resultados obtidos durante a fase de realização do inventário são analisados a partir dos impactos ambientais que podem causar. A norma ISO 14042 regulamenta essa fase.

De acordo com Chehebe (2002), a classificação é realizada com o objetivo de atribuir, a cada categoria escolhida, os dados correspondentes do inventário. Em alguns casos, algumas categorias podem ser descartadas, sempre justificando os motivos que fazem com que estas não sejam consideradas.

Chehebe (2002) cita o exemplo da cadeia do efeito estufa. Se na etapa de seleção tiver sido escolhido o aquecimento global como uma das categorias do estudo, devem-se então, na etapa de classificação, atribuir os dados do inventário relativos aos gases metano, dióxido de carbono, monóxido de carbono e NO₂ a essa categoria, pois esses gases têm a propriedade de reter as radiações infravermelhas provenientes da superfície da Terra e devolvê-las a própria Terra, contribuindo para a elevação da temperatura do planeta.

3.5.3.2 Caracterização

Depois de estabelecidas as categorias de impacto, as contribuições para cada impacto ambiental são quantificadas, associando cada categoria às suas respectivas substâncias de referência. Chehebe (2002) mostra como essas contribuições podem ser medidas:

- **Exaustão dos Recursos Não Renováveis (EREN)** – Medida em relação à oferta global de recurso.
- **Potencial de Aquecimento Global (PAG)** – Medida em relação ao efeito de 1 kg de CO₂.
- **Formação de Oxidantes Fotoquímicos (FOF)** – Medida em relação ao efeito de 1 kg de etileno.
- **Potencial de Acidificação (PA)** – Medida em relação ao efeito de 1 kg de SO₂.
- **Potencial de Toxicidade Humana (PTH)** – Medida como massa do corpo humano que estaria exposta ao limite toxicologicamente aceitável por 1 kg de substância.
- **Ecotoxicidade Aquática (ECA)** – Volume de água que estaria poluída a um nível crítico por 1 kg de substância.
- **Ecotoxicidade Terrestre (ECT)** – Massa de solo que estaria poluída a um nível crítico por 1 kg de substância.
- **Potencial de Nutrição (PN)** – Medida em relação a 1 kg de fosfato.

- **Potencial de Redução da Camada de Ozônio (PRCO)** – Medida em relação ao efeito de 1 kg de CFC-11.

Essa lista estabelece que, por exemplo, no caso do aquecimento global deve-se converter a contribuição de todos os gases que causam o aquecimento tomando-se como referência o CO₂. O efeito de cada gás é expresso em termos da quantidade equivalente de CO₂ que causaria o mesmo efeito de aquecimento. De acordo com Chehebe (2002), alguns modelos fornecem fatores que permitem fazer essa equivalência, são os chamados fatores de caracterização. Esses fatores indicam quanto uma determinada substância contribui para um determinado impacto ambiental comparada com uma substância de referência.

3.5.3.3 Valoração

Esta etapa da avaliação do impacto consiste em interpretar os valores obtidos na etapa anterior. A valoração é utilizada na melhoria, desenvolvimento e comparação entre produtos e entre seus processos. Almeida e Giannetti (2006) ressaltam que a comparação tem sido bastante utilizada, mas o emprego da ACV para melhorar produtos é mais importante, pois torna possível a identificação de processos, componentes e sistemas que permitem reduzir os impactos ambientais.

3.5.4. Interpretação

Todas as considerações iniciais feitas para uma Avaliação do Ciclo de Vida afetam seu resultado final. Por isso, é necessário realizar ao término do estudo, antes de se elaborar o relatório final, uma avaliação dos resultados obtidos. Segundo Chehebe (2002), o objetivo da fase de interpretação é analisar os resultados, fazer conclusões, explicar as limitações e oferecer recomendações para uma análise completa do ciclo de vida do produto. A interpretação deve também expor as limitações que podem tornar os objetivos iniciais inatingíveis ou inviáveis.

Durante a fase de interpretação pode ocorrer a necessidade de se sugerir o uso de outras técnicas de avaliação ambiental, tais como avaliação de riscos e avaliação de impacto ambiental. Esta última não é a mesma fase da Avaliação do ciclo de Vida que tem o mesmo nome. Essas ferramentas podem ser utilizadas para complementar as conclusões feitas a partir da ACV.

De acordo com Chehebe (2002), a fase de interpretação da ACV compreende três etapas: identificação das questões ambientais mais relevantes com base nos resultados da

análise do inventário; a avaliação, que inclui elementos tais como verificação da integridade, sensibilidade e consistência; e as conclusões, recomendações e relatórios sobre as questões ambientais mais relevantes.

3.6. Exemplos de aplicação da ACV

A fim de ilustrar todos os conceitos que foram expostos por este trabalho até agora, serão apresentados exemplos práticos, reais e hipotéticos, de aplicação da ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida. Os exemplos visam possibilitar um entendimento mais claro a partir de situações que normalmente ocorrem ou cuja ocorrência é possível. A ACV não se restringe somente aos tipos de produtos apresentados nos exemplos, nem é necessariamente desenvolvida de forma idêntica à que é demonstrada. Portanto, é importante considerar que a ACV se aplica a uma infinidade de produtos, cada um com sua peculiaridade e requisitos para ser alvo de um estudo de ACV.

3.6.1. Aplicação da ACV para comparação de fraldas

Um trabalho apresentado por Moreira *et al.* (2002) demonstrou a aplicabilidade da ACV para elaborar uma estratégia que melhorasse o desempenho de fraldas, de modo a torná-las menos agressivas ao meio ambiente, considerando todo o seu ciclo de vida. Para isso, foram comparados dois tipos de fraldas: de tecido e descartável.

No ciclo de vida das fraldas de tecido, são considerados recursos utilizados: o algodão (para sua produção, utilizam-se fertilizantes químicos e pesticidas, extração e transporte de água, energia para colheitadeiras, e o solo, que sofre erosão). Durante sua utilização, há dispêndio de água e energia nas lavagens, e uso de produtos de limpeza, que em sua maioria não são biodegradáveis. As fraldas de tecido são reutilizáveis por pelo menos 75 vezes, e seu descarte pode ser em aterro sanitário ou incinerador.

Para a fabricação das fraldas descartáveis são utilizados recursos como água, energia, branqueadores, celulose e plástico. Sua utilização não gera resíduos, pois não há necessidade de lavagem, porém, sua disposição final acarreta grandes quantidades de resíduos sólidos, persistência desses resíduos no ambiente por longo período de tempo e possível contaminação do solo.

A tabela a seguir mostra uma comparação entre os dois tipos de fraldas:

Tabela 1 – Comparação das fraldas de pano x descartáveis.

Impacto por criança por ano	Fraldas de pano	Fraldas descartáveis	Fator de diferença
Energia necessária	2532 MJ	8900 MJ	3.5 x
Efluentes gerados	12,4 m ³	28 m ³	2.3 x
Matéria-prima não renovável	25 kg	208 kg	8.3 x
Matéria-prima renovável	4 kg	361 kg	90 x
Resíduos sólidos	4 kg	240 kg	60 x

Fonte: (Adaptado de Madeira, 2002 *apud* Aquino *et al.*, 2008).

A partir dessa comparação, a conclusão apontou para a tentativa de minimizar os impactos ambientais das fraldas, através do aumento dos níveis de eficácia das fraldas convencionais, a partir da utilização de materiais biodegradáveis; redução de peso e volume através do uso de absorventes com maior capacidade de retenção de urina; e redução do consumo de recursos por meio da diminuição da quantidade de celulose e do uso de plásticos recicláveis.

A solução então, segundo Moreira *et al.* (2002), seria fabricar uma fralda de algodão, com uma película exterior impermeável e lavável, para possibilitar sua reutilização, usando recargas absorventes, descartáveis e aderentes, unindo assim, os pontos fortes de cada tipo de fralda: as vantagens ecológicas das fraldas de algodão, e a facilidade de utilização das fraldas descartáveis.

3.6.2. Aplicação da ACV para comparação de projetos de eletrodomésticos

Estudo realizado por Ferreira e Frank (2000) mostra como a ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida pode auxiliar na comparação de duas opções de projetos muito utilizadas que são o aço inoxidável 430 e o aço carbono EPV com esmalte auto-limpante.

Em virtude da constante necessidade de se reduzir os gastos com matéria-prima e de se encontrar alternativas para dar cor ao produto de forma que este acompanhe as tendências de cores nas cozinhas, o mercado de eletrodomésticos que usava em larga escala o aço inoxidável 430 vem substituindo seu uso pela chapa de aço carbono EPV que permite a pintura e facilita a limpeza devido à aplicação do esmalte auto-limpante.

É notório o ganho de qualidade com uso do aço carbono EPV por questões de estética e funcionais. Porém, deve-se avaliar se esse ganho de qualidade não traz nenhum prejuízo ambiental, pois o ganho comercial que é conseguido com a melhoria na qualidade

pode trazer conseqüências indesejáveis com relação aos aspectos ambientais. Consumidores mais conscientes também levam em consideração as características ecológicas do produto, não somente preço e aparência. Por isso, a análise não deve se ater apenas às vantagens técnicas e funcionais do material, precisa considerar os aspectos ambientais inerentes a cada uma das duas opções.

Portanto, nesse caso a aplicação da ACV fornece resultados que servem de parâmetros para que se possa avaliar qual é a melhor opção do ponto de vista do meio ambiente, para que se possam fazer ponderações entre as vantagens técnicas e mercadológicas, e o desempenho ambiental de cada material utilizado. Dessa forma, a análise para se chegar ao melhor produto fica muito mais consistente.

Ferreira e Frank (2000) ressaltam a importância de considerar a tendência de internalização dos custos ambientais e a crescente conscientização por parte dos consumidores quanto ao dever de assumir atitudes ecologicamente corretas que podem resultar na compra do produto concorrente, caso este apresente características que se enquadram melhor no conceito de desenvolvimento sustentável.

A ACV foi aplicada para as duas opções de projeto e usando um *check list* avaliou-se cada opção quanto à escolha do material, ao uso de energia e à geração de resíduos, considerando os interesses globais, os materiais tóxicos e interesses locais. Para isso utilizaram-se notas de 0 (zero) a 5.

Os resultados da aplicação da ACV foram apresentados em tabelas. Cada tabela mostra os resultados referentes a cada estágio do ciclo de vida do produto, e permite fazer a comparação entre o produto A (aço inoxidável 430) e o produto B (aço carbono EPV).

Tabela 2: Resumo dos resultados da aplicação ACV para o Estágio Transformação da matéria-prima.

Matéria-prima Indústria Siderúrgica	Avaliação	Aço inoxidável 430 Explicações A	Avaliação	Aço carbono EPV Explicações B
Escolha do material	1	<ul style="list-style-type: none"> _ Matéria-prima não renovável _ Necessita muitos insumos para compor a matéria-prima _ Os insumos energéticos trazem altos impactos ambientais 	2	<ul style="list-style-type: none"> _ Matéria-prima não renovável _ Menor quantidade de insumos que A _ Os insumos energéticos utilizados trazem alto impacto ambiental
Uso de energia	2	<ul style="list-style-type: none"> _ Alto consumo de energia (1965 kWh/t) _ Consumo baixo da energia para aproveitamento da matéria-prima _ A opção permite economia de energia no estágio de uso 	2	<ul style="list-style-type: none"> _ Menor consumo de energia (539 kWh/t) _ Alto consumo de energia para reaproveitamento da matéria-prima _ Menor desempenho de consumo de energia durante o uso
Resíduos-interesse global	1	<ul style="list-style-type: none"> _ Grande emissão de CO₂ (722 kg/t) _ Maior quantidade de resíduos gerados (872,7 kg/t) 	2	<ul style="list-style-type: none"> _ Menor emissão de CO₂ (530 kg/t) _ Menor quantidade de resíduos gerados (611 kg/t)
Resíduos-materiais tóxicos	2	<ul style="list-style-type: none"> _ Nível médio de materiais tóxicos gerados 	2	<ul style="list-style-type: none"> _ Nível médio de materiais tóxicos gerados
Resíduos-interesses locais	2	<ul style="list-style-type: none"> _ Grande impacto local dado o depósito de rejeitos gerados (220,5 kg/t) 	2	<ul style="list-style-type: none"> _ Grande impacto local dado o depósito de rejeitos gerados (125 kg/t)

Fonte: Ferreira e Frank, 2000.

Tabela 3: Resumo dos resultados da aplicação ACV para o Estágio Fabricação do produto

Matéria-prima Indústria Siderúrgica	Avaliação	Aço inoxidável 430 Explicações A	Avaliação	Aço carbono EPV Explicações B
Escolha do material	3	<ul style="list-style-type: none"> _ A opção gera poucas sobras (0,94 kg/t) _ A opção de projeto faz com que se utilize desengraxante, óleo e plástico 	1	<ul style="list-style-type: none"> _ A opção gera poucas sobras (0,81 kg/t) _ Há necessidade do uso de óleo e plástico _ Para aplicação do auto-limpante utiliza-se mais insumos
Uso de energia	3	<ul style="list-style-type: none"> _ O consumo de energia é satisfatório (1,4 kWh/unidade) _ Não há necessidade de controle do ambiente 	2	<ul style="list-style-type: none"> _ O consumo é maior dado o processo de esmaltação. (3,84 kWh/unidade) _ Controle de temperatura na esmaltação
Resíduos-interesse global	3	<ul style="list-style-type: none"> _ Pouca emissão de resíduos líquidos e aéreos _ Baixo nível de resíduos sólidos 	1	<ul style="list-style-type: none"> _ Embora não haja muitos resíduos, utilizam-se muitos insumos químicos.
Resíduos-materiais tóxicos	3	<ul style="list-style-type: none"> _ Emissão de resíduo sólido é baixa 	2	<ul style="list-style-type: none"> _ Dado o processo de esmaltação, há mais resíduos tóxicos.
Resíduos-interesses locais	3	<ul style="list-style-type: none"> _ A emissão na água ar e solo pode ser desprezada 	2	<ul style="list-style-type: none"> _ Maior poluição local dado o processo de esmaltação.

Fonte: Ferreira e Frank, 2000.

Tabela 4: Resumo dos resultados da aplicação ACV para o Estágio Uso do produto

Matéria-prima Indústria Siderúrgica	Avaliação	Aço inoxidável 430 Explicações A	Avaliação	Aço carbono EPV Explicações B
Escolha do material	3	<ul style="list-style-type: none"> _ Material de maior vida-útil (20 anos) _ Utiliza-se detergente para limpeza (0,48 L /ano) _ Material de maior manutenibilidade 	2	<ul style="list-style-type: none"> _ Menor vida útil (14 anos) _ Devido ao auto-limpante não usa detergente _ Aderência mais estável do auto-limpante (auto-limpante na chapa, maior probabilidade de manutenção)
Uso de energia	3	<ul style="list-style-type: none"> _ Maior eficiência energética (5,7% a mais) _ A reutilização do material reduzirá o consumo de energia no descarte 	2	<ul style="list-style-type: none"> _ Menor eficiência energética _ Para Utilização do material há maior consumo de energia
Resíduos-interesse global	3	<ul style="list-style-type: none"> _ Durante o uso não há emissão de resíduos de impacto global 	3	<ul style="list-style-type: none"> _ Não há emissão de resíduos de impacto global
Resíduos-materiais tóxicos	3	<ul style="list-style-type: none"> _ Durante o uso não há emissão de resíduos tóxicos 	3	<ul style="list-style-type: none"> _ Não há emissão de resíduos tóxicos
Resíduos-interesses locais	2	<ul style="list-style-type: none"> _ Para limpeza interna do produto utiliza-se detergente (0,48 L /ano) 	3	<ul style="list-style-type: none"> _ Não necessita limpeza interna dado o esmalte auto-limpante

Fonte: Ferreira e Frank, 2000.

Tabela 5: Resumo dos resultados da aplicação ACV para o Estágio Transporte do produto

Matéria-prima Indústria Siderúrgica	Avaliação	Aço inoxidável 430 Explicações A	Avaliação	Aço carbono EPV Explicações B
Escolha do material	2	_ Material de difícil transporte dado seu peso (7 a 10 t / bobina) _ Pouca otimização de espaço. Duas a três bobinas /caminhão	2	_ Também de difícil transporte dado seu peso (7 a 10 t / bobina) _ Também pouco aproveitamento de espaço
Uso de energia	2	_ Utiliza-se o transporte rodoviário a diesel _ O espaço para transporte é pouco otimizado _ Alguns insumos percorrem distâncias muito grandes. Ex.: carvão	2	_ Idem para a chapa de aço carbono
Resíduos-interesse global	2	_ O diesel utilizado é grande gerador de gases que contribuem para o aquecimento global e depleção do ozônio	2	_ Idem para a chapa de aço carbono
Resíduos-materiais tóxicos	2	_ A combustão do diesel gera: <ul style="list-style-type: none"> • Monóxido de carbono • Hidrocarbonetos • Óxido de nitrogênio 	2	_ Idem para a chapa de aço carbono
Resíduos-interesses locais	2	_ Além dos gases também gera resíduos locais de óleo e borracha	2	_ Idem para a chapa de aço carbono

Fonte: Ferreira e Frank, 2000.

Tabela 6: Resumo dos resultados da aplicação ACV para o Estágio Descarte final do produto

Matéria-prima Indústria Siderúrgica	Avaliação	Aço inoxidável 430 Explicações A	Avaliação	Aço carbono EPV Explicações B
Escolha do material	3	<ul style="list-style-type: none"> _ Material de maior durabilidade _ Sua recuperação atinge quase 100% _ Fácil reutilização 	1	<ul style="list-style-type: none"> _ Material de menor durabilidade _ Difícil reutilização por causa do esmalte fundido no aço
Uso de energia	3	<ul style="list-style-type: none"> _ Eficiência energética, pois reaproveita-se quase que 100% _ Possibilidade de recuperação de energia 	1	<ul style="list-style-type: none"> _ Alto consumo de energia na recuperação, pois o esmalte se solta acima de 830 °C _ Baixo índice de reaproveitamento
Resíduos-interesse global	3	<ul style="list-style-type: none"> _ Por poder ser reaproveitado, diminui a emissão de resíduos de impacto global 	2	<ul style="list-style-type: none"> _ Idem para a chapa de aço carbono
Resíduos-materiais tóxicos	3	<ul style="list-style-type: none"> _ Dada a sua reutilização diminui os resíduos tóxicos gerados 	3	<ul style="list-style-type: none"> _ Idem para a chapa de aço carbono
Resíduos-interesses locais	2	<ul style="list-style-type: none"> _ Apesar de ser reaproveitado, ainda gera muito resíduo sólido 	1	<ul style="list-style-type: none"> _ Idem para a chapa de aço carbono

Fonte: Ferreira e Frank, 2000.

Tabela 7: Totalização dos resultados da ACV

INTERESSE AMBIENTAL						
Estágio do ciclo de vida	Escolha do material	Uso de energia	Resíduo Global	Resíduo – material tóxico	Resíduo local	Total
Transformação da matéria-prima - Siderurgia						
Aço inox	1	2	1	2	2	8/20
Aço carbono	2	2	2	2	2	10/20
Fabricação do produto						
Aço inox	3	3	3	3	3	15/20
Aço carbono	1	2	1	2	2	8/20
Uso do produto - Consumidor						
Aço inox	3	3	3	3	2	14/20
Aço carbono	2	2	3	3	3	13/20
Transporte						
Aço inox	2	2	2	2	2	10/20
Aço carbono	2	2	2	2	2	10/20
Descarte final do produto						
Aço inox	3	3	3	3	2	14/20
Aço carbono	1	1	2	3	1	8/20
Total						
Aço inox	12	13	12	13	11	61/100
Aço carbono	08	09	10	12	10	49/100

Fonte: Ferreira e Frank, 2000.

Como se pode verificar através dos resultados, as duas opções de projeto apresentaram desempenhos ambientais diferentes ao longo dos estágios do ciclo de vida. Seguem abaixo os resultados de cada fase do ciclo de vida:

Extração da matéria-prima:

Quanto ao material utilizado, o aço carbono EPV leva vantagem, pois em seu processo de fabricação, utiliza-se menos matéria-prima do que o aço inoxidável 430.

Em termos do consumo de energia, o aço inoxidável apresentou desvantagem, já que sua produção consome 3,6 vezes mais que a produção do aço carbono EPV.

As duas opções se igualaram quanto à geração de resíduos, pois ambas geram resíduos em excesso, afetando tanto os interesses locais como os globais.

Fabricação do produto:

As chapas de aço inoxidável e de aço carbono possuem processos semelhantes de corte e prensa, porém o que influenciou negativamente os resultados do aço carbono foi a aplicação do esmalte auto-limpante que aumenta a quantidade de recursos consumidos. A energia utilizada nos processos de corte, prensa e montagem são as mesmas, mas para o aço carbono teve que se considerar a energia gasta para aplicação do esmalte auto-limpante.

O aço inoxidável leva vantagem com relação à geração de resíduos por não passar pelo processo de esmaltação, que gera resíduos.

Uso do produto:

O aço inoxidável tem maior durabilidade que o aço carbono EPV e, além disso, o aço carbono apresenta uma maior incidência de defeitos que ocorrem devido ao desprendimento do esmalte auto-limpante.

O consumo de energia elétrica durante o uso do aço inoxidável também é menor, comprovado por cálculos de condutividade térmica e análises das amostras.

O aço carbono apresenta a vantagem de gerar menos resíduos durante o uso devido ao esmalte auto-limpante que dispensa o uso de detergente durante a limpeza.

Transporte e embalagem:

As duas opções apresentaram semelhantes tipos de embalagem para transporte.

Com relação ao transporte, o aço carbono possui vantagem em certos pontos. Os centros de produção de matéria-prima estão localizados relativamente próximos aos centros de manufatura e consumo. E também, como o aço carbono utiliza menos matéria-prima, necessita de menos viagens para abastecimento. Porém, o aço carbono EPV possui uma vida útil menor, sendo necessário o abastecimento do mercado consumidor com mais frequência.

Descarte final:

O aço inoxidável é melhor no que se refere à escolha do material, pois pode ser aproveitado diretamente como insumo na indústria siderúrgica sem que seja necessário o reprocessamento. Já a chapa de aço carbono precisa que seja retirado o esmalte.

Devido ao processo de retirada do esmalte, a energia gasta no descarte do aço carbono é maior que a do descarte do aço inoxidável.

Considerando todas essas informações, tem-se que o aço inoxidável 430 é a melhor opção de projeto do ponto de vista do meio ambiente, quando comparado ao aço carbono EPV.

Os exemplos de aplicação da ACV relatados mostram como uma conclusão intuitiva ou uma comparação de produtos sem um embasamento consistente podem levar a idéias distorcidas que não condizem com a realidade. Se alguém fosse fazer conclusões a respeito das fraldas ou das chapas de aço, considerando apenas informações leigas ou as características aparentes do produto, certamente iria se equivocar ao escolher qual produto apresenta melhor desempenho ambiental. A ACV, nesses e em outros casos, permite que decisões sejam tomadas com base em informações reais, fidedignas, que são obtidas através de métodos criteriosos. Não é uma escolha aleatória que fará com que se alcance um resultado satisfatório ao se tentar encontrar a melhor opção para atender ao conceito de desenvolvimento sustentável. É necessária a aplicação de ferramentas confiáveis que oferecem suporte à tomada de decisão. E a ACV, como se buscou mostrar ao longo deste estudo, é uma dessas ferramentas.

Capítulo I V

CONSIDERAÇÕES FINAIS

4.1. Importância da ACV

A Avaliação do Ciclo de Vida vem se apresentando como uma importante ferramenta para a Gestão Ambiental e para a melhoria dos produtos, pois ao se promover a melhoria dos aspectos ambientais, também se pode atingir um avanço econômico na medida em que os recursos passam a ser mais bem utilizados. A ACV, por ser baseada em modelos quantitativos e qualitativos, se mostra uma ferramenta muito objetiva, que permite chegar a conclusões claras para que sejam tomadas as melhores decisões quanto ao desenvolvimento e reformulação de produtos.

A ACV também apresenta a vantagem de analisar o ciclo de vida do produto como um todo, não permanecendo restrita a apenas uma ou poucas fases. O objetivo deste trabalho não foi o de comparar a ACV com outros modelos, pois cada modelo possui sua importância. É uma questão de aplicabilidade, ou seja, nem sempre o melhor estudo a ser implementado será uma ACV. Por questões que envolvem recursos, pela complexidade do sistema a ser estudado ou pela peculiaridade de determinado produto, pode não ser recomendável a aplicação da ACV.

Diante da conscientização ambiental que vem sendo tomada pela sociedade atual, já vislumbrando um futuro em que os recursos naturais se tornarão cada vez mais escassos, a aplicação de conceitos de sustentabilidade e a tomada de atitudes que visam promover a preservação dos recursos naturais representam o meio para se contornar a situação à qual o meio ambiente foi e está sendo submetido. Não somente através de sofisticadas ferramentas de Gestão Ambiental, mas também por meio de iniciativas simples no cotidiano, será possível alcançar o desenvolvimento sustentável que tanto se fala nos dias atuais.

4.2. Limitações da ACV

O fato de a Avaliação do Ciclo de Vida ser uma ferramenta abrangente, que engloba toda a cadeia produtiva, se por um lado é interessante, pois considera todas as fases do ciclo de vida do produto, por outro representa sua principal limitação. Como ressaltam Almeida e Giannetti (2006), para tornar a aplicação da ACV viável, faz-se necessária a simplificação de alguns aspectos. Outra limitação da ACV ocorre em virtude de esta não mostrar o sistema de uma forma dinâmica, ou seja, expressa somente um determinado

momento em que o sistema se encontra. A ACV limita-se à descrição física do sistema, não considera fatores externos como a demanda do mercado, o contexto econômico e social no qual o sistema está inserido, entre outros que interferem em seu desempenho.

Como também mostram Almeida e Giannetti (2006), uma Avaliação do Ciclo de Vida possui muitas fontes de incerteza, como por exemplo, a escolha de uma unidade funcional equivocada, que pode levar a distorção nas análises. Outra fonte de erro é a desconsideração de uma etapa por deduzir incorretamente que esta não influi nos resultados finais. Todas essas limitações interferem na confiabilidade dos dados, fazendo com que os resultados finais não representem fidedignamente as condições do sistema.

A ACV é uma ferramenta que considera características técnicas do produto, baseando-se em informações adquiridas a partir de métodos científicos e estrutura bem definida por normas internacionais. Seu foco está relacionado aos aspectos ambientais do produto. No entanto, como foi mostrado no capítulo II deste trabalho, a sustentabilidade possui outras dimensões além da ambiental, sendo uma delas a dimensão social. A ACV, ao apontar soluções que consideram somente os aspectos ambientais do produto, pode não estar alinhada com os princípios de Responsabilidade Social. O produto que apresenta melhor desempenho ambiental, segundo os resultados da ACV, pode não atender às necessidades humanas. Se um produto é ambientalmente adequado, mas não atende aos anseios de seu público-alvo, este irá preferir um outro produto, ou seja, de nada adiantariam os esforços para realização da ACV.

Não é possível assegurar o desenvolvimento sustentável considerando apenas as questões ambientais. O que é melhor para o meio ambiente pode não ser o melhor para a sociedade. Se o produto traz benefícios para o meio ambiente, mas causa algum impacto social negativo, esse produto não se encaixa no conceito de sustentabilidade. Por isso, o desenvolvimento deve compreender todas as dimensões: ambiental, social, espacial, cultural e econômica; para dessa forma, ser considerado sustentável.

Mesmo com essas limitações, a ACV não deixa de ser uma ferramenta importante para a identificação dos impactos ambientais causados pelos produtos, possibilitando, a partir de sua interpretação, elaborar estratégias para redução desses impactos e alternativas para melhoria de processos e produtos.

4.3. ACV como filosofia

A implementação da Avaliação do Ciclo de Vida do produto possui um custo que não pode ser pago por qualquer empresa. A execução de suas etapas exige recursos e geram

gastos que talvez não justifiquem sua aplicação, pois pode não trazer um retorno que compense os investimentos. Porém, mesmo que a empresa não disponha de recursos suficientes para realizar um estudo de ACV, esta pode aplicar seus conceitos no desenvolvimento e melhoria de produtos. Não é preciso que a empresa invista recursos em excesso, é necessário que se conheça os conceitos que estão por trás da ferramenta. Esta é uma noção mais abrangente da ACV, é uma interpretação que vai além de uma ferramenta de gestão ambiental, uma filosofia que deve ser disseminada entre os colaboradores da empresa para que eles apliquem a ACV, não usando técnicas e procedimentos-padrão, mas sim utilizando os conceitos propostos pela ACV para contribuir com o desenvolvimento sustentável.

Sendo assim, não se pode dizer que a ACV é uma ferramenta que auxilia somente as grandes empresas. Sua aplicação não está vinculada somente aos recursos econômicos e infra-estruturais, pode ser aplicada também na ausência destes, depende apenas do empenho das empresas em buscar novas alternativas para melhorar os aspectos ambientais de seus produtos.

4.4. Sobre o Trabalho de Conclusão de Curso

O estudo teórico sobre a ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida permitiu ao graduando o aprofundamento em uma das áreas da Engenharia de Produção, a Engenharia de Sustentabilidade, que abrange a Gestão de Recursos Naturais e Energéticos, a Gestão de Efluentes e Resíduos Industriais e a Responsabilidade Social. Por meio das pesquisas bibliográficas realizadas durante o desenvolvimento do trabalho pôde-se adquirir um conhecimento complementar que certamente será de grande importância para o futuro Engenheiro de Produção.

Além do conhecimento técnico que o trabalho proporcionou, foi possível ter um contato maior com o tema Desenvolvimento Sustentável, para o qual os profissionais de qualquer área, e as pessoas como cidadãos, devem atentar em razão dos problemas que as gerações futuras poderão enfrentar caso a consciência da sociedade em geral não esteja alinhada com os princípios de preservação e sustentabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ABREU, Igor de; AQUINO, Afonso Rodrigues; ALMEIDA, Josimar Ribeiro. *Análise de Sistema de Gestão Ambiental*. Rio de Janeiro, Thex Editora, 2008.
- ANGEOLETTO, Fábio; PINHEIRO, Patrícia, *Os Automóveis e o Meio Ambiente*, Disponível em: <<http://www.transporteativo.org.br/site/Banco/6clipping/CarrosXMedioAmbiente.doc>>. Acesso em: Outubro 2008.
- BARBIERI, José Carlos. *Gestão Ambiental Empresarial*. 2ª ed. São Paulo, Saraiva, 2007.
- BARBOZA, Elza Maria Ferraz, *ROTULAGEM AMBIENTAL Rótulos ambientais e Análise do Ciclo de Vida (ACV)*, IBICT, 2007.
- BIER, Clerilei Aparecida; BOUSFIELD, Rodrigo; ABREU, Sabrina. *Estruturação de um plano estratégico para capacitação de recursos voltado para organizações sem fins lucrativos*. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências da Administração, Escola Superior de Administração e Gerência. Florianópolis, 2006.
- BORCHARDT, Miriam; POLTOSI, Leonel Augusto Calliari; SELLITTO, Miguel Afonso; PEREIRA, Giancarlo Medeiros. *Implementação do Ecodesign: Um estudo de caso na indústria eletrônica*. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2007.
- Braskem. Disponível em: <http://www.braskem.com.br/upload/portal_investidores/pt/financeiras/comunicados/Pol_Verde_port.pdf>. Acesso em: Agosto 2008.
- CARREIRAS, M.; CASTANHEIRA, É. G.; LOPES, M.A.R.; FERREIRA, A.J.D. *A análise do ciclo de vida como ferramenta de apoio à implementação do Regulamento EMAS II na Escola Superior Agrária de Coimbra*. Escola Superior Agrária de Coimbra, Bencanta, Coimbra, Portugal, 2007.
- CHAMORRO, A. *Marketing Ecológico; sí marketing ecológico*. Buenos Aires: Universidad de Extremadura, 2001.
- CHEHEBE, José Ribamar. *Análise do Ciclo de Vida de Produtos*. Rio de Janeiro, Qualitymark Editora, 2002.
- Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento CMMAD (1987). *Our common future*. Oxford, Oxford University Press.
- CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente Resolução nº 001, de 23 de Janeiro de 1986.
- Conselho Empresarial para o desenvolvimento sustentável. Disponível em: <<http://www.bcsdportugal.org/content/index.php?action=articlesDetailFo&rec=356>>. Acesso em: Outubro 2008.
- DURNING, Alan. *How much is enough? The consumer society and the future of the Earth*. New York, WW Norton & Co., 1992.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: Setembro 2008.
- Environmental Protection Agency. 1993. *Life Cycle Assessment: Inventory Guidelines and Principles*. EPA/600/R-92/245. Office of Research and Development. Cincinnati, Ohio, USA.
- EXAME 2007. Disponível em: <http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/abril/patrocinador_261635.shtml>. Acesso em: Outubro 2008.

FERREIRA, George Bleyer; FRANK, Beate. *Avaliação do Ciclo de Vida do Produto: Uma aplicação prática para facilitar a escolha da melhor opção de projeto no desenvolvimento de produto*. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2000.

GIANNETTI, Biagio F.; ALMEIDA, Cecília M.V.B., *Ecologia Industrial*. São Paulo, Edgard Blücher, 2006.

GIANNETTI, Biagio F.; ALMEIDA, Cecília M. V. B.; RIBEIRO, Celso Munhoz. *Avaliação do ciclo de vida (ACV): uma ferramenta importante da ecologia industrial*. Revista de graduação de engenharia química, São Paulo, v. 11, n. Jan-Jun, p. 13-22, 2003.

GIANNETTI, Biagio; ALMEIDA, Cecília M. V. B; RODRIGUES, Antônio José Monteiro; BONILLA, Silvia H. *A Contabilidade Ambiental na Metodologia do Ecodesign: Utilizando a Emergia como uma Medida Quantitativa de Avaliação de Carga Ambiental. O Caso das Embalagens PET*. 1º International Workshop Advances in Cleaner Production, 2007.

Greenpeace. Disponível em: http://www.greenpeace.org.br/toxicos/pdf/producao_limpa.doc . Acesso em: Outubro 2008.

HAHN, Sookap, *Os Papéis da Ciência dos Materiais e da Engenharia para uma Sociedade Sustentável. Estudos Avançados*, São Paulo, v.8, n.20, p.1, jan-abr. 1994.

IBAMA, Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. Disponível em <<http://www.ibict.br/>>. Acesso em: Setembro 2008.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Disponível em <<http://www.ibama.gov.br/fauna/>>. Acesso em: Agosto 2008.

ITANI, Alice; VILELA JR., Alcir. *Meio Ambiente e Saúde: Desafios para a Gestão*. Interfacehs, São Paulo, v.1, n.3, p.1, abr. 2007.

ISO, International Organization for Standardization. Disponível em: <<http://www.iso.org/iso/home.htm>>. Acesso em: Setembro 2008.

JACOBI, Pedro. *Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade*. Cadernos de Pesquisa, Mar. 2003.

KIRCHNER, Marco, *Conscientização Ambiental*, 2007. Disponível em: <http://pt.shvoong.com/exact-sciences/1700155-conscientiza%C3%A7%C3%A3o-ambiental/> . Acesso em: Agosto 2008.

LAYARGUES, Philippe. *O cinismo da reciclagem: o significado ideológico da reciclagem da lata de alumínio e suas implicações para a educação ambiental*. LOUREIRO, F.; LAYARGUES, P.; CASTRO, R. (Orgs.) *Educação ambiental: repensando o espaço da cidadania*. São Paulo: Cortez, 2002, 179-220.

MICHELINI, Arthur Nery da Costa; JAPPUR, Rafael Feyh; SELIG, Paulo Maurício; LERÍPIO, Alexandre de Ávila. *Uma proposta de incorporação de indicadores de ecoeficiência ao setor termelétrico brasileiro a carvão mineral*. XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2004.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&id_Estrutura=18&idConteudo=583>. Acesso em: Novembro 2008.

OLIVEIRA, Edmar Bonfim; CASTRO, Ana Cristina Fiore; RAIMUNDINI, Simone Letícia; STRUMIELLO, Luis Daniel Pittini. *Desenvolvimento Sustentável e Produção Mais Limpa: Estudo de caso em uma empresa do setor moveleiro*. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2007.

PEREIRA, Raquel da Silva, *Marketing Ambiental*. Congresso Virtual Brasileiro de Administração, 2004.

- PORTILHO, Fátima, *Sustentabilidade Ambiental, Consumo e Cidadania*, Cortez Editora, 2005.
- SANTOS, Solidia Elizabeth; ANDREOLI, Cleverson V.; SILVA, Christian L.. *As Organizações e o Desenvolvimento Sustentável*, 2007.
- SACHS, Ignacy. *Caminhos para o desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro, Editora Garamond, 2008.
- SCHENINI, Pedro Carlos; NASCIMENTO, Daniel Trento. *Gestão Pública Sustentável*. Revista de Ciências da Administração, v.4, n.8, p.3 , jul-dez. 2002.
- SILVA, C.L.; MENDES, J. T. G. (Orgs). *Reflexões sobre desenvolvimento sustentável*. Petrópolis, RJ: Vozes, 2005.
- SISINNO, Cristina Lúcia Silveira; MOREIRA, Josino Costa. *Ecoeficiência: um Instrumento para a Redução da Geração de Resíduos e Desperdícios em Estabelecimentos de Saúde*; Cadernos de Saúde Pública (FIOCRUZ), Rio de Janeiro, 2005.
- Society of Environmental Toxicology and Chemistry. Disponível em: <http://www.setac.org/tampa/>. Acesso em: Outubro 2008.
- TAKAHASHI, Fabiana; MORAIS, Frank. *Avaliação do Ciclo de vida dos produtos: uma ferramenta de Controle Ambiental*. 2º Segundo Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais, 2000.
- UNEP/UNIDO. Cleaner production assessment manual. Part one-introduction to cleaner production. 1995.
- VALT, Renata Bachmann Guimarães. *Análise do ciclo de vida de embalagens de PET, de alumínio e de vidro para refrigerantes no Brasil variando a taxa de reciclagem dos materiais*. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia), UFPR, Curitiba, 208 pg.