

O ENFOQUE DE CICLO DE VIDA COMO  
ESTRATÉGIA PARA A GESTÃO SUSTENTÁVEL:  
UM ESTUDO DE CASO SOBRE PNEUS

Marília Stella Vaz Costa

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Aprovada por:

---

Prof. Rogério de Aragão Bastos do Valle, D.Sc.

---

Prof. Virgílio José Martins Ferreira Filho, D.Sc.

---

Prof. Gil Anderi da Silva, D.Sc.

---

Prof. José Antônio Assunção Peixoto, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL  
SETEMBRO DE 2007

VAZ COSTA, MARÍLIA STELLA

O enfoque de ciclo de vida como estratégia para a gestão sustentável: um estudo de caso sobre pneus. [Rio de Janeiro] 2007.

XV, 143 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Programa de Engenharia de Produção, 2007)

Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

1. Avaliação de Ciclo de Vida
2. Enfoque de Ciclo de Vida
3. Gestão Ambiental

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

## DEDICATÓRIA

Dedico esta Dissertação a Maria Olyria Martins Vaz, vovó Lili, que despertou em mim o gosto pelo conhecimento e com quem tanto aprendi, e a Creuza Pereira Vaz, Ticá, um grande exemplo de ser humano, de dedicação e de doação.

*(in memorian)*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por mais um sonho realizado, pelo conhecimento adquirido, pelas experiências vividas e pelas pessoas que conheci nesses anos de COPPE.

Aos meus pais, Marília e Weller, pela educação e pelos valores, a base sólida sobre a qual construo a minha trajetória. Agradeço também os conselhos, as orações e as palavras de incentivo.

A minha irmã e grande amiga, Jannaina, com quem dividi as aflições do Mestrado, pelo companheirismo de sempre e pelo exemplo de força, determinação e disciplina.

Ao meu orientador, Rogerio Valle, pela oportunidade de vivenciar a experiência de Mestrado e também o convívio do SAGE.

Ao Sergio Hilst, que ajudou a transformar um “relatório” em uma dissertação, agradeço pela co-orientação informal, pelas muitas conversas, pelas incansáveis leituras e, principalmente, por tudo o que compartilhamos e pelo tanto que aprendi com você.

A Luiz Alberto Brettas e Fabrício Molica, amigos que participaram da minha banca de “qualificaçãozinha”, agradeço pelo empenho na leitura de um texto ainda em gestação, pelos ouvidos atentos e pelas ricas sugestões.

Aos Professores Gil Anderi, José Antônio Peixoto e Virgílio Martins, que tão prontamente aceitaram participar da avaliação desse trabalho, agradeço as generosas contribuições.

A equipe do SAGE, pelas muitas lições aprendidas na convivência no Laboratório, nos eventos e nos projetos. Agradeço especialmente à equipe do Projeto da Casa da Moeda, pelo ambiente de cooperação que cultivamos, onde alcançamos crescimento profissional e pessoal, e germinaram também grandes amizades.

Resumo da Dissertação apresentada a COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

O ENFOQUE DE CICLO DE VIDA COMO  
ESTRATÉGIA PARA A GESTÃO SUSTENTÁVEL:  
UM ESTUDO DE CASO SOBRE PNEUS

Marília Stella Vaz Costa

Setembro/2007

Orientador: Rogério de Aragão Bastos do Valle

Programa: Engenharia de Produção

O objetivo do desenvolvimento sustentável representa um desafio para governos e organizações. Se, por um lado, os governos e organismos internacionais estabelecem princípios e mecanismos que buscam assegurar a preservação do meio ambiente; por outro, o crescimento dos níveis de produção e consumo aceleram a degradação dos recursos naturais, desafiando a capacidade de suporte dos ecossistemas. Para que as organizações sejam capazes de tomar decisões efetivas voltadas para a melhoria das condições ambientais, faz-se necessário desenvolver e aplicar ferramentas que, baseadas no conhecimento científico disponível, permitam a previsão dos impactos ambientais dos produtos, por todo seu ciclo de vida. Neste contexto, a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) emerge como uma família de ferramentas fundamentadas em critérios técnico-científicos, elaboradas para auxiliar na seleção de alternativas ambientalmente preferíveis. Esta dissertação tem por objetivo verificar a potencialidade dessa técnica na tomada de decisão, visando à melhoria do desempenho ambiental dos produtos. Como objeto de pesquisa, selecionou-se o pneu devido à capacidade desse sistema de produto em exemplificar a complexidade das decisões relacionadas ao meio-ambiente, porquanto envolve escolhas que não abrangem apenas aspectos ambientais, mas também interesses econômicos, questões sociais e até mesmo disputas políticas. O estudo preocupou-se em traduzir a abordagem de ciclo de vida em um método prático, de modo a auxiliar as organizações a incluir a dimensão ambiental em seus negócios.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

THE LIFE CYCLE APPROACH AS AN  
ESTRATEGY FOR SUSTAINABLE MANAGEMENT:  
A CASE STUDY ON TIRES.

Marília Stella Vaz Costa

September/2007

Advisor: Rogério de Aragão Bastos do Valle

Department: Industrial Engineering

The aim of sustainable development means a challenge to governments and organizations. If, by one side, governments and international organizations establish principles and mechanisms that intend to assure the environmental preservation; on the other side, the growing level of the pollution and consumption has sped up the natural resources' degradation, challenging the support capacity of ecosystems. In order to enable the organizations to take effective decisions towards the environmental conditions' improvement, it's necessary to develop and to apply tools that, based on available scientific knowledge, allow the products' environmental impacts forecasting, throughout its life cycle. In this context, the Life Cycle Assessment (LCA) emerges as a family of tools supported by technical and scientific criteria, elaborated to help on selecting environmentally friendly alternatives. The dissertation aims to verify the potentiality of this technique in supporting the decision making, improving the products environmental performance. The tire was selected as object of research due to the capacity of this system in exemplifying the complexity of environmental related decisions, inasmuch as it involves choices that do not enclose only environmental aspects, but also economic interests, social matters and even politics disputes. This study concerns on transcribing the life cycle thinking in a practical method, in order to help the organizations on including the environmental dimension in business.

## ÍNDICE

I	INTRODUÇÃO .....	1
	PRIMEIRA PARTE: REFERENCIAL TEÓRICO .....	7
II	HISTÓRICO AMBIENTAL .....	8
	2.1 Inserção da Preocupação Ambiental nas Organizações.....	8
	2.2 Surgimento e Evolução da ACV .....	10
	2.3 Normalização Ambiental.....	13
	2.4 Normalização das Técnicas de ACV .....	15
	2.5 Normalização no Brasil.....	17
III	CONCEITOS FUNDAMENTAIS .....	19
	3.1 Ciclo de Vida .....	19
	3.2 Unidade de Processo .....	20
IV	TÉCNICA DE ACV .....	24
	4.1 Premissas da ACV .....	24
	4.2 Definição de Objetivo e Escopo .....	25
	4.2.1 <i>Funções do Sistema de Produto</i> .....	26
	4.2.2 <i>Unidade Funcional</i> .....	26
	4.2.3 <i>Fronteiras do Sistema</i> .....	27
	4.2.4 <i>Requisitos da Qualidade dos Dados</i> .....	28
	4.3 Análise de Inventário .....	29
	4.3.1 <i>Coleta de Dados</i> .....	31
	4.3.2 <i>Bancos de Dados</i> .....	32
	4.3.3 <i>Procedimentos de Cálculo</i> .....	32
	4.3.4 <i>Alocação</i> .....	33
	4.4 Avaliação de Impacto .....	35
	4.4.1 <i>Seleção de Categorias</i> .....	36
	4.4.2 <i>Classificação</i> .....	43
	4.4.3 <i>Caracterização</i> .....	43
	4.4.4 <i>Normalização</i> .....	46
	4.4.5 <i>Ponderação</i> .....	46
	4.5 Interpretação dos Resultados.....	47
	4.6 Relatório .....	47
	4.7 Análise Crítica .....	48
V	PERSPECTIVAS .....	49
	5.1 Aplicações .....	49

5.1.1	<i>Melhorias de Produtos e Processos</i> .....	49
5.1.2	<i>Relações com Clientes</i> .....	50
5.1.3	<i>Seleção de Fornecedores</i> .....	50
5.1.4	<i>Comércio Internacional</i> .....	51
5.2	Limitações.....	52
5.3	Tendências.....	53
	SEGUNDA PARTE: O SETOR DE PNEUS.....	56
VI	O MERCADO DE PNEUS.....	57
6.1	Mercado Mundial.....	57
6.2	Indústria de Pneus no Brasil.....	59
6.2.1	<i>Goodyear</i> .....	60
6.2.2	<i>Bridgestone</i> .....	60
6.2.3	<i>Michelin</i> .....	61
6.2.4	<i>Pirelli</i> .....	61
6.2.5	<i>Continental</i> .....	62
6.3	Mercado Brasileiro.....	62
6.4	Investimentos no Setor.....	63
6.5	Mercado de Reposição.....	64
6.6	Indústria de Remoldagem no Brasil.....	65
VII	PRODUÇÃO DO PNEU.....	67
7.1	Invenção do Pneu.....	67
7.2	Principais Matérias-primas.....	68
7.3	Estrutura do Pneu Automotivo.....	69
7.4	Processo Produtivo.....	71
7.4.1	<i>Misturação</i> .....	71
7.4.2	<i>Produção dos Componentes</i> .....	71
7.4.3	<i>Construção do Pneu</i> .....	72
7.4.4	<i>Processo de Vulcanização</i> .....	72
7.4.5	<i>Inspeção Final</i> .....	72
VIII	PANORAMA DO PNEU USADO.....	73
8.1	Alternativas para o Pneu Usado.....	73
8.1.1	<i>Reciclagem</i> .....	73
8.1.2	<i>Valorização Energética</i> .....	75
8.1.3	<i>Reuso</i> .....	76
8.1.4	<i>Reforma</i> .....	76
8.2	Pneus Importados como Matéria-prima para Remoldagem.....	77

8.3	Problemas Ambientais e de Saúde Pública .....	78
8.4	Aspectos Legais .....	79
8.5	Iniciativas de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis .....	80
8.6	Estatísticas Relacionadas à Coleta e à Destinação .....	82
IX	ESTUDO DE ACV SOBRE PNEUS .....	85
9.1	Continental: Definição de Objetivo .....	85
9.2	Continental: Definição de Escopo .....	86
9.3	Continental: Análise de Inventário.....	87
	9.3.1 Entradas.....	87
	9.3.2 Saídas .....	89
9.4	Continental: Avaliação de Impacto.....	91
	9.4.1 Entrada Cumulativa de Energia .....	92
	9.4.2 Potencial de Aquecimento Global (GWP) .....	92
	9.4.3 Potencial de Acidificação (AP) .....	93
	9.4.4 Potencial de Nutrição (NP) .....	93
	9.4.5 Ecotoxicidade e Toxicidade Humana .....	94
9.5	Continental: Comparação de Variações do Pneu .....	94
	9.5.1 Negro de Fumo x Sílica.....	95
	9.5.2 Poliéster x rayon.....	95
9.6	Continental: Alternativas para o Pneu Usado.....	95
	9.6.1 Produção de Cimento.....	96
	9.6.2 Geração de Energia .....	96
	9.6.3 Remoldagem.....	96
9.7	Continental: Interpretação .....	98
9.8	Continental: Considerações sobre o Estudo .....	98
	TERCEIRA PARTE: PESQUISA APLICADA .....	100
X	PESQUISA DE CAMPO .....	101
10.1	Apresentação da Pesquisa.....	101
10.2	Trajectoria da Pesquisa.....	101
10.3	Contato com as Empresas .....	104
	10.3.1 Visita a BS Colway .....	105
	10.3.2 Visita a Crystone e a Itaipava.....	106
	10.3.3 Reunião na Michelin.....	107
10.4	Aplicação do Questionário .....	109
	10.4.1 Informações Levantadas.....	111
	10.4.2 Análise das Informações.....	113

XI	MODELO PROPOSTO.....	114
	11.1 Levantamento dos Processos .....	115
	11.2 Inventário Simplificado do Ciclo de Vida .....	115
	11.3 Extensão do Enfoque de Ciclo de Vida na Cadeia Produtiva .....	118
	11.4 Difusão do Enfoque de Ciclo de Vida na Organização .....	119
	11.5 Aderência entre Enfoque de Ciclo de Vida e Ferramentas de Gestão.....	120
	CONCLUSÕES.....	122
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	125
ANEXO A:	Potenciais de Aquecimento Global – IPCC.....	131
ANEXO B:	Potenciais de Redução de Camada de Ozônio – WMO .....	133
ANEXO C:	Potenciais de Formação de Oxidantes Fotoquímicos.....	134
ANEXO D:	Potenciais de Acidificação .....	137
ANEXO E:	Potenciais de Eutrofização.....	138
ANEXO F:	Resumo dos Investimentos no Brasil, 2004-2007 (em R\$ Milhões) .....	139
ANEXO G:	Principais Etapas do Processo de Recapagem/Recauchutagem.....	140
ANEXO H:	Questionário de Pesquisa – Parte I: Gestão Ambiental .....	141
ANEXO I:	Questionário de Pesquisa – Parte II: Avaliação de Ciclo de Vida.....	142
ANEXO J:	Questionário de Pesquisa – Parte III: Cadeia Produtiva .....	143

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo de Vida	20
Figura 2: Modelo Simplificado de Sistema de Produto	21
Figura 3: Fluxos de Entrada e Saída da Unidade de Processo	22
Figura 4: Estrutura da Avaliação de Ciclo de Vida	25
Figura 5: Definição de Função, Unidade Funcional e Fluxo de Referência	27
Figura 6: Cadeia de Impactos Ambientais do Dióxido de Carbono	37
Figura 7: Representação Esquemática da Etapa de Classificação	43
Figura 8: Gráfico de Análise de Ecoeficiência	54
Figura 9: SEECube®	55
Figura 10: Volume de Vendas e de Produção (em Milhões de Pneus)	62
Figura 11: Partes do Pneu Automotivo	69
Figura 12: Destinação dos Pneus Usados	82
Figura 13: Consumo de Recursos por Pneu (kg)	87
Figura 14: Consumo de Ar por Pneu (kg)	88
Figura 15: Consumo de Água por Pneu (kg)	88
Figura 16: Contribuição dos Estágios do Ciclo de Vida no Consumo das Entradas (%)	89
Figura 17: Emissões Atmosféricas por Pneu (kg)	90
Figura 18: Impacto Negativo sobre Efluente por Pneu (kg)	90
Figura 19: Resíduos ( <i>Overburden</i> e <i>Waste</i> ) por Pneu (kg)	91
Figura 20: Entrada Cumulativa de Energia por Pneu (MJ)	92
Figura 21: Potencial de Aquecimento Global por Pneu (kg CO <sub>2</sub> equivalente)	93
Figura 22: Potencial de Acidificação por Pneu (kg SO <sub>2</sub> equivalente)	93
Figura 23: Potencial de Nutrição por Pneu (kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> equivalente)	94
Figura 24: Metodologia da Pesquisa	104

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição Espacial das Categorias de Impacto – SETAC	38
Tabela 2: Referências de Categorias de Impacto Ambiental	44
Tabela 3: Fusões e Aquisições no Setor	57
Tabela 4: Participação no Mercado Mundial	58
Tabela 5: Mercado de Pneus de Passeio e Comerciais Leves (em Milhões de Pneus)	59
Tabela 6: Volumes por Categoria em 2006 (em Milhões de Pneus)	63
Tabela 7: Multas Definidas pelo IBAMA pelo Não-cumprimento da Resolução 258/1999	83
Tabela 8: Respostas Objetivas ao Questionário – Parte I: Gestão Ambiental	111
Tabela 9: Respostas Objetivas ao Questionário – Parte II: Avaliação de Ciclo de Vida	112
Tabela 10: Respostas Objetivas ao Questionário – Parte III: Cadeia Produtiva	112
Tabela 11: Formulário de Inventário Simplificado de Ciclo de Vida	116

## LISTA DE SIGLAS

ABIP	Associação Brasileira da Indústria de Pneus Remoldados
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação de Ciclo de Vida
AEE	Análise de Ecoeficiência
AICV	Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida
ANIP	Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
AP	<i>Acidification Potential</i>
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BR	<i>Butadiene Rubber</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CB	Comitê Brasileiro
CDM	<i>Clean Development Mechanism</i>
CE	Comissão de Estudo
CEFET/RJ	Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CERES	<i>Coalition for Environmentally Responsible Economics</i>
CFC	Clorofluorcarbono
CH <sub>4</sub>	Metano
CMMAD	Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia
DAAD	Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico
DFE	<i>Design for Environment</i>
EMAS	<i>Eco-management and Audit Scheme</i>
EP	<i>Eutrophication Potential</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
FIRJAN	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
GAN	Grupo de Apoio a Normalização Ambiental
GCV	Gestão do Ciclo de Vida
GPP	<i>Green Public Procurement</i>

GWP	<i>Global Warming Potential</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IES	Instituições de Ensino Superior
IMO	<i>International Meteorological Organization</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>
LCI	<i>Life Cycle Inventory</i>
LCIA	<i>Life Cycle Impact Assessment</i>
LCM	<i>Life Cycle Management</i>
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MRI	<i>Midwest Research Institute</i>
NBR	Norma Brasileira
NO <sub>x</sub>	Óxidos de Nitrogênio
NR	<i>Natural Rubber</i>
ODP	<i>Ozone Depletion Potential</i>
OCDE	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OECD	<i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i>
OIT	Organização Internacional do Trabalho
OMC	Organização Mundial do Comércio
ONS	Organismo de Normalização Setorial
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PNUMA	Programa das Nações Unidas para Meio Ambiente
POCP	<i>Photochemical Ozone Creation Potential</i>
REPA	<i>Resource and Environmental Profile Analysis</i>
SAGE	<i>Strategic Advisory Group on Environment</i>
SAGE/COPPE	Laboratório de Sistemas Avançados de Gestão da Produção
SBR	<i>Styrene-Butadiene Rubber</i>
SECEX	Secretaria de Comércio Exterior
SETAC	<i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>
SIGNUS	<i>Sistema Integrado de Gestión de Neumáticos Usados</i>
SO <sub>2</sub>	Dióxido de Enxofre

TC	<i>Technical Committee</i>
TBT	<i>Agreement on Technical Barriers to Trade</i>
TR	<i>Technical Report</i>
TS	<i>Technical Specification</i>
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
VOC	<i>Volatile Organic Compound</i>
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>
WTO	<i>World Trade Organization</i>

## I INTRODUÇÃO

O atual cenário de degradação dos recursos naturais e abalo dos ecossistemas exige um posicionamento das organizações. As pressões governamentais e sociais crescem e já se refletem em cobranças quanto à responsabilidade das empresas pelos impactos ambientais<sup>1</sup> de seus produtos além de seus portões. Essas pressões estão se traduzindo em requisitos legais de retorno e recuperação de produtos e resíduos no pós-consumo, assim como em restrições ao uso de recursos naturais. Tais exigências condicionam os produtores a recuperarem e reprocessarem os resíduos de seus produtos, acarretando modificações nas relações e na gestão da cadeia de suprimentos<sup>2</sup>.

Para que as empresas sejam capazes de atender a essas novas demandas, é preciso que ampliem o foco das preocupações ambientais, restrito originalmente aos limites de cada organização, para contemplar a cadeia produtiva<sup>3</sup>. Considerando que a cadeia se estende da obtenção da matéria-prima ao consumidor final, contemplá-la por completo implica conhecer o ciclo de vida do produto<sup>4</sup>.

Os estágios sucessivos e encadeados de transformação dos materiais compõem o ciclo de vida do produto, que engloba a extração de matéria-prima, o desenho, a produção, a embalagem, a distribuição, o uso, a manutenção, o reuso, a reciclagem e a destinação final. Ao se contemplar o ciclo de vida são considerados os processos que ocorrem tanto no lado do fornecimento<sup>5</sup> quanto no lado da demanda<sup>6</sup> na cadeia de suprimentos, o que amplia o alcance da análise para além dos limites da empresa.

O lado da demanda precisa ser levado em conta, visto que uma expressiva parcela dos danos ambientais de um produto pode ser atribuída ao ato de consumo e ao

---

<sup>1</sup> “impacto ambiental: qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização” (ABNT, 2004, pp. 2).

<sup>2</sup> “a gestão da cadeia de suprimentos é a gestão da interconexão das empresas que se relacionam por meio de ligações à montante e à jusante entre os diferentes processos, que produzem valor na forma de produtos e serviços para o consumidor final” (SLACK *et al.*, 2002, pp. 415). Neste contexto, montante corresponde ao lado do fornecimento e jusante ao lado da demanda.

<sup>3</sup> Neste trabalho, as expressões cadeia de suprimentos e cadeia produtiva são empregadas como sinônimos.

<sup>4</sup> O termo produto não inclui somente sistemas de produto, mas pode incluir também sistemas de serviço.

<sup>5</sup> “no lado do fornecimento, uma operação tem seus fornecedores de peças ou informações ou serviços. (...) há um grupo de operações que fornecem diretamente para a operação; estas em geral são chamadas de fornecedores de ‘primeira camada’. São supridos por fornecedores de ‘segunda camada’” (SLACK *et al.*, 2002, pp. 171).

<sup>6</sup> “no lado da demanda a operação tem clientes. Esses clientes podem não ser os usuários finais dos produtos ou serviços da operação; podem ter o seu próprio conjunto de clientes. (...) os clientes de ‘primeira camada’ são o principal grupo de clientes da operação produtiva. Estes, por sua vez, suprem clientes de ‘segunda camada’” (SLACK *et al.*, 2002, pp. 171).

descarte inapropriado ou precipitado de materiais que ainda poderiam ser submetidos a processos de reaproveitamento ou reciclagem.

Em contrapartida, o lado do fornecimento também deve ser contemplado, uma vez que as matérias-primas ou componentes empregados podem atenuar ou acentuar os impactos ambientais dos processos produtivos e de consumo, além de interferirem nas opções de reaproveitamento, reciclagem e disposição final. Do mesmo modo, os processos dos fornecedores precisam ser considerados, pois uma matéria-prima benéfica do ponto de vista da geração de impactos ambientais na produção e no consumo e que ofereça atrativas alternativas no pós-consumo pode provir de processos intensivos em recursos naturais e energia, o que reduz a eficiência ambiental do sistema.

Do ponto de vista ambiental, o ciclo de vida de um produto pode ser analisado por meio de uma família de ferramentas e técnicas denominada Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)<sup>7</sup>, concebida para comparar o desempenho ambiental de produtos por meio do levantamento, de maneira integrada, dos aspectos ambientais<sup>8</sup> e impactos potenciais associados ao sistema de produto. Como a ACV amplia o conhecimento sobre o sistema de produto, acredita-se que possa ser útil também na seleção de alternativas para gestão ambiental.

Assim, o eixo dessa pesquisa está centrado na aplicação da técnica de ACV para a gestão ambiental ou, mais especificamente, para gestão do ciclo de vida<sup>9</sup>. O recorte dado pretende aproximar a ACV do cotidiano das organizações, de uma maneira acessível para o gestor ou tomador de decisão.

Esta dissertação concentrou a discussão na aplicação da Avaliação de Ciclo de Vida em sistemas industriais<sup>10</sup> com o **objetivo** de verificar a potencialidade da técnica na tomada de decisão, visando à melhoria do desempenho ambiental dos produtos. A preocupação do estudo foi traduzir a abordagem de ciclo de vida em um método prático, de modo a auxiliar as organizações a incluir a dimensão ambiental em seus negócios,

---

<sup>7</sup> A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) ou *Life Cycle Assessment* (LCA) é denominada também análise de ciclo de vida (*life cycle analysis*), enfoque de ciclo de vida (*life cycle approach*) ou análise do berço ao túmulo (*cradle-to-grave analysis*).

<sup>8</sup> “aspecto ambiental: Elemento das atividades, produtos ou serviços de uma organização, que pode interagir com o meio ambiente” (ABNT, 2001, pp. 3).

<sup>9</sup> Em uma tradução de Jensen *et al.* (2007, pp. 1), a gestão do ciclo de vida ou *Life Cycle Management* (LCM) é definida como: “uma integração sistemática de sustentabilidade na estratégia e no planejamento da companhia, no desenho e desenvolvimento de produto, nas decisões de aquisição e nos programas de comunicação a fim de minimizar os problemas ambientais e socioeconômicos associados como um produto ou portfólio de produtos durante seu ciclo de vida e sua cadeia de valor inteira”.

<sup>10</sup> Embora a ACV aplique-se também a sistemas de serviço, a presente pesquisa foca na atividade produtiva industrial por considerar que esta representa um campo de estudo mais amplo para aplicação da técnica.

uma vez que os requisitos ambientais, inicialmente definidos pela legislação, progressivamente estão se tornando exigências também dos consumidores.

Cada vez mais, atender às demandas dos consumidores e às reivindicações da sociedade significa, além de atingir os objetivos de desempenho básicos da produção – qualidade, rapidez, confiabilidade, flexibilidade e custo –, produzir e entregar produtos ambientalmente benéficos. Entretanto, produtos não podem ser assim considerados se na avaliação ambiental não forem levados em conta os aspectos e impactos ao longo de todo o seu ciclo de vida. Portanto, os impactos de todos os estágios do ciclo, englobando desde materiais e fabricação ao uso pelo consumidor e disposição final, precisam ser completamente considerados na tomada de decisão sobre padrões de produção e consumo, políticas e estratégias de gestão.

Num contexto onde diversos setores industriais adotam elevados níveis de desverticalização<sup>11</sup>, muitos processos que anteriormente eram realizados dentro de uma única empresa são agora confiados a fornecedores. Se a definição ou alteração do grau de verticalização de uma empresa acarreta conseqüências para várias funções dentro da organização, tanto do lado dos suprimentos (compras, recepção de materiais, controle de qualidade, almoxarifado e contas a pagar), quanto do lado da distribuição (centros de distribuição e meios de transporte), do mesmo modo para a gestão ambiental, já que os estágios do ciclo de vida perpassam agora diversas organizações. Soma-se ainda o efeito da globalização, que amplia as possibilidades de aquisição e de distribuição de bens e serviços em mercados externos, aumentando o espaço geográfico dos sistemas de produtos.

Considerando esta conjuntura, o objetivo da pesquisa realizada foi responder à seguinte **questão**: *em que medida a Avaliação de Ciclo de Vida é capaz de auxiliar na tomada de decisão visando à melhoria do desempenho ambiental dos produtos?* Selecionou-se, então, o pneu automotivo como objeto de estudo. Por conseguinte, esta pesquisa pretendeu comprovar a seguinte **hipótese**: *A Avaliação de Ciclo de Vida é capaz de auxiliar na tomada de decisão e na melhoria do desempenho ambiental do pneu, na medida que amplia e organiza o conhecimento sobre o sistema de produto, baseando-se em critérios técnicos e científicos, de uma maneira acessível para o tomador de decisão.*

Para validar essa hipótese, foram definidos cinco **objetivos específicos**: (1) propor um modelo para introdução da ACV nas organizações; (2) analisar os

---

<sup>11</sup> A desverticalização consiste em uma troca de operações internas (executadas por fornecedores e clientes pertencentes à empresa), por operações externas (executadas por fornecedores e clientes sob outro capital). De uma outra maneira, pode-se dizer que a verticalização ou integração vertical da cadeia corresponde ao grau em que uma organização se torna proprietária da cadeia produtiva da qual faz parte.

fundamentos teóricos da ACV, com o intuito de verificar a confiabilidade e aplicabilidade dessa técnica; (3) analisar o setor de pneus, a fim de compreender os aspectos técnicos, ambientais e econômicos relacionados a este sistema de produto; (4) examinar estudos de ACV de pneus disponibilizados na literatura acadêmica e nas publicações de empresas, a fim de verificar sua validade e relevância, bem como as conclusões desses estudos; e (5) verificar a difusão dos conceitos e ferramentas de ciclo de vida nas empresas pesquisadas.

A escolha do pneu como objeto de estudo para o desenvolvimento da dissertação está atrelada a duas motivações centrais. Primeiramente, destaca-se a importância da cadeia produtiva automotiva para a economia e, portanto, buscou-se identificar uma oportunidade para estudar a ACV dentro dessa complexa cadeia. Iniciou-se, então, uma pesquisa sobre os principais componentes e matérias-primas da indústria automobilística, a fim de selecionar o objeto do estudo.

Ao considerar a imprescindibilidade do componente para o funcionamento do automóvel, a abrangência e a relevância das discussões relacionadas ao produto, selecionou-se o pneu. Acredita-se que este sistema de produto seja capaz de exemplificar a complexidade da tomada de decisões relacionadas ao meio-ambiente, pois envolve escolhas que não abrangem apenas aspectos ambientais, mas também interesses econômicos, questões sociais e até mesmo disputas políticas, que extrapolam as fronteiras do país.

Finalmente, o objeto de estudo selecionado insere-se nas pesquisas desenvolvidas pelo Laboratório de Sistemas Avançados de Gestão da Produção (SAGE)<sup>12</sup> em parceria com a Universidade de Tecnologia de Darmstadt e o Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ) no âmbito do programa PROBRAL<sup>13</sup>. O projeto de cooperação, financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e pelo Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico (DAAD), concentra suas pesquisas na cadeia produtiva automotiva.

A **relevância** do estudo está relacionada à composição de um modelo simplificado de ACV aplicável às organizações que desejam introduzir a ACV no seu cotidiano, sem

---

<sup>12</sup> Criado em 1995, o SAGE pertence ao Programa de Engenharia de Produção da COPPE/UFRJ, sendo coordenado pelo Prof. Rogério Valle. A missão do SAGE é atuar na reflexão, na qualificação e na inovação das formas de se produzir bens e serviços, integrando-se critérios técnicos, sociais e ambientais (SAGE, 2007).

<sup>13</sup> “O Programa CAPES-PROBRAL, apoiado no acordo de cooperação assinado entre Brasil e Alemanha em 26 de abril de 1994, tem como objetivo estimular o intercâmbio de docentes e pesquisadores brasileiros e alemães, vinculados a Programas de Pós-Graduação de Instituições de Ensino Superior – IES, por meio de projetos conjuntos de pesquisa, visando a formação de recursos humanos de alto nível no nos dois países, nas diversas áreas do conhecimento” (CAPES, 2007).

necessidade de contratação de especialista externo e tampouco representando elevados gastos de tempo ou recursos financeiros. Esta estrutura pode auxiliar na difusão do enfoque de ciclo de vida e no desenvolvimento progressivo de competências<sup>14</sup> na organização para a futura realização de estudos mais elaborados.

Uma outra contribuição da pesquisa diz respeito à apresentação dos conceitos e etapas da ACV de uma maneira compreensível para o gestor ou tomador de decisão, de modo a capacitá-lo para o entendimento das conclusões dos estudos, bem como suas premissas e limitações, possibilitando a efetiva utilização dos resultados para a seleção de alternativas.

Ao mesmo tempo em que elucida ao gestor os aspectos técnico-científicos da ACV, acredita-se que o trabalho contribua também para apresentar ao especialista técnico a visão de gestão de ciclo de vida, indicando as aplicações que excedem a otimização do processo produtivo, alçando outras partes da empresa e incluindo a relação com clientes, fornecedores e órgãos governamentais.

Enfim, o trabalho agrega especificamente à indústria de pneus (novos e reformados) uma investigação sobre a difusão do enfoque de ciclo de vida no setor e uma pesquisa documental sobre um estudo de ACV realizado sobre pneus, discutindo sua utilidade para a tomada de decisão.

No que se refere à **metodologia**<sup>15</sup>, do ponto de vista da natureza, desenvolve-se uma pesquisa aplicada<sup>16</sup>, porquanto se objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Quanto à estrutura, a dissertação está dividida em três partes, além desta introdução e da conclusão.

Na Primeira Parte: Referencial Teórico, são detalhadamente apresentados e analisados os fundamentos da ACV. Nos capítulos que compõem esta parte, procura-se abordar os conceitos e métodos de uma forma acessível, sem, contudo, sacrificar o

---

<sup>14</sup> Competência é a capacidade pessoal de interpretação de sinais, verbais ou não, a partir de um núcleo de regras e elementos gerados pelos conhecimentos, valores e características de personalidade do indivíduo. Dentro das organizações, são requeridas competências de diferentes naturezas: técnicas e metodológicas (qualificação formal), subjetivas (relações pessoais e interpessoais, dentro da organização) e sociais (relações com o “fora da organização”: mercado, governo, sociedade).

<sup>15</sup> No Capítulo X – Pesquisa de Campo, no item 10.1 – Apresentação da Pesquisa, é feita a caracterização da pesquisa abordando-se os aspectos referentes ao tipo e à metodologia da pesquisa, à perspectiva da análise e ao modo de investigação. Em seguida, apresenta-se a trajetória da pesquisa, onde são definidos os passos percorridos durante a realização da dissertação.

<sup>16</sup> Como afirmam EASTERBY-SMITH *et al.* (1999, pp. 7), “a pesquisa aplicada pretende conduzir à solução de problemas específicos [...] Ela é comumente usada no nível de mestrado, embora para se conseguir aprovação acadêmica ainda seja importante procurar explicar o que está acontecendo, ao invés de simplesmente descrever coisas. [...] É importante ser crítico a respeito das idéias e dos métodos usados e considerar a qualidade das evidências introduzidas para apoiar uma idéia. Uma forma comum de pesquisa aplicada é a avaliação do processo [...]”.

conteúdo. Com isso, objetiva-se fornecer os fundamentos para a discussão posterior, específica sobre o objeto de estudo pneu.

Na Segunda Parte: O Setor de Pneus, as atenções se voltam para o produto em questão. Este enfoque está relacionado à necessidade percebida de ampliação do conhecimento sobre o segmento, seus aspectos econômicos, técnicos e ambientais, para que seja possível discutir apropriadamente a aplicação da ACV a esse sistema de produto.

Após a imersão nos fundamentos técnico-científicos da ACV e já tendo aprofundado o conhecimento sobre o universo dos pneus, parte-se para a Terceira Parte: Pesquisa Aplicada. Nesta parte, a dissertação se aproxima da realidade das empresas, onde se dispõe a conhecer os processos e a investigar a difusão dos conceitos de ciclo de vida para, então, conceber um modelo introdutório do enfoque de ciclo de vida nas organizações.

## PRIMEIRA PARTE: REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta parte da dissertação, apresenta-se o embasamento técnico-científico da ACV, com o propósito de verificar a confiabilidade e aplicabilidade dessa técnica. Primeiramente, no Capítulo II – Histórico Ambiental, a seqüência de fatos que compõem o histórico da questão ambiental é brevemente exposta. Desse modo, pretende-se elucidar o contexto que motivou a elaboração dos métodos e ferramentas para gestão ambiental.

Segue-se, então, um tópico sobre o surgimento e a evolução da ACV, no qual o estágio atual das técnicas é apresentado como fruto de um amadurecimento ao longo de décadas. Finalmente, aborda-se o processo de normalização, com foco nas normas ambientais, especialmente na série sobre ACV, que tem contribuído para a difusão das técnicas e ferramentas de gestão ambiental.

No Capítulo III – Conceitos Fundamentais, apresenta-se o arcabouço teórico do enfoque de ciclo de vida, onde conceitos e definições são explicados. Tal esclarecimento se faz necessário porque diversos termos empregados não são de exclusividade do assunto e, portanto, precisam ser apropriadamente definidos.

A seguir, no Capítulo IV – Técnica de ACV, cada etapa da condução de um estudo de ACV é esmiuçada, com o propósito de evidenciar seus requisitos e princípios. Trata-se do capítulo teórico central da dissertação, onde se discutem com detalhes os principais tópicos relacionados à realização de um estudo.

Enfim, no Capítulo V – Perspectivas, as aplicações, as limitações e as tendências da ACV são contempladas. Neste capítulo são feitas considerações sobre o futuro da ACV, discutindo-se também a necessidade do desenvolvimento de procedimentos mais simplificados, capazes de aproximar a técnica do cotidiano das organizações.

## **II HISTÓRICO AMBIENTAL**

Para compreender o estágio atual das técnicas de gestão ambiental, é preciso primeiramente entender o contexto histórico que levou à introdução da preocupação ambiental nas organizações e influenciou o desenvolvimento dos métodos e ferramentas. Por isso, neste capítulo, apresentam-se, de uma forma concisa, os principais acontecimentos que motivaram a elaboração das técnicas e direcionaram o seu aperfeiçoamento. Aborda-se também o processo de normalização, importante para promoção dos sistemas de gestão ambiental nas organizações, assim como para garantia da credibilidade, transparência e comparabilidade dos estudos de ACV.

### **2.1 Inserção da Preocupação Ambiental nas Organizações**

Desde a antiguidade, a humanidade tem aprimorado sua capacidade de manipular a matéria com o propósito de satisfazer às suas necessidades e melhorar a qualidade de vida. A partir da observação dos fenômenos naturais e da experimentação, a humanidade foi também adquirindo conhecimento sobre a natureza e as propriedades da matéria, o que ampliou suas possibilidades de transformação e, conseqüentemente, o seu efeito modificador sobre o ambiente.

Com o advento da Primeira Revolução Industrial, iniciada na Inglaterra do século XVIII, a quantidade de materiais transformados cresceu exponencialmente, gerando novas substâncias e produtos inovadores que gradualmente transformaram o mundo. Com a ampliação das escalas de produção, o objetivo da atividade industrial se deslocou do atendimento das necessidades básicas da população, tornando-se um processo de acumulação de capital, que, para garantir sua sobrevivência, passa a incentivar a ampliação dos níveis de consumo.

Contudo, o crescimento da atividade industrial não trouxe apenas benefícios para a humanidade. Novas substâncias foram sintetizadas e introduzidas no mercado sem o suficiente conhecimento de suas propriedades ou possíveis combinações. A geração de resíduos alcançou patamares elevados, desafiando a capacidade de suporte dos sistemas naturais.

Seja por desconhecimento do potencial impacto ambiental das novas substâncias, por incapacidade de lidar com emissões e resíduos ou por simples omissão dos industriais, os efeitos da poluição começaram a ser sentidos. As condições de trabalho nos centros industriais se tornaram deploráveis. A jornada de trabalho chegou a 60, até mesmo 100 horas semanais, representando longa exposição dos operários a condições extremamente insalubres.

Nos século XX, muitos fatos graves ocorreram, dentre os quais merecem destaque, por suas proporções, o vazamento de metilmercúrio na Baía de Minamata<sup>17</sup> – Japão, em 1953 (MICARONI, 2000); de dioxinas em Seveso<sup>18</sup> – Itália, em 1976; de produtos tóxicos no Love Canal<sup>19</sup> – Estados Unidos, em 1977; de isocianato de metila, em Bhopal<sup>20</sup> – Índia, em 1984; de radioatividade em Chernobyl<sup>21</sup> – Ucrânia, em 1986; e de petróleo do Exxon Valdez no Canal Príncipe William – Alasca<sup>22</sup>, em 1989 (PNUMA, 2004).

Na tentativa de diminuir a carga ambiental e minimizar os riscos à saúde humana, as nações começaram a definir suas políticas ambientais, estabelecendo leis e criando órgãos dedicados às questões ambientais. Esse processo foi fomentado por movimentos ambientalistas e convenções internacionais que se preocupavam com os impactos ambientais do crescimento econômico contínuo e acelerado.

Ante as pressões sociais, as indústrias procuraram desenvolver mecanismos de controle da poluição. Inicialmente, foram desenvolvidos sistemas *end-of-pipe* (ou fim de tubo), que cuidavam de reter ou tratar ao final do processo produtivo os poluentes gerados. O filtro de chaminé exemplifica esse tipo de sistema, visto que serve para

---

<sup>17</sup> O efluente de uma planta química da *Chisso Corporation* contaminou a biota marinha, chegando à população através da ingestão de peixes e frutos do mar. Estimam-se de 200 a 600 toneladas de metilmercúrio despejadas até a interrupção do processo de produção de acetaldeído, em 1968. Até 1997, o número de vítimas fatais já havia chegado a 887, sendo que mais 2209 casos da chamada “Doença de Minamata” haviam sido registrados (MICARONI, 2000).

<sup>18</sup> A explosão da fábrica de pesticidas, que resultou na liberação de 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina (TCDD), levou à introdução, em 1982, de uma Diretriz Européia sobre os riscos de acidentes de grandes proporções (PNUMA, 2004).

<sup>19</sup> Um canal entre os rios Niagara superior e inferior, originalmente escavado por William T. Love, para geração de energia elétrica, foi utilizado como depósito de resíduos químicos e após encerramento de seu uso foi coberto com terra, em 1953. No final da década de 50, uma escola pública e cerca de 100 casas foram construídas no local. A partir de 1970, problemas e anomalias de saúde humana e animal começaram a ser relatados (SOUZA FILHO, 2006).

<sup>20</sup> O vazamento de gases letais da fábrica *Union Carbide* deixou um saldo de 3 mil mortos e 20 mil feridos. Em decorrência desse fato, a Organização Internacional do Trabalho (OIT) elaborou, em 1993, a Convenção nº 174 sobre a Prevenção de Grandes Acidentes Industriais e a Recomendação nº 181 sobre a Prevenção de Acidentes Industriais Maiores, que exigem um intercâmbio internacional de informações relevantes e a elaboração de políticas destinadas a lidar com os riscos e perigos de grandes acidentes e suas conseqüências (PNUMA, 2004).

<sup>21</sup> Em 1986, o mundo presenciou o pior desastre nuclear decorrente da explosão de um reator da usina de Chernobyl. Após o acidente, importantes tratados internacionais foram adotados: a Convenção sobre Assistência no Caso de Acidente Nuclear ou Emergência Radiológica e a Convenção sobre Pronta Notificação de Acidente Nuclear. Mais recentemente, foram adotadas a Convenção de 1994 sobre Segurança Nuclear e a Convenção Conjunta de 1997 sobre o Gerenciamento Seguro de Combustível Nuclear e Rejeitos Radioativos (PNUMA, 2004).

<sup>22</sup> O derramamento de 50 milhões de litros de petróleo do petroleiro Exxon Valdez resultou em enormes danos ambientais e econômicos e incitou a elaboração pela *Coalition for Environmentally Responsible Economics* (CERES) ou Coalizão pela Economia Ambientalmente Responsável, dos “Princípios de Valdez”, um código de conduta voluntário em relação ao meio ambiente. Tais princípios orientam as empresas quanto ao estabelecimento de políticas ambientais e requerem a melhoria dos padrões empresariais de segurança ambiental, assim como a tomada de responsabilidade dos possíveis danos (PNUMA, 2004).

diminuir a concentração de determinados poluentes nos gases emitidos por uma unidade industrial. Contudo, não havia ainda a preocupação com a minimização da geração das emissões.

Com o passar do tempo, esse tipo de controle revelou-se insuficiente para prevenção da poluição e para manutenção dos recursos naturais, porquanto os níveis de devastação e de poluição continuavam a crescer. De fato, o tratamento e a disposição dos resíduos muitas vezes não eram realizados de maneira adequada e as perdas de materiais e energia nos processos eram elevadas.

A expansão dos princípios de qualidade total<sup>23</sup> e de reengenharia<sup>24</sup>, nos anos 1980 e 1990, abriu caminho para o desenvolvimento das tecnologias limpas, que pretendiam promover a revisão dos processos com a finalidade de reduzir a geração de resíduos e os desperdícios, e de otimizar a utilização de energia. Iniciativas direcionadas para eco-concepção de produtos também foram implementadas, objetivando o desenvolvimento de materiais e produtos que acarretassem menos impactos ambientais durante a produção e que oferecessem maiores possibilidades de reaproveitamento no pós-uso.

Finalmente, chegou-se ao conceito de gestão ambiental da produção, que representou uma ascensão da questão ambiental às esferas superiores da organização, porquanto as preocupações ambientais alcançaram o nível estratégico da empresa, envolvendo estrutura organizacional, atividades de planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos, processos e recursos com o objetivo de reduzir os impactos ambientais de suas atividades.

## **2.2 Surgimento e Evolução da ACV**

No final da década de 1960, teve início uma crise mundial ocasionada pelo aumento do preço do petróleo, em consequência do boicote realizado pelos países da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP), o que se estendeu até a década de 1980. Este acontecimento disparou a busca por formas alternativas de energia e motivou a realização de estudos de avaliação de processos produtivos e racionalização

---

<sup>23</sup> A noção de administração da qualidade total ou *Total Quality Management* (TQM) foi introduzida nos anos de 1950 por Feigenbaum, que define TQM como “um sistema eficaz para integrar as forças de desenvolvimento, manutenção e melhoria da qualidade dos vários grupos de uma organização, permitindo levar a produção e o serviço aos níveis mais econômicos da operação e que atendam plenamente à satisfação do consumidor” (FEIGENBAUM *apud* SLACK *et al.*, 2002, pp. 662).

<sup>24</sup> “A reengenharia’, propriamente, é ‘o repensar fundamental e a reestruturação radical dos processos empresariais que visam alcançar drásticas melhorias em indicadores críticos e contemporâneos de desempenho, tais como custos, qualidade, atendimento e velocidade” (HAMMER; CHAMPY, 1994, pp. 22).

do consumo de fontes energéticas renováveis. Deste período, datam os primeiros estudos que consideram aspectos de ciclo de vida de produtos e materiais, abordando questões como eficiência energética, consumo de matéria-prima e descarte de resíduos (CHEHEBE, 1997).

Embora inicialmente o uso de energia tenha sido considerado assunto prioritário, diversos trabalhos de avaliação do desempenho de embalagens foram também desenvolvidos. Destes, pode-se destacar o estudo realizado, em 1969, pelo *Midwest Research Institute* (MRI), financiado pela Coca-Cola, com o objetivo de comparar diferentes tipos de embalagem para refrigerantes, a fim de identificar aquela que apresentava melhor desempenho em relação à preservação de recursos naturais e que acarretava menos danos ao meio ambiente (JENSEN *et al.*, 1997).

O método desenvolvido nesta pesquisa para quantificação da utilização de recursos naturais ficou conhecido como *Resource and Environmental Profile Analysis* (REPA), aprimorado posteriormente pelo MRI e referenciado como um marco para o surgimento do que hoje se denomina Avaliação de Ciclo de Vida (CHEHEBE, 1997).

Simultaneamente, na Europa, um enfoque semelhante de levantamento de impactos ambientais estava sendo elaborado, em uma metodologia que mais tarde ficou conhecida como Ecobalance. No Reino Unido, em 1972, Ian Boustead<sup>25</sup> calculou o total de energia usada na produção de vários tipos de embalagens de bebidas, incluindo vidro, plástico, aço e alumínio. Em poucos anos, este pesquisador consolidou sua metodologia, tornando-a aplicável a uma variedade de materiais, o que culminou na publicação, em 1979, do primeiro tratado sobre o uso de métodos de ciclo de vida em análises energéticas: o *Handbook of Industrial Energy Analysis* (JENSEN *et al.*, 1997).

Durante a década de 80, principalmente na Europa, o interesse por ferramentas de avaliação do desempenho ambiental de produtos cresceu motivado pela discussão em pauta sobre a necessidade do estabelecimento de novas políticas que analisassem a questão ambiental sob um enfoque pleno e não mais centrado somente no sistema produtivo industrial. Os legisladores, ambientalistas e o próprio mercado procuraram dirigir suas ações no sentido de estabelecer padrões ambientais produto-orientados e não mais processo-orientados.

---

<sup>25</sup> Ian Boustead, reconhecido como um importante especialista em ACV, atua no desenvolvimento de bases de dados em informação de ciclo de vida e na melhoria de processos através do cálculo de inventário e de impactos do ciclo de vida. Dr. Boustead publicou mais de uma centena de artigos e relatórios técnicos sobre ACV e atualmente desempenha atividades na *Boustead Consulting Limited*, uma companhia dedicada ao uso e desenvolvimento da ACV, desde que se aposentou como Professor de Física da *Open University*, no Reino Unido (BOUSTEAD *et al.*, 2000).

Em 1985, uma diretiva específica para embalagens de alimentos (*Liquid Food Container Directive*), criada pela Comunidade Econômica Européia, obrigou as empresas a monitorar a geração de resíduos relacionada a seus produtos, além do consumo de matérias-primas e energia (CHEHEBE, 1997).

Ao mesmo tempo, os países da União Européia iniciaram um movimento voluntário visando estimular as indústrias a fornecerem mais informações sobre seus produtos para o mercado. De modo geral, a princípio, as empresas atuavam em um enfoque defensivo, protegendo seus produtos de declarações ambientais feitas por competidores e organizações não-governamentais. Logo, dois instrumentos voluntários foram elaborados na União Européia: um sobre rotulagem ambiental – Rótulo Ecológico da União Européia<sup>26</sup> de 1992 – e outro sobre auditoria ambiental – *Eco-Management and Audit Scheme* (EMAS<sup>27</sup>) de 1993.

Nesta mesma década, começaram os esforços de normalização ambiental, que deram origem às normas internacionais da série ISO 14000, sobre Sistemas de Gestão Ambiental, e também aos padrões internacionais para condução de ACV. Estas normas serviram, primeiramente, para estimular o desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e, no âmbito da ACV, para expandir a sua aplicação.

Por meio da definição de requisitos básicos, as normas internacionais colaboraram para atenuar o problema das divergências verificadas anteriormente entre estudos realizados segundo diferentes metodologias, o que comprometia a comparação de resultados e, por conseguinte, representava uma barreira à difusão da ACV.

Segundo HEISKANEN (2002), desde o final dos anos 1990, percebe-se a ampliação do uso de diferentes formas de ACV em diversos segmentos industriais além das tradicionais indústrias de embalagem e química, como fabricantes de produtos eletrônicos, máquinas, alimentos e têxtil, e algumas indústrias de serviços. Ainda mais recentemente, CALDEIRA-PIRES *et al.* (2002) assinalam a realização de estudos de

---

<sup>26</sup> O objetivo do Regulamento (CEE) nº 880/92 do Conselho, de 23 de março de 1992, era criar um sistema comunitário de atribuição de rótulo ecológico facultativo destinado a promover os produtos com um impacto ambiental reduzido durante o seu ciclo de vida completo e fornecer aos consumidores informações precisas, exatas e cientificamente estabelecidas relativas ao impacto ambiental dos produtos (CONSELHO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS, 1992). O Regulamento (CEE) nº 880/92 foi revisado e substituído pelo Regulamento CE nº 1980/2000 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 17 de julho de 2000 (PARLAMENTO EUROPEU E CONSELHO, 2000).

<sup>27</sup> O EMAS, instituído pelo Regulamento (CEE) nº 1836/93 do Conselho, de 29 de junho de 1993, permite a participação voluntária das empresas do setor industrial num sistema comunitário de ecogestão e auditoria, aplicável a todas as organizações que tenham como objetivos a avaliação e melhoria do seu comportamento ambiental e a prestação de informações relevantes ao público e a outras partes interessadas, não se limitando ao cumprimento da legislação ambiental nacional e comunitária existente (CONSELHO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS, 1993). O Regulamento (CEE) nº 1836/93 foi revisado e substituído pelo Regulamento (CE) nº 761/2001, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de março de 2001 (PARLAMENTO EUROPEU E CONSELHO, 2001).

ACV da produção agrícola, principalmente para sistemas produtivos de colheitas únicas ou processos de produção de alimentos à escala industrial.

Por todo o mundo, diversas iniciativas têm se levantado com o objetivo de difundir o enfoque de ciclo de vida. Em 2002, o Programa das Nações Unidas para Meio Ambiente (PNUMA) uniu forças com a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) para lançar uma parceria internacional concebida para colocar o enfoque de ciclo de vida em prática, denominada *Life Cycle Initiative*.

A primeira ação desse grupo foi delinear estudos para determinar estratégias sobre como desenvolver e disseminar ferramentas práticas para avaliação de oportunidades, riscos e *trade off* (trocas compensatórias)<sup>28</sup> associados a produtos e serviços em todo o seu ciclo de vida.

### 2.3 Normalização Ambiental

Estimulada pelo desafio do desenvolvimento sustentável<sup>29</sup> articulado na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio 92), realizada no Rio de Janeiro, em 1992, a *International Organization for Standardization* (ISO)<sup>30</sup> iniciou um intensivo processo de consulta para avaliar as necessidades de normalização ambiental.

A ISO é uma organização não-governamental composta por uma rede de institutos nacionais de padronização de 158 países, com sede em Genebra, na Suíça. A idéia de concepção desta instituição surgiu a partir de um encontro em 1946, em Londres, quando representantes de 25 países decidiram criar uma nova organização internacional<sup>31</sup>, com o objetivo de facilitar a coordenação e unificação internacional de padrões.

---

<sup>28</sup> “Existem três tipos de trocas compensatórias: trocas compensatórias entre diferentes aspectos ambientais, por exemplo, a otimização de um produto pela redução da massa pode afetar negativamente a sua reciclagem. [...] trocas compensatórias entre benefícios ambientais, econômicos e sociais. Estas podem ser tangíveis (por exemplo, baixo custo e redução dos resíduos), intangíveis (por exemplo, conveniência) e emocionais (por exemplo, imagem). [...] trocas compensatórias entre aspectos ambientais, técnicos e/ou de qualidade, por exemplo, decisões de projeto relativas ao uso de um material em particular podem impactar negativamente a confiabilidade e a durabilidade do produto, mesmo que ele produza benefícios ambientais” (ABNT, 2004b, pp. 13).

<sup>29</sup> “O desenvolvimento sustentável procura atender às necessidades e aspirações do presente sem comprometer a possibilidade de atendê-las no futuro” (CMMAD, 1991, pp. 44).

<sup>30</sup> Como o nome “*International Organization for Standardization*” teria distintas abreviações em diferentes idiomas (“IOS” em inglês, “OIN” em francês para “*Organisation Internationale de Normalisation*”), foi definido o uso da abreviação ISO, uma forma derivada do grego “*isos*”, que significa “igual”. Desta forma, em qualquer país ou idioma, a sigla se mantém (ISO, 2006).

<sup>31</sup> Na verdade, os esforços de padronização internacional começaram bem antes da fundação da ISO. Em 1906, foi formada a *International Electrotechnical Commission* (IEC), que estipulou padrões no campo da eletrotécnica. Além desta, destaca-se o trabalho pioneiro realizado pela *International Federation of the*

A nova organização iniciou oficialmente suas operações em 23 de fevereiro de 1947 e, desde então, já publicou mais de 16 mil padrões internacionais<sup>32</sup>, denominados *International Standards* (ISO, 2007; ISO, 2006). Os padrões ISO são desenvolvidos por comitês técnicos<sup>33</sup> formados por especialistas dos setores industrial, técnico e de negócios.

Os especialistas participam como delegações nacionais, escolhidos pelo instituto nacional membro da ISO. Estes especialistas podem se unir a outras partes com conhecimento relevante na temática tratada, como representantes de agências governamentais, laboratórios de ensaios, associações de consumidores, ambientalistas, círculos acadêmicos e outros.

De acordo com as regras da organização, os representantes do instituto membro devem considerar o ponto de vista não apenas da entidade que representam, mas das demais partes interessadas<sup>34</sup> na norma em desenvolvimento, para apresentar ao comitê técnico um posicionamento que expresse um consenso nacional.

Para avaliar as necessidades de normalização ambiental, foi realizado um estudo na estrutura do *Strategic Advisory Group on Environment (SAGE)*<sup>35</sup>, que recomendou a criação de um novo comitê para atuar no desenvolvimento de normas e guias sobre gestão ambiental. Por conseguinte, em março de 1993, foi instituído o Comitê Técnico de Gestão Ambiental, ISO/TC-207.

Atualmente, participam desse comitê delegações nacionais de especialistas ambientais de 66 países, incluindo 27 países em desenvolvimento. Desde o início de sua existência, ficou definido que o ISO/TC-207 deveria atuar em intensa cooperação com o Comitê de Gestão da Qualidade e Garantia da Qualidade, ISO/TC-176, responsável pela redação da série ISO 9000 de padrões de gestão da qualidade, especialmente nas áreas de sistemas de gestão, auditoria e terminologia relacionada, a fim de assegurar a

---

*National Standardizing Associations (ISA)*, constituída em 1926, com ênfase na engenharia mecânica, e que finalizou suas atividades em 1942 (ISO, 2006).

<sup>32</sup> Estima-se que oito reuniões técnicas aconteçam em média a cada dia útil do ano, em algum lugar do mundo (ISO, 2007).

<sup>33</sup> *Technical Committee (TC)*.

<sup>34</sup> Partes interessadas ou *stakeholders* são “os agentes que mantêm vínculos com a organização, isto é os partícipes: (1) na frente interna, temos os trabalhadores, gestores e proprietários; (2) na frente externa, temos os clientes, fornecedores, prestadores de serviços, autoridades governamentais, credores, concorrentes, mídia, comunidade local, entidades da sociedade civil – sindicatos, associações profissionais, movimentos sociais, clubes de serviços, igrejas” (SROUR, 2000, pp. 41).

<sup>35</sup> O SAGE foi formado em 1991 e reuniu representantes de diversos países e organizações internacionais, num total de mais de cem especialistas ambientais, que ajudaram a definir como os padrões internacionais poderiam oferecer melhor suporte à gestão ambiental (ISO, 2002).

compatibilidade entre os padrões de gestão ambiental e de gestão da qualidade (ISO, 2002).

O trabalho do ISO/TC-207 resultou na elaboração da família de normas ISO 14000 de Gestão Ambiental, sendo a primeira delas, a ISO 14001<sup>36</sup>, publicada em 1996. As normas da família ISO 14000 diferem da ampla maioria dos padrões ISO, altamente específicos para um produto, material ou processo, uma vez que podem ser aplicadas a qualquer organização, de pequeno ou grande porte, qualquer que seja o produto, inclusive se o “produto” é de fato um serviço, e em qualquer setor de atividade.

## 2.4 Normalização das Técnicas de ACV

A partir dos anos 1990, diversas entidades, especialmente a SETAC e, a partir de 1993, a ISO começaram a se preocupar com a padronização de termos e critérios para condução de ACV (JENSEN *et al.*, 1997). As normas internacionais sobre o assunto foram delineadas como uma tentativa de homogeneizar internacionalmente as práticas desenvolvidas. Neste período, os instrumentos voluntários cogitados pela União Européia e as normas nacionais existentes em alguns países, como Inglaterra e o Canadá, estavam gerando em outros países um certo desconforto com a possibilidade de que as certificações e os rótulos ambientais concedidos com base em normas nacionais viessem a representar barreiras técnicas ao livre comércio (CHEHEBE, 1997).

Além disso, as discrepâncias entre os resultados de estudos realizados com base em metodologias as mais diversas e os inconvenientes gerados a partir daí foram outros fatores que corroboraram a necessidade de normalização. Inicialmente, a normalização foi baseada nos seminários e publicações da SETAC, responsável pela construção de grande parte do referencial conceitual que deu suporte à elaboração das normas.

A primeira norma internacional sobre ACV, fruto do trabalho do Subcomitê de Avaliação de Ciclo de Vida (Subcomitê 5) do ISO/TC-207, foi publicada em 1997, dando origem à série de normas ISO 14040. A norma ISO 14040<sup>37</sup> define os requisitos, os princípios e a estrutura para realização da ACV, contemplando as fases de definição de objetivo e escopo, de Inventário de Ciclo de Vida (ICV)<sup>38</sup>, de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV)<sup>39</sup> e de interpretação; a elaboração do relatório; a etapa de revisão

---

<sup>36</sup> ISO 14001: *Environmental Management Systems – Specification with Guidance for Use*. Após a revisão de 2004, esta norma passa a ser denominada *Environmental Management Systems – Requirements with Guidance for Use*.

<sup>37</sup> ISO 14040: *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework*.

<sup>38</sup> *Life Cycle Inventory (LCI)*.

<sup>39</sup> *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)*.

crítica; as limitações da técnica; a relação entre as fases de ACV e os elementos opcionais (ISO, 2007b).

Em 1998, foi lançada a ISO 14041<sup>40</sup>, que detalha as etapas de definição de objetivo e escopo, e análise de Inventário de Ciclo de Vida. Em 2000, foram publicadas as normas ISO 14042<sup>41</sup> e ISO 14043<sup>42</sup>, que tratam respectivamente da etapa de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida e da etapa de interpretação.

Além das normas que detalham os passos para a realização da ACV, foram desenvolvidos mais três documentos. O relatório técnico<sup>43</sup> ISO/TR 14049<sup>44</sup>, publicado em 2000, fornece exemplos de aplicação da ISO 14041 para definição de objetivo e escopo, e análise de inventário. Já a especificação técnica<sup>45</sup> ISO/TS 14048<sup>46</sup>, lançada em 2002, apresenta os requisitos e a estrutura para o formato da documentação dos dados, que devem se utilizados na documentação e na troca de dados de ACV e ICV, auxiliando na estruturação da informação relevante. O último documento, ISO/TR 14047<sup>47</sup>, publicado em 2003, ilustra a prática usual de realização de Avaliações de Impacto de Ciclo de Vida, apresentando exemplos de aplicação da ISO 14042 (ISO, 2007b).

Em 2006, foram publicadas a revisão da ISO 14040 e uma nova norma, a ISO 14044<sup>48</sup>, o que significou o cancelamento das normas ISO 14041, ISO 14042 e ISO 14043, já que o conteúdo das normas anteriormente existentes foi redistribuído entre as duas novas normas. Contudo, conforme o escopo da revisão, a parte central do conteúdo técnico permanece inalterada, uma vez que o foco da revisão foi o aumento da facilidade de leitura e a remoção de erros e inconsistências (FINKBEINER *et al.*, 2006).

---

<sup>40</sup> ISO 14041: *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Goal and Scope Definition and Inventory Analysis.*

<sup>41</sup> ISO 14042: *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Life Cycle Impact Assessment.*

<sup>42</sup> ISO 14043: *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Life Cycle Interpretation.*

<sup>43</sup> *Technical Report (TR).* O relatório técnico consiste de um documento informativo que contém informações de natureza diferente daquelas normalmente publicadas em um documento normativo.

<sup>44</sup> ISO/TR 14049: *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Examples of Application of ISO 14041 to Goal and Scope Definition and Inventory Analysis.*

<sup>45</sup> *Technical Specification (TS).* A especificação técnica é um documento normativo que representa o consenso técnico de um comitê ISO. Muitas vezes, a especificação técnica surge quando um comitê, ao trabalhar no desenvolvimento de uma norma, percebe que não há suporte suficiente para a publicação de um padrão. Neste caso, o comitê pode decidir publicar o documento como uma especificação técnica.

<sup>46</sup> ISO/TS 14048: *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Data Documentation Format.*

<sup>47</sup> ISO/TR 14047: *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Examples of Application of ISO 14042.*

<sup>48</sup> ISO 14044: *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines.*

## 2.5 Normalização no Brasil

O Brasil é membro fundador da ISO, onde se faz representar pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com direito a voto no Fórum Internacional de Normalização. Cabe a ABNT a tarefa de traduzir e adaptar as normas ISO, tornando-as vigentes no país. As Normas Brasileiras (NBR), cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (CB), seus Subcomitês (SC) e dos Organismos de Normalização Setorial (NOS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE) compostas por representantes dos setores envolvidos, onde participam produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros). Os Projetos de Norma Brasileira circulam ainda para consulta pública dentre os associados da ABNT e demais interessados, antes de sua publicação.

Segundo SILVA (2003), ao contrário do que ocorreu com a Série ISO 9000, o Brasil participou ativamente da elaboração das normas ambientais, por intermédio de um grupo especial da ABNT, o Grupo de Apoio a Normalização Ambiental (GANA). Este grupo foi constituído em 1994 com o objetivo de assegurar a participação efetiva do país em todas as etapas do processo de elaboração das normas ISO 14000, sendo composto por empresas, instituições de pesquisa e ensino, órgãos públicos e técnicos (ROSSATO, 2002). O Grupo tinha como objetivo acompanhar e analisar os trabalhos desenvolvidos pelo ISO/TC-207 e avaliar o impacto das normas ambientais internacionais nas organizações brasileiras (GUÉRON, 2003).

Em abril de 1999, a ABNT criou o Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental (ABNT/CB-38), que substituiu o GANA na discussão e desenvolvimento das normas ISO 14000 no nível internacional. O ABNT/CB-38 opera com estrutura semelhante ao ISO/TC-207 e seus Subcomitês e sua função é organizar as sugestões das instituições brasileiras na formulação das normas da série ISO 14000, referente a sistemas de gestão ambiental, auditorias ambientais, rotulagem ambiental, avaliação do desempenho ambiental, avaliação do ciclo de vida e terminologia. No caso das normas sobre ACV (série 14040), o trabalho de tradução e publicação é realizado pelo Subcomitê de Avaliação do Ciclo de Vida (SC-05), parte integrante do ABNT/CB-38.

Os trâmites de elaboração de uma norma pela ABNT podem levar bastante tempo, acarretando numa defasagem das práticas adotadas no país em relação àquelas já vigentes internacionalmente. A NBR ISO 14040, por exemplo, foi publicada somente em 2001, quase quatro anos após a sua norma internacional equivalente, a ISO 14040:1997. As normas NBR ISO 14041 e 14042, equivalentes respectivamente a ISO 14041:1998 e 14042:2000, foram lançadas em 2004. Finalmente, a NBR ISO 14043,

versão brasileira da ISO 14043:2000, foi publicada somente em 2005. Para os demais documentos da série ISO 14040, ainda não foram elaboradas versões brasileiras.

Diante da revisão das normas ISO em 2006, a ABNT está se mobilizando para promover também a atualização das normas nacionais. A norma NBR ISO 14040 será revisada, enquanto as demais normas serão canceladas e substituídas. Será elaborada, ainda, a norma NBR ISO 14044.

### III CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Antes de aprofundar a discussão sobre a ACV, faz-se necessário discutir alguns de seus conceitos fundamentais. Embora não sejam de exclusividade do assunto, diversos termos ganham neste contexto definições específicas. O termo ciclo de vida, por exemplo, é amplamente empregado no *marketing*, onde é mostrado, segundo SLACK *et al.* (2002), “como a variação do volume de vendas ao longo dos quatro estágios – introdução, crescimento, maturidade e declínio”, mas apresenta no presente contexto uma acepção distinta.

#### 3.1 Ciclo de Vida

O ciclo de vida de um produto compreende os estágios sucessivos e encadeados de um sistema de produto<sup>49</sup>, desde a extração dos recursos naturais até a disposição final. A matéria proveniente do próprio planeta é a base de tudo. Os processos antrópicos retiram o material do solo, do ar ou da água, transportam-no e aplicam-no na elaboração do insumo desejado. Em seguida, ocorre a utilização pela população e, por fim, a disposição na natureza, onde os ciclos biogeoquímicos cuidam de tornar os resíduos novamente aproveitáveis. Os resíduos podem também ser reciclados em processos antrópicos que propõem o retorno dos materiais à natureza.

Um ciclo de vida típico contempla a extração de matéria-prima, o desenho, a produção, a embalagem, a distribuição (transporte), o uso, a manutenção, o reuso, a reciclagem e, finalmente, o descarte ou a incineração (destinação final). Estas etapas não representam um único sentido possível de movimentação dos materiais entre os processos, uma vez que as diversas opções disponíveis para aplicação dos materiais após certas etapas podem significar retornos ou acarretar alteração da seqüência, como ilustrado na Figura 1.

---

<sup>49</sup> “sistema de produto: Conjunto de unidades de processo, conectadas material e energeticamente, que realiza uma ou mais funções definidas” (ABNT, 2001, pp. 3).

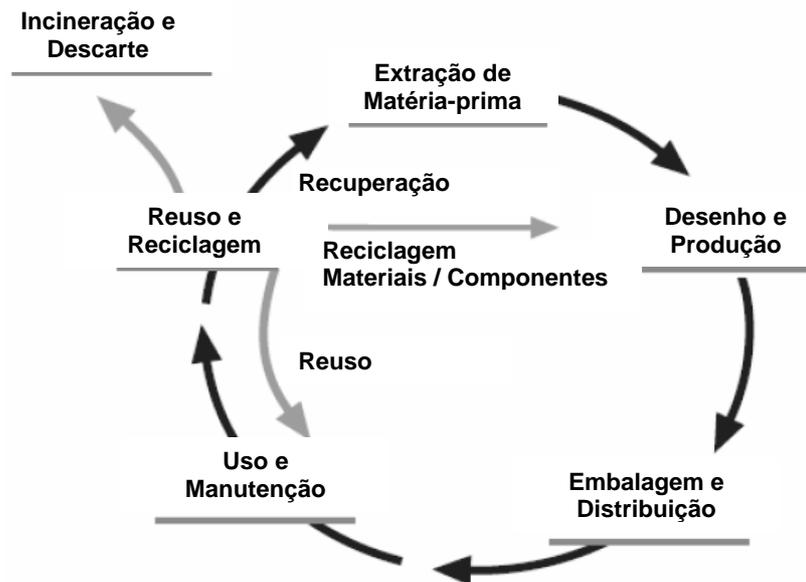


Figura 1: Ciclo de Vida  
 Fonte: UNEP (2006, pp. 10, tradução nossa)

O ciclo de vida de um produto começa com a primeira operação do homem sobre a natureza, retirando desta os recursos que necessita para produção, e termina quando o homem executa sua última intervenção, lançando no meio ambiente as sobras ou os resíduos que não serão mais processados. Este conjunto de ações justifica a expressão amplamente divulgada como definição do ciclo de vida de um produto, *cradle-to-grave*, que significa do berço ao túmulo (JENSEN *et al.*, 1997).

Contudo, para um sistema de produto ideal onde os resíduos não seriam descartados na natureza, mas totalmente reaproveitados, permanecendo no ciclo, a expressão ganharia a forma de *cradle-to-cradle* (berço ao berço), o que significa a máxima eficiência ambiental do sistema de produto .

Cada etapa no ciclo de vida de um produto é composta de diversos processos, onde materiais são transformados formando produtos e, quase sempre, resíduos.

### 3.2 Unidade de Processo

Para melhor entendimento dos estágios do ciclo de vida, os sistemas de produto são subdivididos em unidades de processo, que podem englobar tanto as atividades de uma operação simples como um grupo de operações. Cada unidade de processo precisa ser definida de tal maneira que seja possível determinar o seu início, a natureza das transformações e das operações que ocorrem como parte da unidade e o seu término.

Na condução de uma ACV, a unidade de processo é a menor porção de um sistema de produto para a qual os dados são coletados.

Uma unidade de processo interliga-se a outra unidade subsequente por meio de fluxos de materiais, que são genericamente denominados trocas (*exchanges*). Em cada unidade, as entradas (*inputs*) representam os materiais a serem processados, enquanto as saídas (*outputs*) constituem-se dos produtos obtidos e dos resíduos gerados. A identificação de entradas e saídas pode ser uma tarefa simples ou extremamente trabalhosa, o que dependerá do nível de divisão atribuído ao sistema de produto, além, é claro, das características intrínsecas do sistema.

Uma terminologia diferenciada é aplicada para as trocas que ocorrem entre as unidades de processo do ciclo de vida e para aquelas que têm interface apenas com o meio ambiente. O material ou energia que entra no sistema sob estudo, retirado do meio ambiente sem transformação humana prévia recebe a denominação de troca terminal ou fluxo elementar. Do mesmo modo, o material ou energia que deixa o sistema sob estudo, descartado no meio ambiente sem transformação humana subsequente, também representa uma troca terminal. Água, petróleo, radiação solar e argila são exemplos de fluxos elementares de entrada. Já os fluxos elementares de saída podem compreender emissões atmosféricas, efluentes, resíduos sólidos e radiação. Em contrapartida, o material que é saída de uma unidade de processo, mas entrada de outra unidade subsequente, é denominado troca não-terminal ou fluxo intermediário. A Figura 2 apresenta um modelo simplificado de sistema de produto, com seus fluxos de materiais devidamente posicionados.

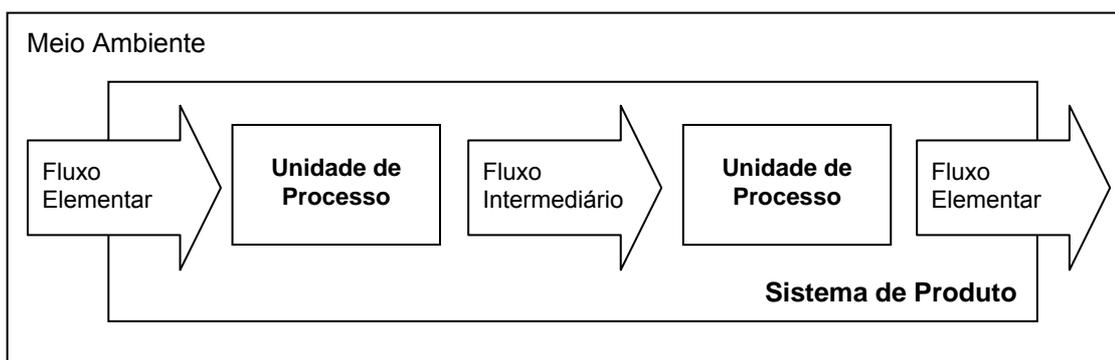


Figura 2: Modelo Simplificado de Sistema de Produto

Contudo, em um sistema de produto real, esse esquema se torna bem mais intrincado, pois uma unidade de processo pode ter como entrada, ao mesmo tempo, fluxos elementares e fluxos intermediários. Em muitos casos, há ainda outras entradas, que são utilizadas dentro de uma unidade de processo, mas não são incorporadas ao produto final (materiais auxiliares). Além disso, um sistema de produto pode receber entradas oriundas de outros sistemas de produto, comumente denominadas fluxos de produto.

Da mesma forma, as saídas de uma unidade de processo podem consistir de fluxos elementares e fluxos intermediários. Além disso, alguns processos podem gerar vários produtos, isto é, co-produtos, o que é bastante comum, por exemplo, na indústria química, pois os mecanismos das reações químicas freqüentemente levam à obtenção do produto principal acompanhado de diversas outras substâncias. Neste caso, logicamente, é denominado produto principal o co-produto que é objetivo da existência do processo, enquanto os demais co-produtos são chamados subprodutos. A Figura 3 apresenta os diversos fluxos de entrada e saída de uma unidade de processo.

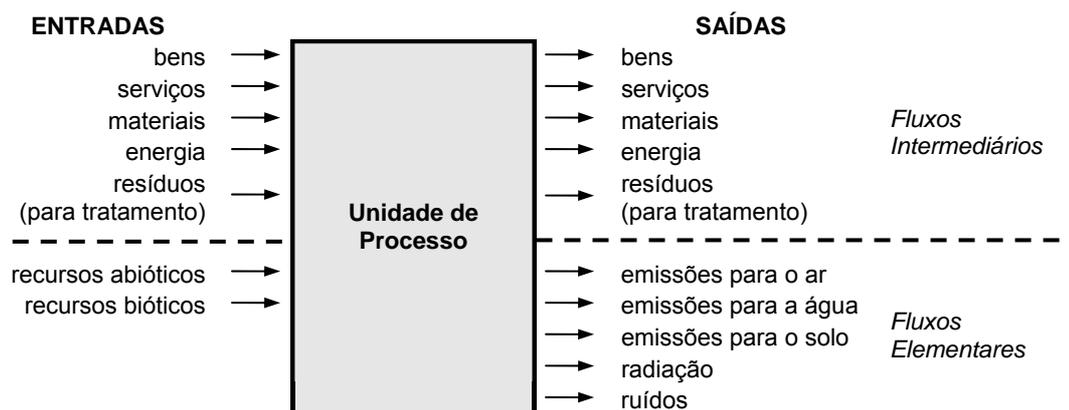


Figura 3: Fluxos de Entrada e Saída da Unidade de Processo  
 Fonte: adaptado de CALDEIRA-PIRES (2005. pp. 8)

Os subprodutos que podem vir a dispor de valor econômico são designados subprodutos úteis<sup>50</sup>. Já os subprodutos que não apresentam qualquer valor ou

<sup>50</sup> Muitas empresas já despertaram para as oportunidades de ganhos econômicos associados aos resíduos de suas operações. No Brasil, oito federações da indústria promovem a compra e troca das sobras, em uma iniciativa inaugurada na década de 1980 em São Paulo e Rio de Janeiro. Inclusive, já se cogita a criação de uma bolsa nacional.

Os números da atividade são promissores. Entre 2002 e 2004, a bolsa da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp) negociou 20 milhões de reais, tendo avaliado em 200 milhões de reais os materiais reaproveitáveis em diferentes segmentos. A bolsa da Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (Firjan) movimenta por ano cerca de 200 toneladas de resíduos líquidos e sólidos, com 230 empresas cadastradas e 7.500 consultas anuais ao seu site.

apresentam, até mesmo, valor econômico negativo, são denominados resíduos. Como essa divisão é meramente econômica, um produto pode ser considerado resíduo em um determinado contexto e subproduto em outro, sem que qualquer mudança técnica tenha ocorrido.

Em um sistema de produto, há também relações ambientais que não estão diretamente relacionadas com os *inputs* ou *outputs*, tais como: uso do solo; impactos físicos; aspectos relativos à saúde ocupacional; bem-estar de trabalhadores e bem-estar de animais (no caso de atividades agropecuárias). O termo intervenção ambiental é aplicado de modo genérico para designar essas relações e também *inputs* e *outputs*, ou seja, qualquer interação do sistema de produto com o meio ambiente.

Como todo sistema de produto consiste, antes de qualquer coisa, de um sistema físico, toda unidade de processo satisfaz às leis de conservação de massa<sup>51</sup> e energia<sup>52</sup>. Portanto, podem ser feitos balanços de massa<sup>53</sup> e energia<sup>54</sup> para verificar se as saídas quantificadas para uma determinada unidade de processo correspondem à medida das entradas.

No entanto, dependendo do tipo de transformação envolvida nas operações, entradas e saídas podem estar em estados físicos distintos ou serem mensuradas em diferentes unidades, o que requer maior sofisticação nos cálculos dos balanços. Além disso, é prevista uma limitação na precisão do balanço de massa devido a erros naturais na medição dos volumes, o que se torna maior quando o processo envolve grandes diferenças de temperatura, pois a variação de volume com a temperatura não é uniforme para todas as substâncias.

---

A Fiesp estima que o valor dos resíduos industriais gerados anualmente em todo o Brasil atinja a cifra de cinco bilhões de reais, sendo 34% deste total somente no estado de São Paulo. Contudo, a distância entre esse valor e o volume negociado indica que muitas oportunidades permanecem ainda inexploradas (CNI, 2006).

<sup>51</sup> Também conhecida como Lei de Lavoisier, enuncia que numa reação química que ocorre em um sistema fechado, a massa total antes da reação é igual à massa total após a reação, ou seja, a massa total dos reagentes é igual à massa total dos produtos.

<sup>52</sup> A lei de conservação de energia ou primeira lei da termodinâmica afirma que, num sistema isolado, a energia pode ser transformada de uma forma para outra, mas a energia total do sistema permanece constante.

<sup>53</sup> Balanço de massa ou balanço material. "Um balanço material de um processo contínuo é uma computação exata de todos os materiais que entram, saem, acumulam, ou são transformados no decorrer de um dado intervalo de tempo de operação" (BRASIL, 2004).

<sup>54</sup> "Balanço de energia nada mais é do que a aplicação da primeira lei da termodinâmica, que é essencialmente um estabelecimento matemático do princípio da conservação de energia aplicada aos sistemas macroscópicos" (BRASIL, 2004).

## **IV TÉCNICA DE ACV**

Com base nos conceitos apresentados no capítulo anterior, apresenta-se o detalhamento das etapas da ACV, onde são contemplados os requisitos e a finalidade de cada passo e discutidos os principais tópicos relacionados à condução de um estudo. Primeiramente, são estabelecidos alguns requisitos para, em seguida, discorrer sobre as fases do estudo, a saber: Definição de Objetivo e Escopo, Análise de Inventário, Avaliação de Impacto, Interpretação dos Resultados, Relatório e Análise Crítica.

### **4.1 Premissas da ACV**

De acordo com XAVIER e CALDEIRA-PIRES (2004), a ACV surge da consciência de que qualquer produto, processo ou atividade produz impactos no ambiente desde o instante em que as matérias-primas são extraídas até o momento em que, após a vida útil, o produto ou seus resíduos são devolvidos à natureza. Portanto, a ACV é útil na determinação, de maneira integrada, dos aspectos ambientais e respectivos impactos em um sistema de produto. Segundo a definição da NBR ISO 14040,

A ACV é uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto mediante: a compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto; a avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas; e a interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e de avaliação de impactos em relação aos objetivos dos estudos (ABNT, 2001, pp. 2).

Ao iniciar um estudo de ACV, é preciso defini-lo em termos de suas três dimensões: extensão – onde começar e parar o estudo; largura – quantos e quais subsistemas contemplar; e profundidade – nível de detalhe do estudo. No entanto, deve-se enfatizar que na ACV, assim como em várias técnicas de modelagem, à medida que se adicionam profundidade e largura aos modelos, aumentam-se a complexidade, os gastos e o tempo requerido na realização do estudo. Portanto, faz-se necessário definir adequadamente as dimensões do estudo, explicitando as hipóteses e simplificações adotadas, para proporcionar flexibilidade, praticidade e efetividade de custo, sem comprometer a credibilidade técnica.

Embora a estrutura metodológica preveja uma seqüência de passos, o processo de condução da ACV é iterativo, uma vez que, na medida em que os dados são coletados e mais sobre o sistema torna-se conhecido, podem ser identificados novos requisitos ou limitações que requeiram, por exemplo, uma mudança nos procedimentos de coleta de dados, de forma que os objetivos do estudo sejam ainda atingidos. A Figura 4 apresenta as quatro etapas que compõem uma ACV.

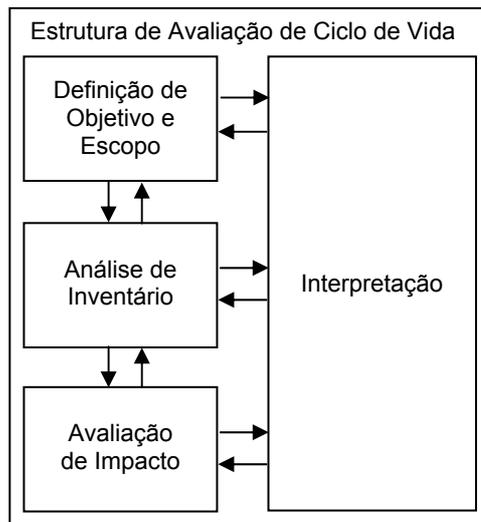


Figura 4: Estrutura da Avaliação de Ciclo de Vida  
 Fonte: ABNT (2001, pp. 5)

#### 4.2 Definição de Objetivo e Escopo

Na etapa de definição do objetivo, declaram-se, de modo inequívoco, as razões da condução do estudo e a aplicação pretendida, que podem ser a comparação de produtos, o estabelecimento de uma relação com um padrão, a promoção de melhoria ambiental em um determinado produto, o projeto de um produto completamente novo ou simplesmente a obtenção de mais informações sobre um produto existente.

O objetivo do estudo contempla a definição do público-alvo, isto é, para quem os resultados serão comunicados, ou seja, se o estudo está destinado somente à utilização dentro da empresa ou se os resultados serão disponibilizados para o governo, consumidores, organizações ou *marketing*. Esta informação é bastante importante, pois os estudos destinados ao público devem obedecer a requisitos específicos definidos nas normas, os quais conferem transparência ao processo.

O escopo e o nível de detalhamento de estudos de ACV podem variar bastante, pois dependem do assunto e do uso pretendido. Contudo, em qualquer caso, na definição de escopo, são abordados: as funções do sistema de produto; a unidade funcional; o sistema de produto a ser estudado; as fronteiras do sistema de produto; os procedimentos de alocação<sup>55</sup>; os tipos de impacto e metodologia de avaliação de impacto e interpretação; os requisitos dos dados; as suposições e as limitações admitidas; os

<sup>55</sup> "alocação: Repartição dos fluxos de entrada ou de saída de uma unidade de processo no sistema de produto sob estudo" (ABNT, 2001, pp. 3).

requisitos da qualidade dos dados iniciais; o tipo de análise crítica, se aplicável; e o tipo e o formato do relatório requerido para o estudo.

#### **4.2.1 Funções do Sistema de Produto**

Na ampla maioria dos casos, comparar produtos não é uma tarefa trivial. Do ponto de vista ambiental, um certo produto comercializado em uma embalagem de determinado volume não pode ser simplesmente comparado com um outro de mesma embalagem. Isto porque as quantidades necessárias de cada produto para que o consumidor obtenha um mesmo resultado podem diferir bastante, o que significa dizer que os produtos podem apresentar características de desempenho bastante diferenciadas. Dessa forma, para que os sistemas sejam comparáveis, faz-se necessário definir as características de desempenho dos produtos a serem modelados.

Os produtos existem para desempenhar funções específicas, que podem ser expressas de diferentes formas. A função diz respeito ao resultado esperado pelo consumidor na utilização do produto. Quando se aplica uma tinta, por exemplo, o resultado esperado (a função) pode ser a cobertura de uma superfície. Na condução de estudos de ACV, a função selecionada precisa ser mensurável, consistente e plenamente vinculada ao objetivo e ao escopo do estudo.

#### **4.2.2 Unidade Funcional**

Entretanto, definir apenas a função do sistema de produto não é o bastante para que os resultados do estudo sejam comparáveis. Para tanto, faz-se necessário quantificar a função, o que significa determinar a sua unidade funcional. Em outras palavras, a unidade funcional representa o desempenho quantificado de um sistema de produto. No exemplo anterior de sistema de pintura, a unidade funcional poderia ser definida como a área de superfície coberta pela tinta.

O principal objetivo da determinação de uma unidade funcional é fornecer uma referência para relacionar as entradas e saídas. Tal referência é necessária para garantir a comparabilidade de resultados de ACV, principalmente quando diferentes sistemas estão sendo avaliados, a fim de assegurar que as comparações apresentam uma base comum.

Contudo, há situações em que mesmo a definição de uma unidade funcional não é suficiente para garantir a comparabilidade de sistemas, como é o caso da análise de sistemas de produto em que as coletas de dados precisaram ser feitas em unidades muito distintas, por exemplo, um deles mensurado em massa (grama) e o outro em

energia (kilowatt-hora). Neste caso, já estabelecida a unidade funcional, a quantidade de produto requerida para o cumprimento da função precisa ser medida. O resultado dessa medição é chamado fluxo de referência, que serve para vincular a unidade funcional à unidade operacional utilizada para fazer o inventário.

A Figura 5 apresenta o fluxo de definição de função, unidade funcional e fluxo de referência, aplicado ao exemplo das tintas.

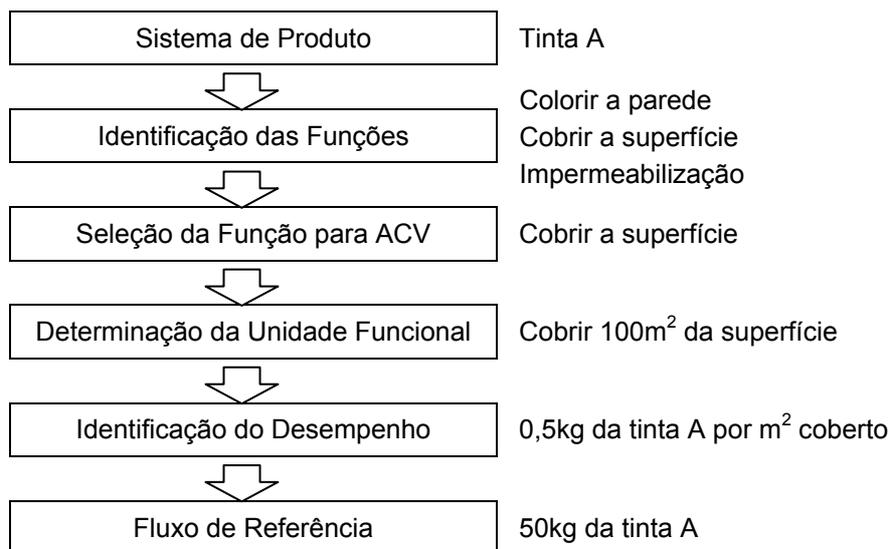


Figura 5: Definição de Função, Unidade Funcional e Fluxo de Referência  
 Fonte: adaptado de CHEHEBE (1997, pp. 40)

#### 4.2.3 Fronteiras do Sistema

Na condução de uma ACV, pode não ser viável ou prático abordar todos os relacionamentos entre todas as unidades de processo em um sistema de produto, ou todas as relações entre o sistema de produto e o ambiente do sistema. Por isso, é importante delimitar as fronteiras do sistema, ou seja, a interface entre um sistema de produto e o ambiente ou outros sistemas, determinando quais unidades de processo serão avaliadas.

A aplicação pretendida do estudo, as suposições feitas, os critérios de corte, as restrições de dados e custo, e o público-alvo são fatores cruciais para determinação das fronteiras do sistema.

#### **4.2.4 Requisitos da Qualidade dos Dados**

Para que os objetivos e o escopo do estudo sejam atingidos, os dados analisados precisam atender a requisitos de qualidade. Portanto, na realização de uma ACV, faz-se necessário especificar, em linhas gerais, as características dos dados demandados pelo estudo. Tais requisitos contemplam: o período de tempo e área geográfica cobertos; as tecnologias abordadas; a precisão, a completeza e a representatividade dos dados; a consistência e a reprodutibilidade dos métodos.

A cobertura de tempo diz respeito tanto à idade aceitável dos dados quanto ao período mínimo de tempo sobre o qual os dados devem ser coletados. A idade dos dados é uma informação importante, pois dados muito antigos talvez não reflitam a situação atual do processo. Da mesma forma, o período de tempo de coleta influi na exatidão dos dados, visto que uma medida pontual ou um grupo de medições referentes a um curto período podem não expressar uma amostragem representativa do sistema. Séries mais longas proporcionam uma melhor análise do comportamento do sistema e evitam a utilização de dados que representem uma sazonalidade ou uma condição momentânea.

A delimitação da área geográfica é outro requisito para a realização do estudo, uma vez que os efeitos das emissões para o meio ambiente estão fortemente amarrados às condições locais. A princípio, o estudo deve se basear na localização real de uma determinada empresa ou unidade do ciclo de vida de um produto. Contudo, levantamentos de empresas ou unidades específicas costumam demandar extenso trabalho de campo, o que aumenta o gasto de tempo e, conseqüentemente, de recursos financeiros.

Por este motivo, pode-se optar pelo emprego da média de uma determinada área geográfica para representar a situação real, opção esta que é capaz de fornecer estimativas aceitáveis para estudos genéricos; para estudos específicos em que o produtor dispõe de diversas alternativas de suprimento; e para os casos em que não seja possível identificar previamente fornecedores ou consumidores (como na geração de energia elétrica). No entanto, ao aplicar valores médios deve-se ficar atento a dois aspectos desfavoráveis dessa opção: a possibilidade de flutuação de tais valores ao longo do tempo e a dificuldade de obtenção de médias corretas.

A utilização da pior localização configura-se uma alternativa para delimitação da área geográfica, representando uma escolha plausível para estudos com o foco em opções de curto prazo. Em contrapartida, no caso de estudos onde o objetivo seja o desenvolvimento de produtos ou a sua melhoria em longo prazo, aplica-se a melhor localização geográfica ou a melhor possível. Entretanto, a identificação da pior ou melhor

localização geográfica usualmente requer uma avaliação criteriosa e até mesmo dependente da ponderação de especialistas.

Outro importante requisito da qualidade dos dados é a definição da cobertura tecnológica, ou seja, a especificação das tecnologias contempladas. Dependendo dos dados disponíveis e dos objetivos do estudo, pode-se optar pela utilização dos índices médios reais do processo em análise, da melhor tecnologia disponível ou da pior unidade em operação.

Os requisitos acima discutidos sobre cobertura temporal, geográfica e tecnológica devem obedecer a requisitos mais amplos. Um deles é a precisão, que diz respeito à medida da variabilidade dos dados para cada categoria. Outro é a integridade ou completude, que expressa a percentagem de dados primários relatados em relação aos dados potenciais para cada categoria de dados em uma unidade de processo. Há ainda a condição de representatividade, que trata da avaliação qualitativa do grau em que o conjunto de dados reflete a população real de interesse. Outros dois requisitos estão relacionados aos métodos empregados: a consistência, que se trata de uma avaliação qualitativa da uniformidade de aplicação da metodologia aos vários componentes da análise, e a reprodutibilidade, que diz respeito à avaliação também qualitativa da extensão em que é possível reproduzir os resultados relatados no estudo.

Estabelecida a espinha dorsal do estudo de ACV, seu objetivo e escopo, parte-se para a fase de Análise de Inventário, em que serão pesquisados e trabalhados os dados que fundamentarão a Avaliação de Impactos Ambientais do ciclo de vida do sistema de produto.

### **4.3 Análise de Inventário**

A Análise de Inventário é a etapa de coleta de dados qualitativos e quantitativos de cada unidade de processo incluída nas fronteiras do sistema. Nesta etapa são também realizados os procedimentos de cálculo de balanços de entradas e saídas relativas ao sistema de produto.

Antes da execução da coleta de dados propriamente dita, há alguns procedimentos extremamente importantes, que servem com preparação, pois estruturam o trabalho a ser realizado. O desenho de fluxogramas de processo específicos é necessário para criar uma visão global que dê suporte à identificação dos processos e das intervenções ambientais mais relevantes. Este fluxograma nada mais é que uma representação gráfica dos processos do sistema, cuja profundidade depende do objetivo do estudo.

A construção do fluxograma de processo deve ser acompanhada da elaboração de uma descrição detalhada de cada unidade de processo, onde estejam definidos o seu início (em termos de recebimento de matérias-primas ou de produtos intermediários), as transformações e as operações que ocorrem na unidade (atividades de uma operação simples ou um grupo de operações) e o seu término (em termos da destinação de produtos intermediários, finais ou resíduos).

Na fase de inventário, o cuidado com a organização dos dados é imprescindível para o sucesso do estudo, uma vez que se lida com uma enorme quantidade de dados, o que dá margem à ocorrência de erros e eventual necessidade de realizar novamente o trabalho.

Para facilitar a coleta e a organização das informações, os dados são levantados por categorias gerais, como energia, matérias-primas, materiais auxiliares, outras entradas físicas, produtos, emissões para o ar, emissões para a água, emissões para o solo e outras emissões. As categorias de dados de entradas e saídas para o inventário foram selecionadas durante a definição do escopo do estudo, mas nada impede que sejam posteriormente detalhadas, a fim de satisfazer às necessidades percebidas durante o levantamento.

Na condução do inventário, todas as entradas e saídas de cada unidade de processo são identificadas com o propósito de avaliar quais as mais significativas para a modelagem. Para selecionar tais variáveis, são utilizados critérios baseados na relevância em termos de balanço de massa, balanço energético e importância para o meio ambiente.

Dentre tais critérios, o mais empregado é o balanço de massa, que estabelece a inclusão de todas as variáveis que contribuam mais do que uma certa percentagem da massa total. Assim, busca-se concentrar as atenções apenas nos componentes mais significativos, em termos de massa, para o sistema em questão.

De maneira semelhante, o balanço energético seleciona as variáveis que cumulativamente contribuam mais do que uma percentagem definida da energia total, ou seja, desprezam-se aquelas que apresentem contribuições insignificantes em termos energéticos.

Outra regra de decisão vincula-se à importância da variável para o meio ambiente, que é determinada pela sua contribuição à quantidade estimada para uma categoria de dados. Por exemplo, se dióxido de carbono (um dos gases de efeito estufa) for escolhido como uma categoria de dados, qualquer componente que contribua com mais do que uma determinada percentagem às emissões totais de dióxido de carbono no sistema poderia ser incluído.

Contudo, é importante destacar que nenhum desses critérios é capaz de isoladamente conduzir a uma escolha indiscutível de entradas e saídas de um sistema de produto, porquanto há risco de se omitir involuntariamente uma variável que seria considerada relevante para o processo quando analisada por outro critério. Por isso, a norma ISO 14041 determina que, no caso de estudos que visem declarações comparativas divulgadas ao público, seja feita uma análise comparativa entre as entradas e saídas selecionadas segundo cada um dos critérios.

#### **4.3.1 Coleta de Dados**

A obtenção dos dados configura-se a maior dificuldade na condução de uma ACV. Cada inventário de ciclo de vida requer uma quantidade muito grande de dados que, em muitos casos, não estão disponíveis e, portanto, só podem ser obtidos por meio de medições locais. Contudo, a realização de tais medições para todas as unidades de processo de um sistema de produto pode inviabilizar o estudo visto que os trabalhos de campo tendem a acarretar um crescimento expressivo no consumo de tempo e de recursos financeiros.

Com relação aos dados disponíveis, boa parte encontrar-se-á em formatos incompatíveis com as necessidades do estudo, o que se explica pelo fato das informações procederem de diferentes fontes. Uma dessas incompatibilidades diz respeito ao nível de agregação dos dados, que tanto podem estar completamente desagregados (um conjunto de dados separados para cada etapa de processo) quanto altamente agregados (disponíveis apenas para etapas acumuladas). Ademais, alguns estudos fornecem relatos amplos e detalhados sobre a obtenção dos dados, enquanto outros se restringem a informações gerais. Além disso, pode haver divergências relacionadas a diferentes escopos, hipóteses metodológicas e idade dos dados.

Quando há indisponibilidade de alguns dados, pode ser possível estimá-los à luz dos dados existentes, a fim de preencher lacunas nas séries de dados ou de selecionar e ajustar dados provenientes de diferentes fontes. Segundo a ISO 14041, o tratamento do dado ausente deve ser documentado e resultar em um valor justificado para o dado; um valor igual a “zero”, se justificado; ou um valor calculado baseado no valor relatado de unidades de processo usando tecnologia similar. Não obstante, é importante destacar que tais cálculos teóricos e estimativas podem conduzir a erros grosseiros.

### **4.3.2 Bancos de Dados**

Com o objetivo de ampliar a aplicação de ACV através da atenuação da problemática da obtenção de dados, foram elaborados os bancos de dados de inventário de ciclo de vida. Os bancos de dados contêm informações organizadas e estruturadas sobre elementos comuns ao ciclo de vida de muitos produtos, como modalidades de transportes e fornecimento de energia. Alguns setores industriais também estão montando bancos de dados para materiais básicos específicos, como alumínio, aço e plásticos. Tais bancos de dados apresentam uma média geral da indústria ao invés de dados proprietários de firmas individuais ou de determinadas unidades.

### **4.3.3 Procedimentos de Cálculo**

Para efetuar o cálculo completo de todo sistema, as unidades de processo são interligadas, com base no fluxograma e na delimitação do sistema. Neste momento, balanços de massa e de energia são úteis para validar se as informações estão completas, sendo também capazes de fornecer uma boa indicação de como e onde os desvios acontecem.

As entradas e saídas do sistema podem ser agregadas, desde que não prejudiquem a satisfação dos objetivos do estudo. No resultado final dos cálculos, chega-se a um resultado de entradas e saídas referentes à unidade funcional, o que é obtido por meio da normalização dos fluxos das unidades de processo em relação à unidade funcional.

Um fator expressivo de aumento da dificuldade na execução dos cálculos de inventário de ciclo de vida é a existência de co-produtos nos processos. Neste caso, configura-se uma distorção associar todos os efeitos ambientais do processo e das etapas anteriores do ciclo de vida apenas ao produto principal. Assim sendo, faz-se necessário lançar mão de procedimentos para alocação do efeito ambiental acumulado entre o produto principal e o subproduto.

Certas saídas podem ser parcialmente co-produtos e parcialmente resíduos, o que demanda a identificação da proporção de um e de outro, visto que as cargas ambientais não são imputadas à parte correspondente ao resíduo.

#### **4.3.4 Alocação**

A repartição dos fluxos de entrada ou de saída entre co-produtos denomina-se alocação e há diversas maneiras de realizá-la. Primeiramente, há casos em que um determinado material é subproduto de um processo A, mas existe também um processo específico para sua produção (processo B), onde esse material é o produto principal. Nesse caso, quando um mesmo material é subproduto de um processo A e produto principal de um processo B, pode-se assumir que sua geração no processo A elimina a necessidade de que o processo B ocorra. Desta forma, admite-se que os impactos provenientes do processo B foram evitados. Por conseguinte, o efeito ambiental a ser alocado ao produto principal do processo A corresponde ao efeito acumulado nesse processo menos o efeito acumulado no processo B (efeito ambiental evitado). Portanto, se o processo evitado apresentar um efeito ambiental relativamente grande, o efeito ambiental alocado ao produto principal pode até mesmo se tornar negativo.

Entretanto, é fácil perceber a limitação desse método, que não pode ser utilizado quando o subproduto não substitui outro produto. Outra desvantagem do método está na adição de um novo segmento à árvore de processos para cada subproduto, o que aumenta a complexidade da análise.

Há também procedimentos de alocação baseados em propriedades físicas, tais como massa, conteúdo energético e equivalência química. Contudo, tais métodos devem ser aplicados com cautela, visto que a distribuição dos impactos baseada nas propriedades físicas pode levar a resultados incoerentes. No caso de um produto principal de massa percentual muito baixa, mas de valor econômico relativamente alto quando comparado a seu subproduto muito pesado, uma alocação baseada na massa dos co-produtos atribuiria uma diminuta fração dos efeitos ambientais ao produto principal.

Nesse caso, o resultado é falseado, pois o produto principal, a verdadeira razão para operação do processo, recebe uma carga ambiental muito inferior à realidade do processo. Desta forma, parece razoável afirmar que a alocação por propriedades físicas fornece resultados válidos somente quando existe uma forte correlação positiva entre o valor econômico dos co-produtos e as propriedades físicas consideradas.

Outro problema da alocação por propriedades físicas reside no fato de estabelecer um contra-senso ao refutar a noção amplamente difundida de que a redução dos desperdícios de um processo melhora o desempenho ambiental do sistema de produto. Ao se comparar um processo tradicional com uma melhoria no processo que ocasione um aumento na proporção do produto principal em relação ao subproduto, a

alocação por propriedades físicas imputa agora ao produto principal uma fração maior dos efeitos ambientais acumulados do que no processo menos eficiente. Isto porque a massa relativa do produto principal aumentou e, com isso, a carga ambiental a ele atribuída.

Quanto à alocação por equivalência química, sua aplicação é extremamente limitada, uma vez que não é viável quantificar elementos químicos de co-produtos complexos. Esse método pode ser vantajoso para processos na indústria química, mas não é apropriado, por exemplo, à agricultura.

Como os valores atribuídos aos produtos pela sociedade são a razão capital da existência e sustentação da produção e, conseqüentemente, a causa dos efeitos ambientais, é bastante plausível que se empregue fatores econômicos como base de alocação. Porém, tal alocação esbarra no problema da transitoriedade do mercado, em que mesmo a utilização de preços médios calculados em séries muito longas não é capaz de evitar flutuações de valores. Em contrapartida, a universalidade do método constitui-se a sua grande vantagem.

Para evitar ou diminuir a necessidade de alocação costuma-se dividir a unidade de processo em dois ou mais subprocessos, coletando suas entradas e saídas, de modo que cada co-produto fique associado a uma unidade de processo diferente. Outra estratégia aplicável é a expansão dos limites inicialmente definidos para o sistema, de modo que os co-produtos fiquem dentro dos novos limites.

O reuso e a reciclagem também têm implicações nos cálculos de alocação. Não obstante, os procedimentos de cálculo dependerão do tipo de ciclo de reciclagem admitido (fechado ou aberto). O ciclo fechado de reciclagem<sup>56</sup> refere-se tanto aos casos em que uma saída é reutilizada sem que tenha efetivamente deixado o sistema quanto àqueles em que um produto final é coletado, retornando ao mesmo sistema de produto. Por outro lado, o ciclo aberto de reciclagem<sup>57</sup> corresponde aos casos em que um resíduo de um sistema é utilizado por outro sistema de produto.

Nos casos de ciclo fechado, nenhuma alocação é necessária desde que todas as entradas e saídas sejam normalizadas em relação à mesma unidade funcional. Da mesma forma, a necessidade de alocação é evitada nos sistemas de ciclo aberto onde

---

<sup>56</sup> Na literatura, depara-se freqüentemente com as expressões *Closed Loop Supply Chain* e *Closed-loop System*, que se aplicam às cadeias de suprimento desenhadas para considerar os processos requeridos para os retornos do produto, em adição aos tradicionais processos “para frente” da cadeia de suprimentos. Em tais sistemas, o produto ou a embalagem retorna ao produtor original (PRAHINSKI; KOCBASOGLU, 2006).

<sup>57</sup> Nos sistemas de ciclo aberto, ou *open-loop systems*, os produtos não retornam ao produtor original, sendo recuperados por outras partes dispostas e aptas a reusar os materiais ou produtos (PRAHINSKI; KOCBASOGLU, 2006).

não ocorre mudança nas propriedades inerentes ao material reciclado e a sua utilização no processo secundário dispensa a utilização de material virgem. Em contrapartida, quando o material é reciclado em outros sistemas de produto e sofre alteração em suas propriedades inerentes, os processos comuns aos dois sistemas de produção são alocados entre o sistema de produto investigado e o segundo sistema, utilizando-se os métodos de alocação baseados em propriedades físicas ou em valores econômicos (valor da sucata em relação ao valor primário).

#### **4.4 Avaliação de Impacto**

Os dados coletados não são suficientes para que se chegue a conclusões sobre o sistema de produto, visto que o resultado do inventário nada mais é que uma tabela, uma longa lista de medições de intervenções ambientais que podem ser de difícil interpretação. Dessa forma, faz-se necessário que os dados levantados sejam trabalhados, isto é, estruturados, examinados, condensados e simplificados, de modo que as intervenções ambientais sejam relacionadas aos problemas ambientais, a fim de gerar informação compreensível para análises posteriores por parte dos tomadores de decisão.

Assim sendo, de posse dos dados coletados e calculados em relação à unidade funcional, parte-se para a avaliação de impacto ambiental do sistema de produto, na qual se avaliam a magnitude e a significância dos impactos ambientais potenciais. A razão para considerar apenas efeitos potenciais é a impossibilidade de estabelecer precisamente os efeitos reais, uma vez que a ACV considera um número muito grande de processos, que ocorrem em diferentes estágios ou locais.

Há diversas metodologias disponíveis para a avaliação de impactos ambientais, todas seguindo essencialmente os mesmos passos. Primeiramente, são identificadas as categorias de impacto (seleção). Então, os dados de inventário são associados às categorias (classificação). Em seguida, realiza-se a modelagem dos dados de inventário dentro das categorias de impacto (caracterização). Finalmente, os resultados são agregados (ponderação).

Contudo, nenhuma das metodologias configura-se uma alternativa indiscutível em termos de cientificidade, uma vez que algumas etapas passam invariavelmente por critérios subjetivos. Sendo assim, é imprescindível que as suposições sejam claramente descritas e relatadas, a fim de assegurar a máxima transparência no processo.

#### **4.4.1 Seleção de Categorias**

Os dados do inventário são classificados e agrupados em diversas categorias que refletem os principais focos de preocupação ambiental, como aquecimento global e acidificação. Para cada categoria escolhida deve ser possível estabelecer uma relação entre a quantidade do material e o efeito ambiental. Entretanto, muitas preocupações ambientais ainda não têm seus mecanismos plenamente conhecidos ou estão relacionadas a sistemas complexos que envolvem diversas inter-relações, sendo, portanto, impraticável determinar os fatores que vinculam a causa, intervenção ambiental, ao efeito. Por conseguinte, devem-se escolher categorias relacionadas a efeitos ambientais sobre os quais já haja conhecimento científico disponível e que não requeiram modelos muito sofisticados para a sua aplicação.

Contudo, na prática, não se consegue estabelecer categorias apenas com base no conhecimento científico, havendo, na verdade, uma combinação entre ciência e julgamento de valores. O próprio ato da seleção já representa um julgamento, pois a exclusão de uma categoria pode significar o mesmo que lhe atribuir valor igual a zero. Assim, devido a seu caráter subjetivo, a seleção de categorias precisa ser devidamente justificada, para que não sejam omitidas do estudo categorias que poderiam apontar elevadas cargas ambientais para o sistema de produto.

As razões da condução do estudo e a aplicação pretendida podem orientar a seleção de categorias. Um estudo direcionado para propósitos de *marketing* certamente contemplará questões que causam maior impacto sobre a opinião pública, como o aquecimento global. Já uma avaliação direcionada para o cumprimento da legislação, provavelmente estará atenta às categorias vinculadas ao atendimento de parâmetros legais.

Um outro ponto que precisa ser observado durante a seleção de categorias é a ocorrência de cadeias de impactos. Uma intervenção ambiental não se vincula necessariamente a um único impacto ambiental, porquanto, na verdade, costuma ocasionar uma seqüência de impactos. As saídas de um sistema de produto são responsáveis por um primeiro impacto ambiental, que acarreta um segundo efeito e assim sucessivamente, como pode ser observado na Figura 6, que apresenta uma cadeia de impactos ambientais ocasionada por uma intervenção ambiental, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

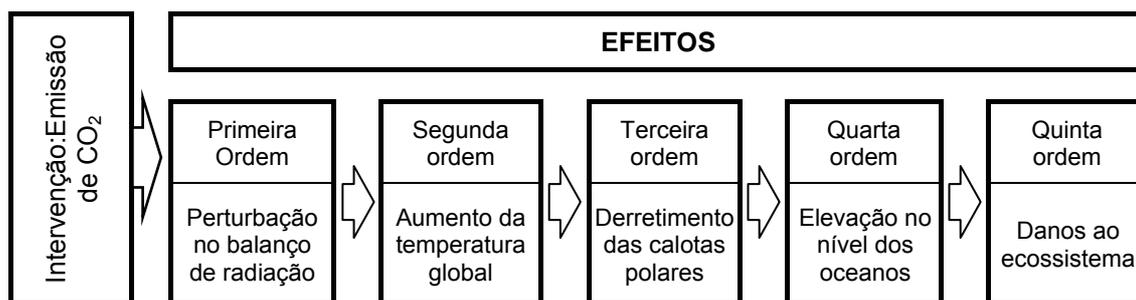


Figura 6: Cadeia de Impactos Ambientais do Dióxido de Carbono

Portanto, é preciso definir quais os níveis da cadeia a considerar na avaliação, levando-se em conta que, evidentemente, a modelagem e a previsão dos efeitos se tornam mais complexos quanto maior o nível.

Deve-se realçar também a importância da inclusão de categorias que reflitam os problemas ambientais da região onde o sistema de produto interage, independente da finalidade do estudo, para que os resultados da avaliação forneçam informações relevantes e contextualizadas de acordo com a região afetada pelas atividades.

Embora não exista um consenso internacional sobre categorias de impacto, a ISO desenvolveu uma lista preliminar baseada na opinião de especialistas em ACV ao redor do mundo. Esta relação contempla: recursos abióticos, recursos bióticos, uso da terra, aquecimento global, redução da camada de ozônio, formação de oxidantes fotoquímicos, acidificação, eutrofização, ecotoxicidade e toxicidade humana. Em adição à lista da ISO, a SETAC reconheceu o potencial de mais algumas categorias: odor, ruído, radiação e feridos (acidentes). Vários autores propõem ainda uma categoria relativa ao ambiente de trabalho (BOUSTEAD *et al.*, 2000).

As categorias supracitadas não representam uma mesma “esfera de influência”, pois os efeitos podem ser globais, regionais ou mesmo locais, como pode ser observado na Tabela 1, que apresenta a distribuição espacial das categorias segundo a SETAC.

Tabela 1: Distribuição Espacial das Categorias de Impacto – SETAC  
 Fonte: adaptado de BOUSTEAD *et al.* (2000, pp. 24-25)

	<b>Categoria de Impacto</b>	<b>Abrangência</b>
<i>Categorias relacionadas às entradas</i>	Recursos Abióticos	Global
	Recursos Bióticos	Global
	Uso da Terra	Local
<i>Categorias relacionadas às saídas</i>	Aquecimento Global	Global
	Redução da Camada de Ozônio	Global
	Formação de Oxidantes Fotoquímicos	Regional / local
	Acidificação	Regional / local
	Eutrofização	Regional / local
	Ecotoxicidade	Global / regional / local
	Toxicidade Humana	Global / regional / local
<i>Categorias relacionadas ao processo</i>	Odor	Local
	Ruído	Local
	Radiação	Regional / local
	Feridos	Local

Uma breve explicação sobre cada categoria de impacto é fornecida nos tópicos a seguir.

#### 4.4.1.1 Recursos Abióticos

A categoria de recursos abióticos contempla três subdivisões: depósitos (combustíveis fósseis e minerais); fundos (água subterrânea, lagos e solo) e recursos de fluxo natural (ar, água, radiação solar e correntes oceânicas) Os depósitos são considerados recursos limitados, pois não são renováveis dentro de um horizonte de tempo razoável (JENSEN *et al.*, 1997).

Os fundos e os recursos de fluxo natural podem ser classificados como recursos renováveis, pois são regenerados pelos ciclos naturais. Entretanto, em situações extremas, um recurso pode deixar de ser renovável, quando a sua taxa de utilização supera a máxima capacidade de suporte do sistema. Desta forma, uma informação importante sobre o sistema de produto é a intensidade com que contribui para a exaustão dos recursos.

#### 4.4.1.2 Recursos Bióticos

Os recursos bióticos são a flora e a fauna. O uso excessivo desses recursos ambientais pode influenciar ecossistemas e espécies, levando até mesmo a perdas irreversíveis de material genético. Portanto, é interessante avaliar a taxa de utilização desses recursos pelo sistema de produto.

#### 4.4.1.3 Uso da Terra

Segundo BOUSTEAD *et al.* (2000), diversos métodos foram sugeridos para considerar o uso da terra como categoria de impacto ambiental. No entanto, ainda se questiona a possibilidade da geração de informação útil para a avaliação de impacto. Uma das idéias apresentadas diz respeito ao uso da terra sob dois diferentes enfoques: em termos de produção de alimentos e materiais para a humanidade e em termos de implicações sobre a biodiversidade.

#### 4.4.1.4 Aquecimento Global

Algumas categorias são empregadas com freqüência em avaliações de impacto, refletindo preocupações ambientais em pauta na atualidade, como a questão do aquecimento global. Este fenômeno está associado ao aumento da concentração atmosférica de certas substâncias que intensificam o efeito estufa<sup>58</sup>.

Na verdade, este efeito é natural e responsável pela retenção de parte da radiação infravermelha na atmosfera, o que garante a manutenção da temperatura no planeta e, conseqüentemente, possibilita a existência de vida na Terra. Entretanto, o aumento da concentração dos gases responsáveis pela retenção da radiação, ocasionado pela poluição, está levando a um aumento considerável da temperatura e, por conseguinte, a sérias mudanças climáticas, já sentidas em diversas partes do globo<sup>59</sup>.

---

<sup>58</sup> *Greenhouse Effect.*

<sup>59</sup> Em Quioto, em 1997, foi elaborado o *Clean Development Mechanism (CDM)* ou Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) com o objetivo de reduzir a concentração de gases causadores do efeito estufa, principalmente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Segundo o MDL, os países em desenvolvimento, ao desenvolverem projetos que promovam o 'seqüestro' de carbono da atmosfera, como a promoção de reflorestamentos ou o plantio de áreas degradadas, podem emitir Certificados de Redução de Emissão de Carbono para negociação com os países industrializados. Estes países, por meio de compensação financeira aos países em vias de desenvolvimento, ganham créditos para ultrapassar suas cotas de emissão previamente estabelecidas (BRAGA, 2002).

Como as principais substâncias responsáveis por esse efeito já são conhecidas, bem como seu potencial de impacto relativo, isto é, quanto cada substância contribui, pode-se estimar a contribuição de um sistema de produto para o aquecimento global.

#### 4.4.1.5 Redução da Camada de Ozônio

Outro problema ambiental bastante citado, também ocasionado pela poluição atmosférica, é a redução da camada de ozônio<sup>60</sup>. As moléculas de ozônio acumuladas na estratosfera<sup>61</sup> atuam como uma proteção para o planeta, pois absorvem a radiação ultravioleta, reduzindo a quantidade que atinge a superfície terrestre. Contudo, algumas substâncias<sup>62</sup> são capazes de reagir com o ozônio, diminuindo a sua concentração na atmosfera e, por conseguinte, aumentando a passagem de radiação nociva.

Com isso, há um acréscimo na incidência de câncer de pele, além de interferências sobre os ecossistemas, uma vez que o aumento da radiação é capaz de inibir o crescimento de vegetais, contribuindo para redução das safras agrícolas<sup>63</sup>. Também neste caso, é possível calcular os potenciais impactos de um sistema de produto sobre o problema ambiental, pois os fatores de correlação entre a concentração e o potencial de destruição da camada de ozônio já foram determinados para diversas substâncias.

#### 4.4.1.6 Formação de Oxidantes Fotoquímicos

Os compostos orgânicos voláteis<sup>64</sup> provenientes principalmente da queima veicular de combustíveis e da evaporação de solventes na indústria sofrem várias reações na atmosfera por efeito da radiação solar, gerando outros poluentes que compõem o *smog*<sup>65</sup> fotoquímico.

---

<sup>60</sup> Efeito também conhecido como buraco na camada de ozônio (O<sub>3</sub>).

<sup>61</sup> A camada estratosférica de ozônio ocorre a uma altitude de 10 a 40 km, com máxima concentração entre 15 e 25 km. A máxima geração de ozônio ocorre no topo da estratosfera, na altitude de 40 km como resultado da reação entre oxigênio molecular (O<sub>2</sub>) e oxigênio atômico (EEA, 1997).

<sup>62</sup> EM 1974, Molina e Sherwood Rowland verificaram que uma família de gases muito utilizados na fabricação de aparelhos de ar-condicionado e de refrigeração, de propelentes (aerossóis), de equipamentos eletrônicos e plásticos, chamados clorofluorcarbonos (CFCs), são extremamente estáveis na atmosfera, onde reagem com o ozônio, destruindo-o (BRAGA, 2002).

<sup>63</sup> O Protocolo de Montreal, firmado em 1987, estabeleceu um cronograma para diminuição do uso de CFC em todo o mundo. Em 1992, os países desenvolvidos reunidos em Copenhague decidiram antecipar para 1996 o fim da produção dos CFC (BRAGA, 2002).

<sup>64</sup> *Volatile Organic Compound* (VOC).

<sup>65</sup> Termo proposto em 1911 pelo Dr. Harold Des Voeux para definir o ar poluído, composto por *smoke* (fumaça) e *fog* (neblina). Hoje, *smog* é um termo amplamente utilizado para designar a poluição do ar (BRAGA, 2002).

Uma das substâncias formadas por essa seqüência de reações é o ozônio, capaz de causar danos às plantas, além de efeitos prejudiciais à saúde humana. Como os mecanismos de reação fotoquímica<sup>66</sup> de alguns poluentes já são conhecidos, pode-se estimar a contribuição do sistema de produto para essa categoria.

#### 4.4.1.7 Acidificação

Um outro grave problema ambiental é a acidificação ocasionada pelos gases nitrogenados e sulfonados liberados nos processos de queima de carvão e outros combustíveis. Esses gases reagem com o vapor de água na atmosfera produzindo ácidos (nitríco e sulfúrico), que precipitam sobre os solos na forma de chuva ácida<sup>67</sup>. Com isso, ocorre a acidificação dos solos, acarretando perdas de produtividade na agricultura, a acidificação da água e a morte de organismos.

A chuva ácida já dizimou florestas na Europa e tem causado danos irreparáveis ao patrimônio histórico da humanidade, ao atingir monumentos de cidades como Atenas e Roma. Este problema ambiental pode ser relacionado às emissões de um sistema de produto, uma vez que é possível medir as quantidades dos gases poluentes e relacioná-los ao efeito.

#### 4.4.1.8 Eutrofização

A eutrofização ou nutrificação pode ser definida como um enriquecimento de ecossistemas aquáticos com nutrientes (excedentes de nitrogênio, fósforo e substâncias orgânicas degradáveis), levando a um aumento da concentração de algas e plantas aquáticas. Trata-se de um processo natural dentro da sucessão ecológica dos ecossistemas, quando o ecossistema lacustre tende a se transformar em um ecossistema terrestre.

Contudo, está havendo uma aceleração desse processo devido ao lançamento de fertilizantes agrícolas, esgotos domésticos e industriais. Como conseqüência, ocorre a deterioração da qualidade da água, o que prejudica os ecossistemas e a utilização dos recursos hídricos.

---

<sup>66</sup> A reação de formação fotoquímica de ozônio pode ser resumida em quatro etapas: (1) reação entre VOC e radicais hidroxila (OH) formando radicais peróxidos orgânicos; (2) os radicais formados reagem com monóxido de nitrogênio (NO) gerando dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>); (3) NO<sub>2</sub> reage na presença de luz solar formando NO e átomos de oxigênio; (4) oxigênio atômico reage com o oxigênio molecular para formar ozônio (EEA, 1997).

<sup>67</sup> Considera-se ácida a chuva que apresenta pH inferior a 5,6. Em regiões industriais da Europa e dos Estados Unidos, as chuvas chegam a apresentar pH da ordem de 3 (BRAGA, 2002).

#### 4.4.1.9 Ecotoxicidade e Toxicidade Humana

O excesso de substâncias geradas pelas atividades antrópicas é capaz de causar desequilíbrio de mecanismos naturais e também de afetar diretamente a biota<sup>68</sup> e a saúde humana, o que pode ser explicado em termos de ecotoxicidade e toxicidade humana<sup>69</sup>. A toxicidade, em geral, é uma propriedade inerente ao átomo do elemento ou à molécula da substância e representa o risco tóxico do componente ao organismo. O efeito da substância dependerá da quantidade emitida, mas também do destino da substância no meio ambiente, o que está associado à taxa de degradação, à bioacumulação, à evaporação e à deposição<sup>70</sup>.

Para muitas substâncias, já foram determinados os fatores que relacionam a quantidade do composto ao efeito deletério sobre os organismos. Portanto, pode-se chegar a conclusões sobre as conseqüências de um processo sobre o meio ambiente e sobre a saúde humana.

#### 4.4.1.10 Ambiente de Trabalho

Esta categoria contempla os mesmos efeitos abordados na toxicologia humana, mas também inclui efeitos “não-químicos”, que podem ser causados por calor, ruídos ou trabalho repetitivo, como deterioração da capacidade auditiva, danos psicológicos, dores musculares e nas articulações. Os efeitos toxicológicos humanos no ambiente de trabalho se diferem daqueles causados pelas emissões para o ambiente externo, pois resultam em um efeito expressivo sobre um pequeno grupo, enquanto os efeitos no ambiente externo são, em geral, caracterizados por pequenos efeitos em muitas pessoas. Todavia, não há um consenso internacional sobre métodos específicos para avaliação do ambiente de trabalho (JENSEN *et al.*, 1997).

Finalmente, após a avaliação dos problemas ambientais relevantes e a subsequente seleção de categorias, parte-se para a classificação dos dados do inventário, que são associados às categorias de impacto correspondentes.

---

<sup>68</sup> Biota é o conjunto de seres vivos.

<sup>69</sup> Os efeitos toxicológicos humanos podem ser: efeitos toxicológicos agudos, irritação, reações alérgicas, genotoxicidade, carcinogenicidade, neurotoxicidade e teratogenicidade (EEA, 1997).

<sup>70</sup> A taxa de degradação afeta tanto a possibilidade da substância reagir com o organismo alvo quanto o tipo de efeito tóxico. As substâncias que não são facilmente degradáveis podem sofrer bioacumulação no meio ambiente e apresentar efeitos tóxicos crônicos. As taxas de evaporação e deposição, por sua vez, afetam a transferência de substâncias entre os diferentes meios (ar, água, solo e cadeias alimentares).

#### 4.4.2 Classificação

Uma determinada intervenção pode contribuir para diversos tipos de problemas ambientais. As emissões de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), por exemplo, ocasionam acidificação e também eutrofização. Portanto, faz-se necessária uma análise bastante criteriosa e fundamentada em conhecimento científico para correlacionar adequadamente as medições realizadas na etapa de inventário às categorias de impacto selecionadas. A Figura 7 exemplifica a associação entre as intervenções e as categorias na etapa de classificação.

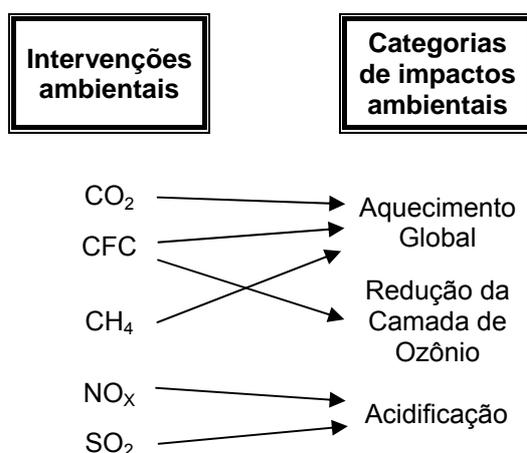


Figura 7: Representação Esquemática da Etapa de Classificação  
Fonte: adaptado de CALDEIRA-PIRES *et al.* (2002, pp. 169)

A correlação de uma mesma intervenção a diversos tipos de problemas ambientais costuma levar a distorções nos resultados. Quando uma substância é relacionada à categoria de impacto, assume-se que toda a quantidade da substância emitida contribui para o efeito particular, o que é interessante porquanto indica o efeito máximo possível. Entretanto, se a substância é capaz de causar diversos impactos, é razoável concluir que a quantidade emitida, na realidade, se distribui entre todos os efeitos possíveis, o que não é previsto na maioria dos modelos de avaliação de impacto. Nos modelos, admite-se para cada categoria o efeito máximo da emissão, embora uma substância não possa ter o máximo efeito em todas as categorias simultaneamente.

#### 4.4.3 Caracterização

Cada intervenção ambiental pode contribuir com diferentes intensidades para um determinado efeito ambiental. Por isso, para se obter a contribuição do sistema de produto para uma dada categoria, não se pode simplesmente somar as quantidades

mensuradas no inventário para cada substância ou material que contribui para aquele efeito.

Antes, os dados do inventário precisam ser convertidos para uma base comum, para que se tornem comparáveis e possam ser agregados, gerando um indicador numérico para a categoria. O indicador da categoria tem como finalidade representar a carga total ambiental que o sistema de produto acarreta para aquele problema ambiental específico.

Os fatores de equivalência, também chamados fatores de caracterização, indicam quanto uma determinada substância contribui para um certo problema ambiental em relação a uma substância de referência. No caso do aquecimento global, por exemplo, a conversão de todos os gases que causam esse efeito é realizada tomando-se o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) como substância de referência. Desse modo, a contribuição de qualquer substância, como o metano ( $\text{CH}_4$ ), para o aquecimento global é expressa em termos da quantidade equivalente de dióxido de carbono que causaria o mesmo impacto.

Entretanto, aponta-se uma limitação dos fatores de caracterização que diz respeito à sua aplicação restrita à previsão de efeitos diretos do composto original emitido. A maioria dos modelos de determinação dos fatores não contempla os efeitos indiretos, tanto positivos quanto negativos, que resultam de reações químicas dos compostos individuais na atmosfera (CHEHEBE, 1997). A Tabela 2 apresenta os itens de referência para algumas categorias de impacto ambiental.

Tabela 2: Referências de Categorias de Impacto Ambiental  
Fonte: baseado em CHEHEBE (1997, pp. 76)

<b>Impacto Ambiental</b>	<b>Referência</b>
Potencial de Aquecimento Global	Efeito de 1kg de $\text{CO}_2$
Potencial de Redução de Camada de Ozônio	Efeito de 1kg de CFC-11
Potencial de Formação Fotoquímica de Ozônio	Efeito de 1kg de $\text{C}_2\text{H}_4$
Potencial de Acidificação	Efeito de 1kg de $\text{SO}_2$
Potencial de Eutrofização	Efeito de 1kg de $\text{PO}_4^{3-}$
Ecotoxicidade Aquática	Volume de água que estaria poluída a um nível crítico por 1kg de substância
Ecotoxicidade Terrestre	Massa de solo que estaria poluída a um nível crítico por 1kg de substância
Toxicidade Humana	Massa do corpo humano que estaria exposta ao limite toxicologicamente aceitável por 1kg de substância

Os valores de potencial de aquecimento global ou *global warming potential* (usualmente citado na literatura como GWP) de diversos compostos foram determinados pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC)<sup>71</sup>, sendo expressos para horizontes de tempo de 20, 100 e 500 anos. O ANEXO A apresenta a lista de GWP publicada pelo IPCC.

Uma lista similar foi elaborada pela *World Meteorological Organization* (WMO)<sup>72</sup> para os valores de potencial de redução de camada de ozônio ou *ozone depletion potential* (ODP). O efeito dos compostos halogenados<sup>73</sup> é expresso em relação ao efeito causado pelo CFC-11 (CFC13). Assim como em GWP, ODP constitui séries de horizontes de tempo, como pode se verificado no ANEXO B.

O potencial de formação fotoquímica de ozônio ou *photochemical ozone creation potential* (POCP), por sua vez, é traduzido em equivalentes de eteno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>). Entretanto, a determinação de POCP é mais complexa que as categorias anteriores, pois envolve diversos componentes e, portanto, numerosos cálculos separados. BOUSTEAD *et al.* (2000) apontam diferentes enfoques desenvolvidos para determinação dos fatores de equivalência, que podem ser verificados no ANEXO C.

O potencial de acidificação ou *acidification potential* (AP) é expresso em termos de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) ou, alternativamente, em moles de próton (H<sup>+</sup>). O cálculo se baseia na estequiometria da reação química<sup>74</sup> que gera o H<sup>+</sup>. No ANEXO D são apresentados os valores de AP em equivalentes de SO<sub>2</sub> e as relativas reações químicas.

O potencial de eutrofização ou *eutrophication potential* (EP) pode ser expresso em equivalentes de fosfato (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) ou de O<sub>2</sub>, como apresentado no ANEXO E – Tabela E1. Alternativamente EP também pode ser calculado em equivalentes de nitrogênio total (total-N), de fósforo total (total-P) e de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), conforme o ANEXO E – Tabela E2.

---

<sup>71</sup> Em 1988, UNEP e *World Meteorological Organization* (WMO) criaram o *Intergovernmental Panel on Climate Change* com o objetivo de prover recomendações científicas independentes sobre mudanças climáticas. O papel do IPCC está em avaliar as informações científicas, técnicas e socioeconômicas relevantes para compreensão dos riscos das mudanças climáticas induzidas pelo homem, seus impactos potenciais e as opções de adaptação ou mitigação (IPCC, 2004).

<sup>72</sup> *World Meteorological Organization* é uma agência especializada das Nações Unidas para meteorologia (tempo e clima), hidrologia e ciências geofísicas. Foi criada em 1950, originada da *International Meteorological Organization* (IMO), fundada em 1873, e hoje representa 188 estados e territórios membros (WMO, 2007).

<sup>73</sup> Compostos halogenados são substâncias que contém elementos do grupo dos halogênios: flúor (F), cloro (Cl), bromo (Br), iodo (I), astato (At).

<sup>74</sup> Por exemplo, para determinar o AP do monóxido de nitrogênio (NO), verifica-se quantos moles de prótons são gerados pela reação de 1 mol de NO: 1 mol de H<sup>+</sup>. Compara-se com a quantidade de moles de prótons gerados na reação de 1 mol da substância de referência, SO<sub>2</sub>: 2 moles de H<sup>+</sup>. Portanto, 1 mol de NO acarreta efeito equivalente a meio mol de SO<sub>2</sub>. Convertendo esses dados em massa, chega-se ao AP do NO: 1,07kg de SO<sub>2</sub>, ou seja, o efeito de 1kg de NO equivale ao efeito de 1,07kg de SO<sub>2</sub>.

No que diz respeito à ecotoxicidade, diferentes métodos têm sido desenvolvidos. Entretanto, não há um consenso internacional de um método para avaliação de impactos ecotoxicológicos. Desse modo, pode-se optar pelo emprego do método que seja mais adequado ao conjunto de dados em questão. O mesmo acontece para a categoria de toxicidade humana.

#### **4.4.4 Normalização**

Ao final da etapa de caracterização chega-se ao perfil ambiental do sistema de produto: uma listagem da quantidade total (expressa em termos da substância de referência) para cada categoria de impacto. Entretanto, em certos casos, pode ser necessário normalizar os dados ambientais em relação a uma referência, para facilitar a compreensão dos resultados. Isoladamente, dados quantitativos de uma substância podem não ter significado, a menos que sejam comparados com uma referência.

A normalização configura-se, portanto, uma etapa opcional da ACV, onde os valores de cada categoria são divididos pela referência escolhida. Como exemplo, a emissão de uma determinada substância pode ser relacionada à poluição global anual, isto é, se um processo gera um quilograma de um determinado poluente e a emissão global de todas as fontes é uma tonelada por ano (1000kg), o impacto ambiental do processo equivale a um milésimo ou 0,1% do impacto total. Dessa forma, o dado quantitativo é transformado em uma informação que pode ser apropriadamente analisada.

#### **4.4.5 Ponderação**

Finalmente, os resultados da caracterização e da normalização são ponderados com o objetivo de priorizar os impactos considerados mais relevantes e reduzir os índices das categorias a poucos indicadores. Esta etapa envolve necessariamente avaliações qualitativas e quantitativas, que não são baseadas unicamente nas ciências naturais. A própria NBR ISO 14040 afirma que

Não existe base científica para reduzir resultados da ACV a um único número ou pontuação globais, uma vez que existem *trade offs* e complexidades para os sistemas analisados em diferentes estágios do seu ciclo de vida (ABNT, 2001, pp. 4).

Portanto, no momento da ponderação, valores éticos e políticos entram em cena, adicionando ao processo um componente de subjetividade. Além disso, o peso atribuído a cada problema ambiental pode divergir entre países, em virtude das condições locais.

Por esses motivos, a redução dos resultados da avaliação de impacto ambiental a um único indicador é questionável, porquanto diferentes considerações e escolhas de valor pode ser assumidas em cada estudo. Dessa forma, não é possível chegar facilmente a conclusões do tipo: “um determinado produto que obteve indicador  $n$  na ACV é ambientalmente preferível em relação a outro que obteve indicador  $n+1$ ”, visto que as premissas admitidas na ponderação podem ter sido muito diferentes.

Vários métodos estão disponíveis para a valoração, mas ainda não há um consenso. Sendo assim, pode-se estabelecer um conjunto próprio de fatores de ponderação empregando, por exemplo, a análise multi-critério. Neste caso, realiza-se a análise das preferências de um grupo de referência, que pode ser constituído por especialistas ou por outras partes interessadas. Aos participantes, é solicitada a priorização dos problemas ambientais por ordem de importância, fornecendo alguns pares para as escolhas, como aquecimento global *versus* acidificação. Outrossim, é possível desenvolver uma abordagem mais quantitativa, utilizando, para tanto, uma escala de pontuações.

#### **4.5 Interpretação dos Resultados**

Concluída a avaliação de impactos ambientais, realiza-se a interpretação dos resultados, em que as constatações do estudo são confrontadas com o objetivo e o escopo previamente definidos. O propósito é analisar a qualidade da informação obtida e explicar as limitações do estudo realizado.

As constatações da interpretação podem tomar a forma de conclusões e recomendações para os tomadores de decisão, como sugestões de melhorias ou de substituição de determinado produto. Nesse momento, outras questões podem ser adicionadas à informação ambiental, como argumentos técnicos ou econômicos para a seleção entre alternativas de melhoria de determinado processo.

#### **4.6 Relatório**

Considerando as restrições do estudo e as suposições admitidas ao longo da avaliação, é imprescindível que os resultados da ACV sejam relatados ao público-alvo de forma completa e fidedigna. Assim sendo, os dados e métodos devem ser apresentados com detalhe suficiente que permita a compreensão das complexidades e *trade offs* inerentes ao estudo.

Quando os resultados da ACV destinam-se à comunicação a qualquer terceira parte<sup>75</sup>, a NBR ISO 14040 preconiza a elaboração de um relatório de terceira parte<sup>76</sup>, que constitui um documento de referência disponível para todos aqueles a quem for comunicado o resultado. No caso de afirmação comparativa<sup>77</sup>, é necessário que esse relatório contemple a análise do fluxo de material e energia, a fim de justificar a inclusão ou exclusão de etapas e componentes; a avaliação da precisão, completeza e representatividade dos dados empregados; a exposição da equivalência dos sistemas e a descrição do processo de análise crítica. A exposição da equivalência é extremamente importante porque a comparação de sistemas só faz sentido quando realizada para a mesma unidade funcional e segundo considerações metodológicas equivalentes, como desempenho, fronteiras, qualidade dos dados, procedimentos de alocação e avaliação de impacto.

#### 4.7 Análise Crítica

A finalidade da análise crítica é verificar o atendimento aos requisitos normativos quanto à metodologia, aos dados e ao relatório. Na maioria dos casos, trata-se de uma atividade opcional após a realização de um estudo de ACV, mas que pode trazer ganhos ao processo uma vez que é capaz de facilitar a compreensão das partes envolvidas, aumentando também a credibilidade do estudo. Quando os resultados da ACV serão utilizados para apoiar afirmações comparativas, uma análise crítica é necessária por causa do impacto sobre outras partes interessadas, em geral, clientes e consumidores.

No início do estudo, ainda na fase de definição de objetivo e escopo, convém que o escopo da análise crítica seja definido, identificando as razões da realização da análise crítica, sua cobertura, seu detalhamento e as partes envolvidas. O processo de análise crítica pode ser conduzido por um especialista interno, desde que este não tenha participado do estudo da ACV, ou por um especialista externo. O resultado da análise crítica é uma declaração a ser incorporada no relatório da ACV.

---

<sup>75</sup> “terceira parte, isto é, parte interessada que não seja o solicitante ou o executante do estudo” (ABNT, 2001, pp. 8).

<sup>76</sup> Segundo a NBR ISO 14040, o relatório de terceira parte deve contemplar: (a) aspectos gerais (solicitante da ACV, executante interno ou externo, data do relatório e declaração de que o estudo foi conduzido de acordo com os requisitos da norma); (b) definição de objetivo e escopo; (c) análise de inventário (procedimentos de coleta de dados e de cálculo); (d) avaliação de impacto (metodologia e resultados da avaliação realizada); (e) interpretação (resultados, suposições e limitações associadas à interpretação dos resultados, relacionadas tanto à metodologia quanto aos dados, e avaliação da qualidade dos dados); (f) análise crítica (nome e vínculo ou representação dos analistas, relatórios de análise crítica e respostas às recomendações) (ABNT, 2001).

<sup>77</sup> “afirmação comparativa: Declaração ambiental relativa à superioridade ou equivalência de um produto em relação a um produto concorrente que realiza a mesma função” (ABNT, 2001, pp. 3).

## **V PERSPECTIVAS**

No capítulo anterior, a ACV foi detalhadamente apresentada. Com isso, acredita-se ter sido possível evidenciar o embasamento técnico-científico e a complexidade dessa técnica. Contudo, apesar de suas numerosas aplicações, a ACV ainda apresenta limitações que a afastam do cotidiano das organizações. Portanto, faz-se necessário desenvolver procedimentos mais simplificados, mas que não comprometam a confiabilidade e validade dos estudos. Outra tendência é a evolução das técnicas para incorporação de critérios econômicos e sociais, em uma concepção de avaliação da sustentabilidade dos produtos. Esses assuntos são abordados no presente capítulo.

### **5.1 Aplicações**

Considerando o rigor e a extensão de análise, é possível inferir a potencialidade da ACV para fundamentar a tomada de decisões na indústria, no governo, em organizações governamentais ou não-governamentais e na sociedade em geral, demonstrando utilidade também para definição de políticas públicas voltadas para produção e consumo sustentáveis. Dessa forma, o conhecimento do ciclo de vida dos produtos passa a representar um diferencial competitivo, haja vista sua capacidade de influenciar os rumos da estratégia das organizações. A seguir, apresentam-se algumas aplicações da ACV, em um levantamento certamente não exaustivo.

#### **5.1.1 Melhorias de Produtos e Processos**

Primeiramente, a ACV amplia o conhecimento sobre o sistema de produto, uma vez que promove a identificação das unidades de processo, bem como dos fluxos de materiais e energia. Portanto, trata-se de um mapeamento de processos que engloba, além das operações, a determinação dos quantitativos de energia, materiais, produtos, resíduos e emissões. Esta quantificação evidencia os pontos onde ocorrem perdas no processo, o que pode fundamentar um trabalho de diminuição de desperdícios e, por conseguinte, de redução dos gastos com matérias-primas, consumo de água ou energia.

Além disso, com a realização de um estudo desse tipo, a informação sobre o produto passa a estar disponível e organizada, pois se obtém um banco de dados sobre o ciclo de vida. Tais informações podem ser periodicamente atualizadas, fornecendo subsídios para a avaliação do desempenho do produto ao longo do tempo.

De posse do banco de dados e utilizando um software apropriado, é possível realizar simulações, modificando processos e substituindo matérias-primas, com o objetivo de analisar em que medida a alteração de operações, equipamentos, materiais ou componentes pode afetar o ciclo de vida do produto. Desse modo, tem-se uma eficiente ferramenta de suporte ao desenvolvimento de produtos, capaz de diagnosticar, ou pelo menos estimar, os impactos ambientais potenciais de um novo produto, antes mesmo de sua entrada na linha de produção.

### **5.1.2 Relações com Clientes**

Contudo, a empresa não é a única parte a expandir seu conhecimento sobre o produto com a execução de uma ACV. Também os clientes e os consumidores podem ser beneficiados com o acesso a esse tipo de informação, de modo que podem considerar tais resultados nas suas escolhas, optando por produtos que ofereçam menos riscos ao meio ambiente. Por isso, como anteriormente discutido, os resultados precisam ser divulgados de forma clara e idônea. Desta forma, as conclusões de uma ACV podem fundamentar estratégias de *marketing*, uma vez que tem o poder de influenciar os atores envolvidos com um produto.

Os programas de rotulagem e declaração ambiental podem também se basear em informações sobre o ciclo de vida ou até mesmo requerer a condução de uma completa ACV. Recentemente, foi publicada a ISO 14025 que estabelece os princípios e especifica os procedimentos para o desenvolvimento de declarações ambientais do Tipo III, baseadas na série de normas ISO 14040.

### **5.1.3 Seleção de Fornecedores**

Outra aplicação da ACV está relacionada à seleção de fornecedores, uma função extremamente importante na gestão de suprimentos. Uma empresa pode requerer de seus potenciais fornecedores a realização de uma ACV ou, então, que disponibilizem dados sobre o ciclo de vida de seus produtos, utilizando tais informações nos critérios de seleção. Evidentemente, nem todas as empresas estão em posição de eliminar fornecedores por motivos ambientais, mas a simples investigação das condições ambientais dos parceiros já pode colaborar para ampliação da consciência ambiental ao longo da cadeia produtiva, incentivando o processo de melhoria.

Este mecanismo tem aplicação também nas compras públicas, através da introdução de critérios ambientais na seleção das empresas que pretendem comercializar

com o governo. Segundo a Recomendação do Conselho da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE)<sup>78</sup> de 23 de janeiro de 2002:

Os países membros devem levar mais em conta as considerações ambientais na licitação pública de produtos e serviços (incluindo, mas não se limitando a, materiais de consumo, bens de capital, infraestrutura, construção e trabalhos públicos), a fim de melhorar o desempenho ambiental das compras públicas e, por meio disso, promover a melhoria contínua do desempenho ambiental de produtos e serviços (OCDE, 2002, tradução nossa).

Esta estratégia ficou conhecida como *Green Public Procurement*<sup>79</sup> (GPP) ou, em uma tradução livre, compras públicas verdes. Dessa forma, os requisitos verdes passam a fazer parte das especificações de tecnologias de produção e de seleção de materiais, onde são inseridos também os padrões de desempenho e de qualidade, que constituem a descrição do produto para a elaboração das propostas de concorrência pública.

#### **5.1.4 Comércio Internacional**

Com a intenção de protegerem seus mercados, os países fazem uso de mecanismos – barreiras comerciais – que restringem o acesso de mercadorias importadas. Inicialmente, tarifas eram utilizadas, mas as negociações internacionais sobre comércio têm resultado em reduções nessas tarifas. Com isso, novos artifícios foram elaborados para dificultar as importações, constituindo barreiras não-tarifárias, em especial as barreiras técnicas.

Segundo CALDEIRA-PIRES (2005), algumas nações já manifestaram a intenção de restringir suas importações a produtos avaliados conforme a ISO 14025, o que pode funcionar como uma barreira técnica às exportações dos países que não estiverem preparados para atender a essa norma.

Quando do estabelecimento da Organização Mundial do Comércio (OMC)<sup>80</sup>, um acordo sobre barreiras técnicas foi negociado, o *Agreement on Technical Barriers to*

---

<sup>78</sup> A Conselho da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) ou *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD) foi fundada após a II Guerra Mundial para auxiliar na reconstrução européia. Atualmente é formada pelos 30 países mais industrializados e serve de apoio para a tomada de decisões, principalmente na área econômica, fornecendo análises detalhadas sobre aspectos de governabilidade econômica e de desenvolvimento (OCDE, 2007).

<sup>79</sup> *Green Public Procurement* significa que as autoridades contratantes ao adquirir bens, serviços ou trabalhos levam em conta aspectos ambientais em todos estágios do projeto e no completo ciclo de vida dos bens adquiridos (EUROPEAN COMMISSION, 2007).

<sup>80</sup> A Organização Mundial do Comércio (OMC) ou *World Trade Organization* (WTO) é a única organização internacional global que estabelece regras para o comércio entre países. Seu objetivo é auxiliar os produtores de bens e serviços, exportadores e importadores a conduzirem seus negócios (WTO, 2007).

A OMC iniciou suas atividades em 1995, concretizando uma intenção antiga das nações recém-saídas da II Guerra Mundial de fundar uma organização internacional que regulasse o comércio. Esta organização

*Trade* (TBT)<sup>81</sup>, de cumprimento obrigatório por todos os países-membro da organização. Este acordo determina que os países não devem produzir exigências técnicas, como normas, regulamentos técnicos e procedimentos de avaliação da conformidade, que criem obstáculos ou barreiras técnicas ao comércio internacional.

Contudo, conforme afirma o Manual de Barreiras Técnicas às Exportações publicado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), os países em desenvolvimento ainda têm dificuldade de se adaptarem e atenderem às normas definidas, em função de se encontrarem em estágio tecnológico defasado em relação aos países desenvolvidos. Dessa forma, mesmo as normas e regulamentos técnicos que obedecem aos propósitos e definições da OMC acabam, na prática, representando barreiras técnicas. Por isso, faz-se necessário que os países em desenvolvimento desenvolvam competências para cumprir com tais exigências, tornando-se aptos para competir com igualdade no mercado internacional (INMETRO, 2007).

## 5.2 Limitações

Entretanto, a despeito de suas numerosas aplicações, a ACV apresenta limitações que a afastam do cotidiano das organizações. Segundo HEISKANEN (2002), as atividades de ACV nas organizações ainda representam eventos isolados, sem continuidade, limitados a um determinado número de produtos e freqüentemente conduzidos por um profissional externo.

Embora existam normas disponíveis e o desenvolvimento de softwares específicos tenha facilitado a execução desses estudos, a condução de uma ACV ainda é altamente dependente de especialistas em virtude da complexidade do método. Além disso, a demanda de tempo e de recursos para estudos desse tipo inviabiliza a sua realização para todo e qualquer produto disponível no mercado. Como afirma HEISKANEN (2002, pp. 427, tradução nossa):

---

refinou o mecanismo de resolução de disputas comerciais, de monitoramento das respectivas políticas e incentivou a assistência técnica aos países menos desenvolvidos (INMETRO, 2007).

<sup>81</sup> “De acordo com a cláusula do Tratamento Nacional, não é permitido aos Estados exigir que produtos importados cumpram regulamentos técnicos mais restritivos do que aqueles exigidos aos produtos domésticos. Do mesmo modo, seguindo a cláusula da NMF [Nação Mais Favorecida], a concessão a produtos de um determinado país, cujo regulamento ou norma técnica seja menos restritivo, deverá ser estendida a todas as partes contratantes do Acordo. Um dos objetivos presentes no TBT é a harmonização das exigências técnicas entre os países-membros. [...] Outro princípio a ser destacado é o da equivalência, em que os países são estimulados a aceitar como equivalentes os regulamentos e os procedimentos de avaliação da conformidade de outros países, quando estes proporcionem resultados satisfatórios aos objetivos de seus próprios regulamentos” (INMETRO, 2007 pp. 8).

É inconcebível, por exemplo, que ACV completas pudessem ser conduzidas para os dois milhões de produtos nos mercados do mundo, para não falar das dezenas ou centenas de novos produtos surgindo para venda todo dia. Além disso, não parece plausível que a informação complexa assim produzida pudesse ser usada pelos bilhões de tomadores de decisão do mundo.

Além disso, algumas etapas da ACV são ainda questionáveis devido à natureza das escolhas e suposições feitas, que envolvem um certo grau de subjetividade, como por exemplo, o estabelecimento das fronteiras do sistema, a seleção das fontes de dados, a definição de categorias de impacto e a ponderação.

Alguns tipos de impacto ambiental não têm seus mecanismos plenamente esclarecidos e, portanto, sua avaliação é limitada. Há ainda uma dificuldade de correlacionar os resultados de estudos enfocando questões globais ou regionais a aplicações locais, pois as condições locais podem não ser adequadamente representadas pelas condições globais ou regionais (ABNT, 2001).

A exatidão dos estudos também pode ser limitada pela acessibilidade ou disponibilidade de dados coerentes ou pela qualidade dos dados relacionada ao período de tempo e à área geográfica cobertos, às tecnologias abordadas, à precisão, à completude e à representatividade dos dados.

### **5.3 Tendências**

No intuito de aproximar a ACV do cotidiano decisório das empresas, faz-se necessário elaborar procedimentos mais simplificados, mas que não sacrifiquem a credibilidade e validade científica da técnica. Em 2006, a ISO deu um passo no sentido dessa simplificação ao distribuir o conteúdo das quatro normas anteriormente existentes (ISO 14040, 14041, 14042 e 14043) entre duas normas. A primeira, mais genérica, corresponde à revisão da ISO 14040. A outra, mais técnica, trata-se de uma nova norma, denominada ISO 14044.

Segundo HEISKANEN (2002), há outras práticas, que estão se difundindo em torno de um conceito mais amplo, denominado *Life Cycle Thinking*, baseado nas idéias da ACV, porém de mais fácil assimilação. Desse modo, a ACV, que partiu de um instrumento específico local para uma técnica padronizada universalista, agora se expande para uma variedade de práticas e programas que compõem o modo de pensar ou enfoque de ciclo de vida.

Como o desenvolvimento sustentável se baseia no tripé: meio ambiente, economia e sociedade, uma forte tendência está relacionada à elaboração de ferramentas que incorporem as dimensões econômica e social às técnicas de ACV. A

inclusão de critérios econômicos é referenciada como *Life Cycle Costing* e a inserção de critérios sociais como *Social Life Cycle Assessment*.

Como exemplo dessa tendência, pode-se citar a metodologia de Análise de Ecoeficiência (AEE), desenvolvida pela BASF AG juntamente com a consultoria Roland Berger, também alemã, em 1996. A AEE avalia as dimensões ambiental e econômica, às quais atribui o mesmo grau de importância, e se aplica à comparação de produtos similares e processos que executem uma mesma função (VIANNA *et al.*, 2007).

Na AEE, o desempenho ambiental é determinado por meio de uma ACV complementada por uma análise simplificada de riscos de acidentes e uma avaliação de toxicidade. Os resultados são expressos em seis categorias: consumo de matérias-primas; consumo de energia; uso da terra; emissões para ar e água e métodos de disposição; potencial de toxicidade; e potencial de risco.

A avaliação econômica da AEE, por sua vez, contempla o levantamento dos custos relacionados a todo o ciclo de vida do produto, o que pode ser calculado segundo diversos métodos, tais como valor presente líquido e depreciação, selecionados de acordo com o objetivo da análise (VIANNA *et al.*, 2007).

Os resultados das análises são plotados em um gráfico onde os custos são lançados no eixo horizontal e os impactos ambientais ocupam o eixo vertical. De acordo com a posição das esferas, que representam as alternativas confrontadas, pode-se verificar a eco-eficiência de um produto ou processo em relação ao outro. A alternativa mais ecoeficiente, isto é, o produto ou processo com baixo custo e baixo impacto ambiental posiciona-se no quadrante superior direito do gráfico, como pode ser observado na Figura 8.

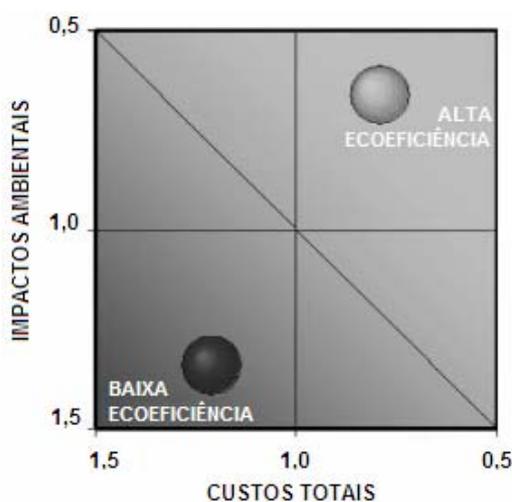


Figura 8: Gráfico de Análise de Ecoeficiência  
Fonte: OLIVEIRA *et al.* (2007).

Recentemente, a BASF desenvolveu uma metodologia que se pretende mais completa que a AEE, visto que contempla também os aspectos sociais. Trata-se da SEEBalance® ou Análise de Socioeficiência<sup>82</sup>, que objetiva quantificar o desempenho dos três pilares da sustentabilidade através de uma única ferramenta integrada. Devido à inclusão de mais uma dimensão, o gráfico de AEE se transforma em um cubo, o SEECube® (BASF, 2007).

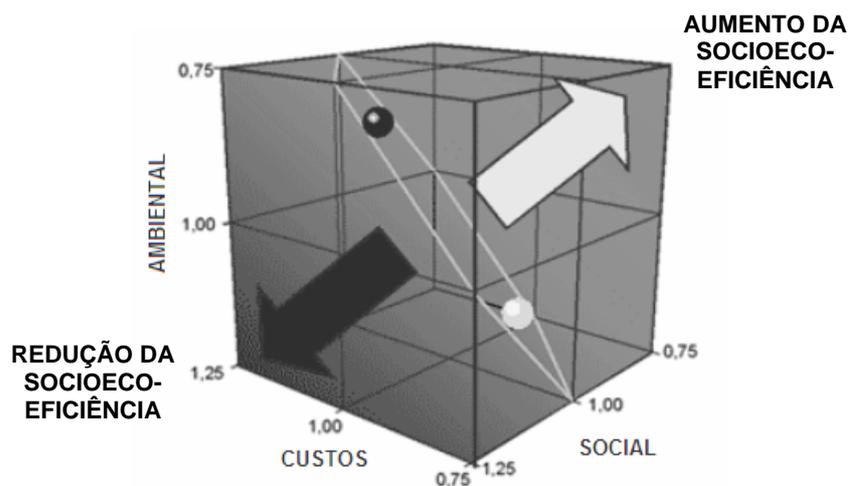


Figura 9: SEECube®  
 Fonte: adaptado de BASF (2007).

Além do progresso nas metodologias, o conceito de ciclo de vida começa a ganhar espaço no interior das organizações e nas relações entre elas sob a forma de *Life Cycle Management* (LCM) ou Gestão de Ciclo de Vida (GCV) que representa uma estrutura flexível de programas, conceitos, técnicas e procedimentos que incorporam aspectos ambientais, econômicos e sociais, perpassando todas as funções e departamentos da empresa.

<sup>82</sup> A metodologia é resultado de uma cooperação entre a BASF e várias instituições de pesquisa, como *Institute for Geography and Geoecology of Karlsruhe University*, *Ökoinstitut e.V.* e *Jena University*, vigente de 2002 a 2005. A cooperação foi parte do projeto de pesquisa *Sustainable Aromatics Chemistry*, financiado pelo Ministério de Educação e Pesquisa da Alemanha.

## SEGUNDA PARTE: O SETOR DE PNEUS

Enquanto na Primeira Parte do trabalho procurou-se elucidar os fundamentos teóricos da ACV, na Segunda Parte o foco está centrado no setor de pneus. Primeiramente, no Capítulo VI – O Mercado de Pneus, os aspectos econômicos são discutidos. Os dados mercadológicos são apresentados, contemplando-se os mercados global e nacional, e ampliando a discussão a respeito do mercado de reposição, onde novos competidores vêm tomando espaço das multinacionais. Também são mencionados os investimentos no setor previstos no país. Além disso, um breve histórico das principais indústrias de pneus no Brasil é traçado, abordando, ainda, a indústria de remoldagem.

Em seguida, no Capítulo VII – Produção do Pneu, são considerados os aspectos técnicos, partindo da invenção do pneu e contemplando o processo produtivo, que coloca no mercado pneus em um elevado padrão de qualidade e desempenho. Nesse capítulo, são também apresentadas as principais matérias-primas e as partes que compõem a estrutura do pneu.

No Capítulo VIII – Panorama do Pneu Usado, os aspectos ambientais ocupam o centro da análise, porquanto se discutem os problemas relacionados ao meio ambiente e à saúde pública, decorrentes da disposição inadequada de pneus usados. O capítulo compreende também as alternativas para destinação, destacando as discussões relativas à utilização dos pneus importados como matéria-prima para o processo de remoldagem. Em seguida, são apresentadas as iniciativas para recolhimento dos pneus usados e as estatísticas de coleta e destinação. Além disso, são abordados os aspectos legais e normativos, que verdadeiramente impulsionaram o desenvolvimento de tais iniciativas.

Finalmente, no Capítulo IX – Estudo de ACV sobre Pneus, examina-se um estudo conduzido por uma indústria de pneus. Com isso, pretende-se evidenciar a complexidade da realização de uma ACV completa. Discutem-se os resultados obtidos e sua relevância para a ampliação do conhecimento sobre o ciclo de vida do pneu. A importância e a utilidade de tal estudo para a tomada de decisão é também avaliada.

## VI O MERCADO DE PNEUS

Nas últimas duas décadas, o mercado mundial de pneus alcançou um expressivo crescimento. A indústria brasileira também tem ampliado sua produção, embora os fabricantes instalados no país estejam enfrentando o fortalecimento de alguns concorrentes, especialmente os pneus importados da China e os remoldados<sup>83</sup>, que praticam preços extremamente agressivos. Este capítulo aborda o mercado mundial de pneus, apresenta a indústria nacional, o mercado brasileiro e os investimentos previstos no país. Ao final, contempla o mercado de reposição, onde a expansão da concorrência com os importados e remoldados é mais pronunciada, e apresenta a indústria brasileira de remoldagem.

### 6.1 Mercado Mundial

Ao longo das três últimas décadas, diversas fusões e aquisições ocorreram entre as indústrias de pneus, o que acarretou na concentração das dez maiores empresas existentes em 1981 em cinco grupos, como apresentado na Tabela 3 (GOLDENSTEIN *et al.*, 2007).

Tabela 3: Fusões e Aquisições no Setor  
Fonte: GOLDENSTEIN *et al.* (2007, pp. 110)

1981			2005
Goodyear	Dunlop		Goodyear
Firestone	Bridgestone		Bridgestone
Michelin	BF Goodrich	Uniroyal	Michelin
Pirelli	Armstrong		Pirelli
Continental	General		Continental

Esses cinco grupos detêm cerca de 64% do mercado mundial, cuja liderança tem se alternado entre Bridgestone e Michelin (GOLDENSTEIN *et al.*, 2007). A Tabela 4 apresenta a participação no mercado mundial (*market share*) das maiores empresas do setor.

<sup>83</sup> A remoldagem é um dos tipos de reforma de pneu, feita pela substituição da banda de rodagem, dos ombros e de toda a superfície dos flancos, por camadas novas de borracha (GOLDENSTEIN *et al.* 2007). A estrutura do pneu e os tipos de reforma são detalhados nos Capítulos VII e VIII, respectivamente.

Tabela 4: Participação no Mercado Mundial  
 Fonte: GOLDENSTEIN *et al.* (2007, pp. 111)

<b>Empresa</b>	<b>%</b>	<b>Empresa</b>	<b>%</b>
<b>1</b> Bridgestone	18,2	<b>7</b> Yokohama	2,9
<b>2</b> Michelin	17,7	<b>8</b> Hankook	2,5
<b>3</b> Goodyear	17,3	<b>9</b> Cooper	2,1
<b>4</b> Continental	6,3	<b>10</b> Kumho	1,9
<b>5</b> Pirelli	4,5	<b>11</b> Toyo	1,8
<b>6</b> Sumitomo	3,6	Outras	21,2

Os produtos mais comercializados são os pneus destinados a veículos de passeio, comerciais leves e caminhões, que representam aproximadamente 90% do mercado. O restante se divide entre pneus para equipamentos de construção, veículos duas rodas, máquinas agrícolas e aeronaves.

A indústria de pneus comercializa seus produtos para dois tipos de clientes: as montadoras (indústria automobilística) – segmento de equipamento original – e os revendedores – segmento de reposição. Os revendedores, por sua vez, realizam tanto vendas no varejo, destinadas ao consumidor final, quanto no atacado, dirigidas às sub-revendedoras e às empresas com frota própria, como empresas de ônibus, transportadoras e construtoras (GOLDENSTEIN *et al.*, 2007).

Ambas clientelas são extremamente importantes para os fabricantes de pneus, embora por diferentes motivos. Se, por um lado, o segmento de reposição absorve a maior parte da produção mundial e garante as maiores margens sobre o preço; por outro, a venda às montadoras favorece a fidelização do cliente, que geralmente prefere manter a marca do pneu original do veículo, e estimula o desenvolvimento de novos modelos de pneus e de novas tecnologias devido à crescente demanda das montadoras por aumento de performance (GOLDENSTEIN *et al.*, 2007).

Em 2005, o segmento de reposição abarcou 71% dos 1.047 milhões de pneus de passeio e comerciais leves vendidos, como pode ser visualizado na Tabela 5, que apresenta a distribuição das vendas por segmento e também por região geográfica.

Tabela 5: Mercado de Pneus de Passeio e Comerciais Leves (em Milhões de Pneus)  
 Fonte: GOLDENSTEIN *et al.* (2007, pp. 112)

Região	Montadora		Reposição		Total	
	Valor	%	Valor	%	Valor	%
América do Norte	79	23	268	77	347	33
Europa	93	28	244	72	337	32
Ásia	103	42	142	58	245	23
América do Sul	12	24	39	76	51	5
Oriente Médio, África e Turquia	16	24	51	76	67	6
<b>Total</b>	<b>303</b>	<b>29</b>	<b>744</b>	<b>71</b>	<b>1.047</b>	<b>100</b>

Na tabela acima, é interessante destacar a contribuição bastante superior, tanto em quantidade como em percentual, do segmento de montadoras no mercado asiático quando comparada às demais regiões, o que se explica pelo crescimento da produção automobilística na Ásia.

Segundo dados do Panorama da Indústria de Pneus no Brasil, publicado em março de 2007 pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), o faturamento bruto mundial das indústrias do setor quase triplicou em duas décadas, partindo de cerca de US\$ 35 bilhões em 1985 para US\$ 92 bilhões em 2004.

## 6.2 Indústria de Pneus no Brasil

A indústria brasileira de pneumáticos nasceu em 1934, com a implantação do Plano Geral de Viação Nacional, concretizado dois anos depois com a instalação da Companhia Brasileira de Artefatos de Borracha – Pneus Brasil, no Rio de Janeiro. Em seu primeiro ano, a Pneus Brasil fabricou mais de 29 mil unidades (ANIP, 2007).

Atualmente, a participação do Brasil no mercado mundial de pneus é significativa. O país ocupa a sétima posição mundial na produção de pneus para automóveis e a quinta na fabricação de pneus para caminhão, ônibus e caminhonetes. Esta expressiva colocação deve-se, sobretudo, à atuação no país dos cinco maiores produtores mundiais de pneus. Estas empresas são responsáveis pela geração de aproximadamente 25 mil empregos diretos e 125 mil empregos indiretos no Brasil (ANIP, 2007).

As indústrias de pneumáticos atuantes no país são representadas pela Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP)<sup>84</sup>, que também reúne os fabricantes de câmaras de ar.

A seguir, apresenta-se um histórico sucinto das atividades no Brasil dos principais grupos produtores de pneus.

### **6.2.1 Goodyear**

Com um escritório de vendas e um armazém, a Goodyear<sup>85</sup> começou a atuar no país, no ano de 1919. Duas décadas depois, a primeira unidade industrial entrou em operação, no bairro do Belenzinho, em São Paulo. Hoje, o grupo dispõe de sete unidades industriais e emprega cerca de 4.400 pessoas.

A Goodyear do Brasil fabrica pneus para automóveis, caminhões, camionetas (radiais e convencionais), pneus para terraplanagem, equipamentos agrícolas e industriais, pneus para aeronaves, correias e mangueiras para os setores industrial, agrícola, eletrodoméstico e alimentício. Outros itens que complementam a linha de produtos são a película plástica para embalagens, as molas pneumáticas e os produtos para recauchutagem de pneus (GOODYEAR DO BRASIL, 2007).

### **6.2.2 Bridgestone**

As operações da Firestone<sup>86</sup> no Brasil tiveram início em 1923, com um escritório de negócios em São Paulo. A primeira fábrica no país foi montada pela Firestone, em 1939, na cidade de Santo André, Grande São Paulo. No ano de 1988, com a compra da Firestone pela Bridgestone<sup>87</sup>, surgiu a Bridgestone Firestone do Brasil.

---

<sup>84</sup> Fundada em 1960, a ANIP é composta por Bridgestone Firestone, Goodyear, Pirelli, Michelin, Maggion, Rinaldi, Pneus Levorin e Tortuga Câmaras de Ar. A associação representa suas associadas perante as autoridades governamentais federais, estaduais e municipais, organizações não-governamentais, entidades de classe e representantes da sociedade. A entidade desenvolve estudos e pesquisas para identificar as principais mudanças nos mercados nacional e mundial, além de participar de seminários nacionais e internacionais sobre assuntos pertinentes ao setor (ANIP, 2007).

<sup>85</sup> *The Goodyear Tire & Rubber Company* foi fundada em 1898, em Akron, nos Estados Unidos. Atualmente, o grupo dispõe de 96 fábricas em 28 países, incluindo os Estados Unidos, empregando mais de 80 mil pessoas (GOODYEAR DO BRASIL, 2007).

<sup>86</sup> A *Firestone Tire & Rubber* foi criada em Ohio, nos Estados Unidos, em 1900, por Harvey Firestone, produzindo inicialmente pneus para carruagens. Posteriormente, os pneus da marca foram escolhidos por Henry Ford, fundador da *Ford Motor Company*, para equipar o primeiro automóvel produzido em série (BRIDGESTONE FIRESTONE DO BRASIL, 2007).

<sup>87</sup> Em 1931, Shojiro Ishibashi fundou a *Bridgestone Tire Co.* em Kurume, no Japão. Atualmente sediada em Tokyo, a *Bridgestone Corporation* desenvolve, produz e comercializa pneus em cerca de 150 países, empregando mais de 126 mil funcionários. Além de pneus, responsáveis por aproximadamente 80% das vendas, o grupo também produz uma ampla gama de produtos industriais e de consumo (BRIDGESTONE CORPORATION, 2007).

Em 2007, o grupo inaugurou a segunda fábrica no país, no Pólo Industrial de Camaçari, Bahia, onde são produzidos pneus classificados como *high-performance* e *ultra-high-performance*, que equipam novas gerações de automóveis, veículos esportivos de alta velocidade e caminhonetes. A fábrica de Santo André, por sua vez, atua na produção de pneus para caminhões, ônibus, veículos industriais, agrícolas e máquinas fora de estrada. Mais de cinco mil empregos são gerados pelas atividades do grupo no país (BRIDGESTONE FIRESTONE DO BRASIL, 2007).

### **6.2.3 Michelin**

A Michelin<sup>88</sup> iniciou suas atividades no Brasil em 1927, quando implantou um escritório comercial em São Paulo. Contudo, apenas em 1979, foi instalada no Rio de Janeiro a primeira fábrica, dedicada à produção de pneus para caminhões e ônibus. Atualmente, a empresa dispõe de três unidades industriais e duas plantações no país, totalizando mais de cinco mil funcionários.

A Michelin Brasil produz e comercializa pneus, câmaras de ar e protetores, exportando seus produtos principalmente para outros países da América do Sul, como Argentina, Colômbia, Chile, Venezuela e Peru, sendo responsável pela coordenação das ações e diretrizes do grupo no continente sul-americano (MICHELIN BRASIL, 2007).

### **6.2.4 Pirelli**

A aquisição da Conac, uma pequena fábrica de condutores elétricos localizada na cidade de Santo André, em São Paulo, significou o começo da atuação da Pirelli<sup>89</sup> no Brasil, no ano de 1929. Hoje, a subsidiária brasileira conta com cerca de seis mil funcionários e as operações no Brasil representam 20% das vendas globais da empresa.

A Pirelli brasileira possui seis fábricas, que produzem pneus para automóveis, camionetas, motos, bicicletas, caminhões, ônibus, tratores, máquinas agrícolas e veículos pesados para construção civil e uso industrial. No país, localiza-se um dos três centros de pesquisa da Pirelli, os outros se situam na Alemanha e na Itália (PIRELLI, 2007).

---

<sup>88</sup> Fundada pelos irmãos André e Édouard Michelin em 1891, a Michelin produz pneus, câmaras de ar e cabos, além de editar guias e mapas turísticos, comercializando seus produtos em mais de 170 países. Sua sede mundial está localizada na cidade de Clermont-Ferrand, na França, mas as 69 unidades de produção estão espalhadas pelo mundo. A Michelin possui também seis plantações de seringueiras e um Centro de Tecnologia com pólos na Europa, nos Estados Unidos e no Japão, empregando, no total de suas operações, mais de 115 mil funcionários. As empresas do grupo produzem em torno de 190 milhões de pneus e 15 milhões de mapas e guias por ano (MICHELIN BRASIL, 2007).

<sup>89</sup> Em 1872, Giovanni Battista Pirelli fundou a Pirelli em Milão, na Itália. Atualmente, a empresa dispõe de 24 unidades industriais em 12 países, três centros de pesquisa e desenvolvimento e atividades comerciais em mais de 120 países, empregando cerca de 24 mil funcionários (PIRELLI, 2007).

### 6.2.5 Continental

A Continental<sup>90</sup>, que chegou ao Brasil em 1997, inaugurou sua primeira fábrica no país em 2006, no Pólo Industrial de Camaçari, na Bahia. Nesta unidade são produzidos pneus de passeio e de carga. Quando estiver operando em plena capacidade, estima-se que a fábrica gere cerca de 1.200 empregos diretos e mais de 4.000 indiretos (CONTINENTAL DO BRASIL, 2007).

### 6.3 Mercado Brasileiro

No ano de 2004, após um período de razoável estagnação, a produção de veículos no Brasil voltou a crescer. Conseqüentemente, aumentou também a demanda por pneus. No entanto, os fabricantes de pneus não estavam preparados para esse crescimento, o que ocasionou a falta do produto no mercado interno, a ponto de carros e caminhões serem entregues às concessionárias sem estepe (GOLDENSTEIN *et al.*, 2007).

Neste contexto favorável, aproveitando tanto o crescimento do mercado interno quanto a possibilidade de exportações, os fabricantes de pneus anunciaram uma série de investimentos no país (GOLDENSTEIN *et al.*, 2007). Desde então, o volume de vendas e de produção tem apresentado crescimento ano após ano, como mostra a Figura 10.

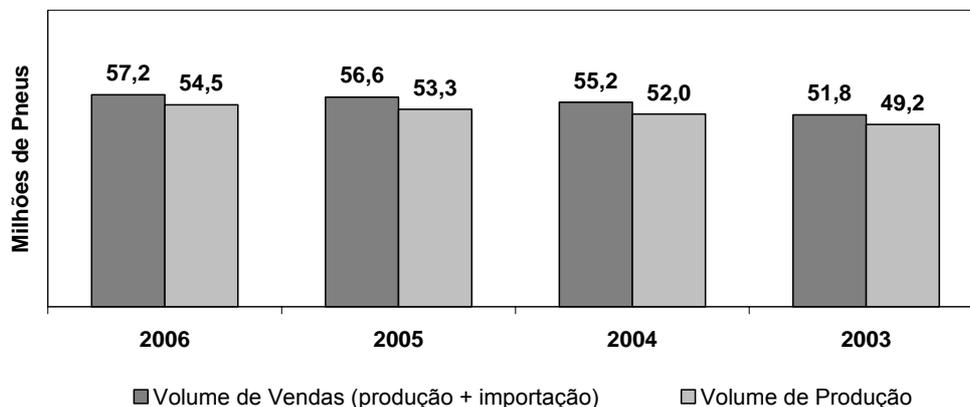


Figura 10: Volume de Vendas e de Produção (em Milhões de Pneus)  
Fonte: elaborado a partir de ANIP (2007)

<sup>90</sup> A trajetória da Continental teve início em 1871, em Hannover, na Alemanha, com a produção de artefatos de borracha flexível e pneus maciços para carruagens e bicicletas. Atualmente, a Continental produz desde pneus até forrações internas e freios ABS, incluindo mangueiras e lonas de freios. O Grupo Continental emprega mais de 64 mil pessoas e dispõe de 21 fábricas de pneus, além de diversas fábricas especializadas nos demais produtos (CONTINENTAL DO BRASIL, 2007).

Em 2005, o setor apresentou faturamento de R\$ 14,2 bilhões. Os dados preliminares de 2006 apontam um faturamento semelhante ao do ano anterior, com acréscimo da ordem de 1% (GOLDENSTEIN *et al.*, 2007). Em volume de produção, a indústria brasileira de pneus alcançou o patamar de 54,5 milhões de unidades em 2006, de acordo com os dados da ANIP (2007).

A Tabela 6 apresenta os volumes de vendas, produção e exportação em 2006, estratificados por categoria de produto, conforme os dados disponibilizados pela ANIP.

Tabela 6: Volumes por Categoria em 2006 (em Milhões de Pneus)

Fonte: elaborado a partir de ANIP (2007)

<b>Categoria</b>	<b>Vendas</b>	<b>Produção</b>	<b>Exportações</b>
Automóveis	31,2	28,9	8,4
Motos	11,6	11,4	4,3
Caminhões / Ônibus	7,1	6,9	2,5
Caminhonetes	6,1	5,9	3,2
Agricultura / Terraplanagem	0,7191	0,6886	0,2286
Veículos Industriais	0,4971	0,5083	0,0494
Aviões	0,0601	0,051	0,0472

No mercado interno, a Pirelli tem a liderança, seguida pela Goodyear e pela Bridgestone Firestone, que se alternam na segunda e terceira posições, pela Michelin e, por último, pela Continental. Segundo GOLDENSTEIN *et al.* (2007), a modesta participação da Michelin pode ser explicada pelo seu foco no mercado de pneus de ônibus e caminhões, de menor volume de vendas, porém maior valor agregado.

Apesar dos dados setoriais mencionados acima parecerem animadores, os fabricantes instalados no país têm enfrentado o fortalecimento de alguns concorrentes, principalmente os pneus importados da China e os remoldados. Se, por um lado, a qualidade desses produtos competidores permanece contestável, por outro, os preços são extremamente agressivos.

#### **6.4 Investimentos no Setor**

Com a recuperação do mercado automotivo nacional, os fabricantes de pneus deram início a um ciclo de investimentos visando à ampliação da capacidade instalada no Brasil. De acordo com os dados do Panorama da Indústria de Pneus no Brasil, estima-se que esses investimentos resultem em um aumento da capacidade produtiva da ordem de

30% em 2007, em relação a 2004 (GOLDENSTEIN *et al.*, 2007). No ANEXO F são apresentados os investimentos anunciados pelas multinacionais de pneus no Brasil.

A ampliação das operações dos fabricantes de pneus no Brasil não se trata de um fato isolado, vinculado estritamente ao mercado automotivo nacional. Na verdade, o setor vem passando por um processo global de realocização da produção, com progressivo deslocamento das unidades industriais para países de custo inferior.

Apesar do contínuo desenvolvimento tecnológico, o processo de fabricação de pneus não atingiu completa automatização e, por isso, os custos com mão-de-obra são ainda significativos. Desse modo, o Brasil representa uma interessante alternativa para investimentos, uma vez que o custo salarial no país é inferior ao dos países desenvolvidos. Outro fator de atração de investimentos é a expectativa de crescimento do mercado automotivo nos países em desenvolvimento.

Com isso, fábricas nos Estados Unidos e na Europa Ocidental estão sendo fechadas, enquanto investimentos têm sido feitos tanto no Brasil, quanto na Ásia e no Leste Europeu. A Continental, por exemplo, além da construção de sua primeira unidade industrial no Brasil, também investiu na ampliação da unidade já existente na Malásia, ao passo que desativou uma de suas fábricas nos Estados Unidos (GOLDENSTEIN *et al.*, 2007).

O governo brasileiro tem procurado incentivar a expansão do setor. No período de 2004 a 2006, o BNDES aprovou cerca de R\$ 466 milhões em financiamentos para empresas fabricantes de pneus implementarem projetos de construção de novas plantas, modernização de plantas antigas, expansão da capacidade de unidades industriais e apoio à exportação (GOLDENSTEIN *et al.*, 2007).

## **6.5 Mercado de Reposição**

Embora os volumes globais indiquem o crescimento da indústria de pneus no Brasil, este resultado não se reflete igualmente nos dois segmentos de comercialização. Enquanto as vendas para as montadoras estão prosperando, as vendas para o mercado de reposição têm diminuído, o que se atribui ao acirramento da concorrência interna com os pneus asiáticos importados e com os remoldados.

Com a expansão da atuação desses concorrentes, as vendas de pneus novos para o mercado de reposição recuaram 3% em 2005 e outros 2% em 2006. A queda no ano de 2006 ocorreu especificamente nas categorias de ônibus e caminhões (5,7%) e de carros de passeio (4,2%). O segmento de pneus para motos ameniza o recuo no número

global, visto que os remoldadores não atuam nesse mercado, cujos produtos apresentam menor valor agregado (GOLDENSTEIN *et al.*, 2007).

Os produtos asiáticos, principalmente chineses e coreanos, já ultrapassam 5% de participação em um mercado anual de 24 milhões de pneus novos destinados à reposição. Esses produtos são comercializados a preços de 20% a 40% inferiores aos pneus novos fabricados no país, o que aumenta sua competitividade, a despeito das incertezas quanto à qualidade ou durabilidade (GOLDENSTEIN *et al.*, 2007).

Quanto aos pneus remoldados, estima-se que 4,5 milhões de unidades foram comercializadas no país, em 2006, a um preço médio equivalente a aproximadamente 60% do preço de um pneu novo. A competitividade dos pneus remoldados se justifica, em grande parte, pela utilização de pneus usados importados da Europa como matéria-prima para a remoldagem, adquiridos a custos muito reduzidos<sup>91</sup>.

Segundo GOLDENSTEIN *et al.* (2007), a importação de pneus usados tem demonstrado um expressivo crescimento nos últimos anos. Em 2001, a quantidade importada foi de 2 milhões de unidades, ultrapassando 10 milhões em 2005 e 7 milhões em 2006.

## 6.6 Indústria de Remoldagem no Brasil

Os principais expoentes da indústria de remoldagem no país são a Pneuback e a BS Colway. Essas empresas se fazem representar por intermédio da Associação Brasileira da Indústria de Pneus Remoldados (ABIP)<sup>92</sup>.

A Pneuback foi a primeira empresa no Brasil a utilizar a tecnologia de remoldagem e hoje conta com duas fábricas, uma no Rio de Janeiro e outra em Santa Catarina (PNEUBACK, 2007).

Já a BS Colway foi constituída em 1998, a partir de uma *joint venture* entre a empresa brasileira BS Pneus e a inglesa *Colway Tyres*, líder em vendas de pneus reformados na Europa. Atualmente, a BS Colway é constituída por 100% de capital nacional e possui uma fábrica, localizada no estado do Paraná (BS COLWAY, 2007).

---

<sup>91</sup> A publicação Panorama da Indústria de Pneus no Brasil faz menção a dados da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX) que apontam o preço médio praticado nas operações de importação de pneus usados de US\$ 0,76 por unidade em 2004, US\$ 1,04 em 2005 e US\$ 1,68 em 2006 (GOLDENSTEIN *et al.* 2007).

<sup>92</sup> Fundada em 1993, a ABIP reúne as empresas fabricantes e as distribuidoras de remoldados, unidas como objetivo de promover o desenvolvimento da atividade, assegurando o suprimento do mercado brasileiro de pneus remoldados. A ABIP atua no sentido de garantir o suprimento de matérias-primas, principalmente carcaças de pneus usados, a serem importadas enquanto as carcaças de pneus nacionais não alcançarem o padrão de qualidade requerido pelo processo de remoldagem (ABIP, 2007).

Como diferencial competitivo, além dos preços praticados consideravelmente inferiores aos pneus novos, as empresas remoldadoras utilizam fortemente o argumento ecológico no *marketing* de seus produtos, por causa do aproveitamento de um produto que poderia ser considerado lixo. A BS Colway, por exemplo, divulga o slogan “N° 1 em ecologia”.

Para vencer a desconfiança dos consumidores a respeito da qualidade e da segurança oferecidas pelos pneus remoldados, as empresas têm buscado a certificação de seus produtos, por meio da avaliação de conformidade às normas do INMETRO. Além disso, as indústrias oferecem garantia de seus produtos contra defeitos de fabricação.

Com isso, os pneus remoldados têm avançado no mercado brasileiro, provocando a reação das multinacionais fabricantes de pneus, que tentam conseguir a proibição da importação de pneus usados, que constitui a principal matéria-prima para produção dos remoldados.

## VII PRODUÇÃO DO PNEU

O pneu é um componente indispensável para o funcionamento de qualquer veículo. Por ser a única parte em contato com o solo, o pneu desempenha um importante papel na performance do automóvel, como também na garantia da segurança de seus passageiros.

No presente capítulo, apresenta-se o pneu automotivo: sua invenção, suas matérias-primas, sua estrutura e seu processo de produção. Tais informações são importantes para o entendimento do ciclo de vida desse produto, bem como para a compreensão da extensão da cadeia produtiva em que a indústria de pneumáticos está inserida.

### 7.1 Invenção do Pneu

A principal matéria-prima para produção de um pneu é a borracha. No princípio, esse material não passava de uma goma pouco resistente ao calor, utilizada para impermeabilizar tecidos. Entretanto, experimentos realizados pelo americano Charles Goodyear, por volta de 1830, possibilitaram a ampliação do emprego da borracha natural, pois confirmaram que o material mantinha sua elasticidade no frio ou no calor depois de submetido a cozimento com enxofre, em altas temperaturas. O processo desenvolvido por Goodyear ficou conhecido como vulcanização<sup>93</sup> (ANIP, 2007).

Considera-se que o primeiro pneu dotado de câmara de ar tenha sido elaborado por Robert W. Thompson, que registrou a patente desse produto na Inglaterra, em 1845. O pneu de Thompson, destinado a carruagens puxadas por animais, era formado por uma camada externa de couro e uma interna de tecido emborrachado, compondo a câmara de ar (ALMEIDA, 2002).

Em 1888, John Boyd Dunlop desenvolveu um pneu para bicicletas e triciclos, cuja patente foi concedida no mesmo ano. O pneu com talão<sup>94</sup> de arame foi criado por Charles Kingston Welsh, em 1890. No mesmo ano, William Barlett aprimorou essa tecnologia, conseguindo a patente do primeiro pneu separável da roda. Antes desta invenção, os pneus eram fixados às rodas por meio de soluções à base de borracha (ALMEIDA, 2002).

---

<sup>93</sup> “Vulcanus (latim) é o deus romano do fogo. Representa o elemento enxofre, que está presente nas erupções vulcânicas, daí a relação com o processo de vulcanização, que necessita de enxofre e aquecimento para ocorrer” (FAPEMIG, 2002).

<sup>94</sup> Talão é a estrutura que mantém o pneu acoplado ao aro.

Finalmente, em 1895, os irmãos Michelin – Édouard e André – lançaram um automóvel equipado com pneus, desenhado e fabricado pela própria Michelin: L'Éclair (O Relâmpago). Até então, nenhum fabricante de automóveis havia se atrevido a equipar seus veículos com pneumáticos. O lançamento do automóvel dos irmãos Michelin marcou o início da comercialização dos pneus automotivos (MICHELIN ESPAÑA, 2007).

## 7.2 Principais Matérias-primas

O pneu é constituído essencialmente por borracha natural, derivados de petróleo, aço e produtos químicos, matérias-primas que são empregadas em diferentes proporções e combinadas com outros diferentes compostos, conforme a utilização a que o pneu se destina.

Em geral, os pneus de passeio são projetados para suportar altas velocidades, enquanto os pneus de carga são concebidos para agüentar mais peso. Essa diferença nas características requeridas se reflete, por exemplo, em distintas quantidades de borracha natural aplicada nos dois produtos (ANIP, 2007).

A borracha natural<sup>95</sup> é obtida pela coagulação de látices de determinados vegetais, principalmente da *Hevea brasiliensis* ou seringueira, uma planta nativa da Amazônia. Embora diversas espécies exudem secreção semelhante ao látex, somente algumas produzem em quantidade e qualidade suficientes para exploração econômica (PETROFLEX, 2007).

Já a borracha sintética é um produto derivado do petróleo ou do gás natural. A indústria de pneus utiliza principalmente dois tipos de borracha sintética: SBR<sup>96</sup> (copolímero de butadieno e estireno) e BR<sup>97</sup> (polímero de butadieno), cujo principal fabricante nacional é a Petroflex, maior produtora de borrachas sintéticas da América Latina (BNDES, 1998; PETROFLEX, 2007).

Outro importante componente é o negro de fumo, um composto orgânico que, misturado à borracha, causa um aumento na resistência mecânica dos pneus. No entanto, esse componente dificulta a reciclagem do pneu, o que tem levado as indústrias a desenvolverem novas tecnologias<sup>98</sup> para substituição do negro de fumo pela sílica.

---

<sup>95</sup> *Natural Rubber (NR)*

<sup>96</sup> *Styrene-Butadiene Rubber (SBR)*

<sup>97</sup> *Butadiene Rubber (BR)*

<sup>98</sup> Outra tendência é o desenvolvimento de pneus mais resistentes, capazes de percorrer grandes distâncias após a perfuração. Com isso, discute-se a utilidade do estepe, cuja supressão possibilitaria uma melhor utilização do espaço do veículo, além de reduzir seu peso e custo. Já se supõe que, dentro de alguns anos, o estepe seja extinto. Diversos modelos de veículos europeus e norte-americanos já possuem o

Ainda assim, a indústria de pneus absorve 70% de produção mundial de negro de fumo (BNDES, 1998).

### 7.3 Estrutura do Pneu Automotivo

O pneu para veículos de passeio não é uma peça homogênea, pois apresenta várias partes, concebidas para atender a diferentes finalidades e, por isso, dotadas de composição, propriedades químicas e físicas distintas. Na Figura 11 é apresentado um esquema das principais partes que compõem um pneu automotivo.

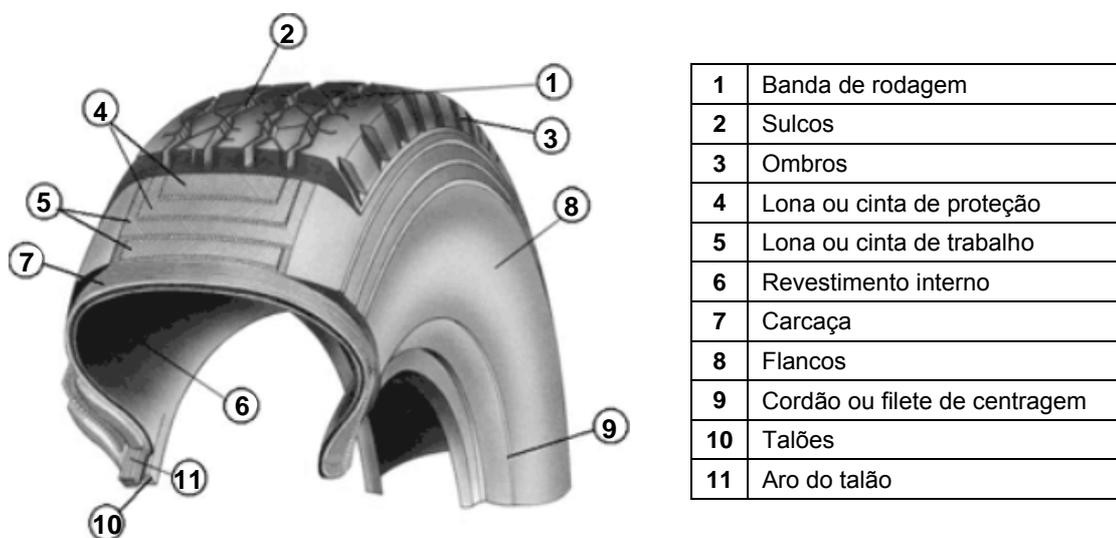


Figura 11: Partes do Pneu Automotivo  
Fonte: elaborado a partir de BRIDGESTONE (2006)

A banda de rodagem é o elemento do pneu que entra em contato diretamente com o solo e, por isso, tende a sofrer maior desgaste. Para aumentar a resistência da banda de rodagem, borracha e agentes químicos especiais são utilizados em sua composição. Os desenhos externos do pneu são traçados nessa camada e também desempenham importante um papel, pois influenciam a tração, a estabilidade e, por conseguinte, a segurança do veículo. As cavidades que recortam longitudinal e/ou transversalmente a superfície da banda de rodagem, definindo o seu desenho, são denominadas sulcos.

---

acessório com dimensões menores, bem mais estreito, com autonomia apenas para encontrar socorro (BNDES, 1998).

As partes curvas nas laterais da banda de rodagem são freqüentemente denominadas ombros e fazem a ligação entre a banda de rodagem e os flancos. Estes, por sua vez, são formados por um composto de borracha de alto grau de flexibilidade e servem para proteger a carcaça contra os agentes externos.

O corpo ou carcaça é formado por um conjunto de lonas e eventuais cintas de proteção ou de trabalho, compostas de nylon ou poliéster, que forma a parte resistente do pneu, responsável pela retenção do ar sob pressão. A carcaça compõe a parte interior da estrutura resistente do pneu, cujos cordonéis se estendem de um talão a outro. Os cordonéis são elementos metálicos ou têxteis retorcidos que conferem resistência às lonas e cintas.

A lona ou cinta de proteção resguarda a lona ou cinta de trabalho, constituindo a parte exterior da estrutura resistente do pneu. A lona ou cinta de trabalho tem por finalidade estabilizar o pneu. Já o revestimento interno compõe a superfície interna do pneu, constituída de componentes de borracha com função de proteção.

Os talões são constituídos de arames de aço de grande resistência e mantém o pneu acoplado ao aro. O talão faz a ligação do pneu com a roda, impedindo-o de realizar movimentos independentes. Há ainda o cordão ou filete de centragem que consiste de uma linha em relevo próxima à área dos talões, cujo objetivo é indicar visualmente a correta centralização do pneu no aro (ANIP, 2007; BRIDGESTONE, 2006; FAPEMIG, 2002).

Os pneus podem ser classificados em dois grupos: radiais e convencionais (ou diagonais). Os radiais possuem maior teor de borracha natural, o que, juntamente com reforços estruturais e novos desenhos da banda de rodagem, lhes confere maior resistência, durabilidade, aderência e estabilidade do que os convencionais<sup>99</sup> (BNDES, 1998).

Outra classificação faz a distinção entre os pneus com e sem câmara. Nos pneus sem câmara, a superfície interna da carcaça possui uma camada de borracha especial, denominada liner, que garante a retenção do ar. Os pneus sem câmara podem ser montados e desmontados mais rapidamente, além de oferecerem maior segurança quando perfurados, pois perdem ar lentamente (BNDES, 1998).

---

<sup>99</sup> Embora representem um custo superior, a tendência mundial é a utilização exclusiva de pneus radiais, que já dominam o mercado de pneus de passeio, com 97% da produção total, e contam com uma participação expressiva no mercado de pneus de carga, com 45% da produção mundial (BNDES, 1998).

## **7.4 Processo Produtivo**

A construção de um pneu passa por um processo produtivo bem complexo, que vai desde a preparação da borracha até a produção de itens para compor o produto final. O processo produtivo pode apresentar variações entre as indústrias e até mesmo em uma mesma fábrica, em função do tipo de pneu produzido. O pneu é fabricado para atender os hábitos de consumo, assim como as condições climáticas e as características do sistema viário existente em cada país.

Assim, este tópico apresenta o processo em linhas gerais, contemplando as principais etapas de fabricação, baseando-se nas informações disponibilizadas por BRIDGESTONE (2006) e ANIP (2007).

### **7.4.1 Misturação**

A primeira fase da fabricação do pneu é a formulação do composto constituído por diversos tipos de borracha natural e sintética, negro de fumo, aceleradores e pigmentos químicos. Para cada parte do pneu existe uma receita específica de composto, o que resulta em propriedades físicas e químicas distintas.

Primeiramente, os materiais são colocados em um misturador, responsável pela homogeneização. Dependendo do componente a ser produzido, a mistura gerada pode atravessar também uma seqüência de calandras para formação de uma manta de borracha, que é submetida a um processo de resfriamento, para manter a conformação.

### **7.4.2 Produção dos Componentes**

Os componentes do pneu não são necessariamente produzidos em seqüência. Em geral, sua produção é simultânea, em áreas ou processos diferentes. Posteriormente as partes são reunidas na montagem do produto final.

A banda de rodagem e os flancos são produzidos por extrusão. Neste processo, a manta de borracha formada após a misturação é pré-aquecida, a fim de aumentar sua elasticidade, e inserida em uma máquina extrusora, uma espécie de rosca que, enquanto gira, empurra o composto contra uma fôrma, onde o componente adquire a forma desejada. Em seguida, o material é resfriado e cortado no tamanho adequado.

Para formar as lonas, fios de poliéster, nylon e aço são previamente tecidos e depois cobertos por camadas de borracha. Rolos cilíndricos provocam a adesão da borracha ao tecido, formando uma fita com largura determinada, que é cortada em ângulo, largura e comprimento específicos.

Os fios de aço são primeiramente alinhados para em seguida passarem na saída de uma extrusora que aplica uma camada de borracha sobre os fios. Cilindros são utilizados para enrolar os fios, formando o componente.

#### **7.4.3 Construção do Pneu**

No processo de construção, os componentes de cada tipo de pneu são aplicados em uma máquina, parecida com um tambor, na seqüência determinada e conforme as medidas especificadas.

#### **7.4.4 Processo de Vulcanização**

A vulcanização dá forma ao pneu e consistência à borracha. Este processo consiste em colocar o pneu em uma prensa sob condições definidas de temperatura e pressão, por um determinado tempo. Na parte interna da prensa, há um molde com as características de cada produto que produz a forma e o desenho finais da banda de rodagem.

#### **7.4.5 Inspeção Final**

Depois de vulcanizado, o pneu passa pela inspeção final, quando são realizados os testes de controle de qualidade que antecedem a liberação do pneu, garantindo a consistência e a confiabilidade no seu desempenho.

## VIII PANORAMA DO PNEU USADO

Quando não mais apresenta as condições necessárias para o uso veicular, o pneu pode receber diversas destinações, dependendo de seu estado de conservação. Dar destinação final, ambientalmente adequada, para os pneus inservíveis<sup>100</sup> passou a ser uma obrigação dos produtores e importadores de pneus, a partir da divulgação da Resolução 258 de 26 de agosto de 1999, pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Neste capítulo, procura-se traçar um panorama da situação do pneu usado no Brasil. Para tanto, são abordadas primeiramente as alternativas para destinação, com destaque para a remoldagem e as discussões relativas à utilização dos pneus importados como matéria-prima para esse processo. Em seguida, apresentam-se os problemas ambientais e de saúde pública decorrentes do acúmulo de pneus, bem como os aspectos legais pertinentes. Enfim, as iniciativas desenvolvidas e as estatísticas de coleta e destinação são contempladas.

### 8.1 Alternativas para o Pneu Usado

Uma parcela dos pneus usados pode passar por processos industriais para extensão de sua vida útil, ou seja, processos de reforma que possibilitam rodagem adicional. Outros, em piores condições, não mais se prestam à reforma e são, por isso, denominados pneus inservíveis, sendo submetidos a processos para aproveitamento de materiais e energia. Há, ainda, a possibilidade de reutilização direta do pneu usado, sem que seja necessário submetê-lo a qualquer processo industrial.

#### 8.1.1 *Reciclagem*

Os pneus usados que não apresentam condições para serem submetidos a processos de reforma – pneus inservíveis – podem passar por processos de reciclagem. Segundo Leite (2003, pp. 7),

‘Reciclagem’ é o canal reverso de revalorização, em que os materiais constituintes dos produtos descartados são extraídos industrialmente, transformando-se em matérias-primas secundárias ou recicladas que serão reincorporadas à fabricação de novos produtos.

---

<sup>100</sup> “pneu ou pneumático inservível: aquele que não mais se presta a processo de reforma que permita condição de rodagem adicional” (CONAMA, 1999).

Assim, os materiais que compõem o pneu são novamente utilizados, entrando na fabricação de outros produtos, visto que, por razões de natureza tecnológica, não retornam para a indústria de pneumáticos.

Antes da aplicação propriamente dita, o pneu, em geral, passa por uma etapa de trituração, formando lascas ou lâminas<sup>101</sup>. Em seguida, podem ser moídos em pequenos grãos, o que dependerá da aplicação pretendida. O aço e a borracha são separados por meio magnético. Peneiras são utilizadas para classificação do material gerado em diferentes granulometrias. As etapas posteriores de processamento dependem do emprego futuro (ANIP, 2007).

Uma das utilizações do material obtido é na incorporação aos materiais asfálticos<sup>102</sup> através de dois processos: úmido e seco. No processo úmido, a borracha moída (cerca de 5 a 25% do peso total de ligante) é incorporada ao ligante asfáltico antes de se adicionar o agregado. Durante a adição de borracha ao ligante asfáltico, ocorre uma reação entre os componentes e a alteração de suas propriedades. No processo seco, a borracha de pneus é misturada com o agregado antes de se adicionar o ligante asfáltico (ODA e FERNANDES JÚNIOR, 2001).

Diversas vantagens advêm da adição de borracha ao asfalto, tais como a redução do envelhecimento por oxidação, devido à presença de antioxidantes e carbono na borracha dos pneus; o aumento da flexibilidade em virtude da maior concentração de elastômeros; e a redução da susceptibilidade térmica, pois as misturas asfálticas se tornam mais resistentes às variações de temperatura (ODA e FERNANDES JÚNIOR, 2001).

O pneu triturado também pode ser utilizado como substituto da brita no preparo do concreto, na confecção de pisos, blocos e guias. Com isso, o produto fica mais leve, o que acarreta ganhos de produtividade na instalação, além da redução nos custos de transporte (ANIP, 2007).

De acordo com a informação do Compromisso Empresarial para Reciclagem<sup>103</sup>, a usina da Petrobras em São Mateus do Sul (Paraná) incorpora pneus moídos no processo

---

<sup>101</sup> As empresas que realizam esse processo são geralmente denominadas laminadores.

<sup>102</sup> A história da adição de borracha de pneus em materiais para pavimentação teve início na década de 40, com a *U.S. Rubber Reclaiming Company*, que introduziu no mercado um produto composto de material asfáltico e borracha desvulcanizada reciclada (ODA e FERNANDES JÚNIOR, 2001).

<sup>103</sup> Fundado em 1992, o Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE) é uma associação sem fins lucrativos, mantida por empresas privadas de diversos setores, que se dedica à promoção da reciclagem dentro do conceito de gerenciamento integrado do lixo. A associação atua na conscientização da sociedade sobre a importância da redução, reutilização e reciclagem de lixo. Para tanto, elabora publicações, pesquisas técnicas, seminários e bancos de dados (CEMPRE, 2007).

de extração de xisto betuminoso, o que proporciona menor viscosidade ao mineral e uma otimização do processo (CEMPRE, 2007).

Outra ampla possibilidade de aplicação é a produção de artefatos de borracha. Para esse uso, a borracha do pneu é regenerada por meio de um processo físico-químico que utiliza óleos aromáticos e agentes desvulcanizantes. Em autoclaves giratórias, o material recebe oxigênio, calor e forte pressão, que causam o rompimento das cadeias moleculares, tornando a borracha passível de novas formulações. Submete-se, então, a borracha a um refino mecânico, que ocasiona aumento de viscosidade, sendo em seguida prensada. O material adquire a forma de fardos de borracha regenerada. Depois, a borracha é novamente vulcanizada (CEMPRE, 2007).

O insumo regenerado representa para as indústrias de artefatos de borracha um custo inferior à metade do que seria gasto com borracha natural ou sintética nova. Além disso, o uso do material reciclado economiza energia e poupa petróleo usado como matéria-prima virgem. Com esse insumo são fabricados, por exemplo, tapetes, mantas para quadras esportivas, pisos industriais, borrachas de vedação e rodas maciças para carrinhos (CEMPRE, 2007; ANIP, 2007).

### **8.1.2 Valorização Energética**

A utilização de resíduos para a geração de energia denomina-se valorização ou reciclagem energética<sup>104</sup>. Nestes processos, o calor gerado pela queima do material pode ser aproveitado na geração de energia elétrica (usinas termelétricas), alimentação de caldeiras e altos-fornos.

No caso dos pneus inservíveis, a reciclagem energética constitui uma alternativa interessante, uma vez que estes materiais apresentam poder calorífico superior, por exemplo, ao óleo diesel (ANIP, 2007). Cada pneu contém a energia equivalente a 9,4 litros de petróleo (CEMPRE, 2007).

Os pneus podem ser empregados no co-processamento<sup>105</sup> em fornos rotativos de clínquer<sup>106</sup>, para a fabricação de cimento. Algumas cimenteiras admitem o pneu inteiro, aproveitando alguns óxidos contidos nos pneus como substitutos de matéria-prima (as malhas de aço dos pneus se desprendem em alta temperatura e se incorporam ao

---

<sup>104</sup> A reciclagem energética distingue-se da incineração porque esta não tem por objetivo reaproveitar a energia dos materiais, mas apenas destruí-los.

<sup>105</sup> “Co-processamento de resíduos em fornos de produção de clínquer: Técnica de utilização de resíduos sólidos industriais a partir do processamento desses como substituto parcial de matéria-prima e/ou de combustível no sistema forno de produção de clínquer, na fabricação de cimento” (CONAMA, 1999b).

<sup>106</sup> “Clínquer: Componente básico do cimento, constituído principalmente de silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico e ferroaluminato tetracálcico” (CONAMA, 1999b).

cimento, substituindo o minério de ferro utilizado na fabricação). Há também a alternativa da queima de pneus para aquecer caldeiras, utilizada principalmente nas indústrias de papel e celulose e de produtos alimentícios (CEMPRE, 2007).

### **8.1.3 Reuso**

Os pneus inservíveis são também reutilizados diretamente, sem passarem por qualquer processo industrial, como é o caso da drenagem de gases em aterros sanitários, da construção de muros de arrimo, das proteções de ancoradouros e embarcações, de garagens e de pistas de corridas, como na Fórmula 1, entre muitos outros usos. No Brasil, os pneus são reaproveitados também como estrutura de recifes marinhos artificiais, visando o aumento da produção pesqueira.

No entanto, tais aplicações não são reconhecidas pelos órgãos ambientais como formas de destinação final, ambientalmente adequada, para os pneus inservíveis (ANIP, 2007; CEMPRE, 2007).

### **8.1.4 Reforma**

A reforma de um pneu usado consiste na substituição de partes desgastadas por elementos novos, gerando o pneu reformado<sup>107</sup>. Embora recebam o nome genérico de reforma, na prática, distinguem-se três modalidades: a recapagem, a recauchutagem e a remoldagem.

Independente do método de reforma aplicado, o aproveitamento do pneu usado é limitado pela idade da carcaça, que dura em média sete anos, e influenciado pelo estado das estradas, pela manutenção do veículo e do próprio pneu. Outro fator que pode interferir na condição do pneu para reforma é a maneira de conduzir de cada motorista, que pode causar danos ao produto em maior ou menor extensão (ANIP, 2007).

#### **8.1.4.1 Recapagem e Recauchutagem**

A recapagem consiste da troca apenas da banda de rodagem, enquanto que na recauchutagem, além desse componente, realiza-se também a substituição dos ombros. No entanto, na prática, estes termos são utilizados como sinônimos. O ANEXO G ilustra a seqüência de etapas do processo de recapagem/recauchutagem.

---

<sup>107</sup> “pneu ou pneumático reformado: todo pneumático que foi submetido a algum tipo de processo industrial com o fim específico de aumentar sua vida útil de rodagem em meios de transporte, tais como recapagem, recauchutagem ou remoldagem” (CONAMA, 1999).

Recapagem e recauchutagem não são processos utilizados com frequência para pneus automotivos, sendo, em contra-partida, amplamente empregados para recuperação de pneus de ônibus e caminhões, que são projetados para serem reformados diversas vezes.

#### 8.1.4.2 Remoldagem

Na remoldagem promove-se a substituição da banda de rodagem, dos ombros e de toda a superfície dos flancos por camadas novas de borracha, sendo, portanto, o processo de reforma que recupera uma maior porção do pneu (GOLDENSTEIN *et al.*, 2007).

Primeiramente, os pneus usados são inspecionados, com o objetivo de verificar se estão em condições de passarem por processo de remoldagem. Depois, os pneus aprovados são raspados para retirada da borracha original. Este processo precisa ser bem ajustado para que o aço, as lonas e o talão do pneu se mantenham intactos.

Em seguida, a carcaça é submetida a etapas de reconstrução, onde novas camadas de borracha são aplicadas. O pneu é balanceado e, enfim, vulcanizado em condições determinadas de temperatura e pressão, o que promove a devida junção entre carcaça e borracha (BS COLWAY, 2007).

## 8.2 Pneus Importados como Matéria-prima para Remoldagem

Conforme informações da BS Colway<sup>108</sup>, no processo de remoldagem são utilizados somente pneus importados, principalmente da Europa, por causa de suas características técnicas e das condições de uso, que asseguram a qualidade da reforma. A empresa afirma que as indústrias de pneus europeias seguem normas e especificações mais rigorosas do que aquelas atendidas pelos fabricantes nacionais, pois seus pneus são projetados para velocidades muito superiores ao permitido pela legislação brasileira. Além disso, as condições das pistas de rodagem na Europa são melhores, o que favorece a manutenção do veículo e, conseqüentemente, do pneu.

A BS Colway indica alguns fatores comportamentais que justificam o estado de conservação dos pneus usados europeus. Primeiramente, alega-se que o consumidor europeu substitui os pneus antes de apresentarem problemas por desgaste excessivo, o que preserva a estrutura interna do pneu. Soma-se, então, o fato do pneu custar relativamente menos na Europa do que no Brasil.

---

<sup>108</sup> Informações obtidas por meio de comunicação pessoal (mensagens eletrônicas) com a funcionária da BS Colway que forneceu informações para esta pesquisa.

Sendo assim, a remoldagem aqui praticada não representa uma alternativa para os pneus usados nacionais, mas para os europeus. Com a importação, o país adquire a responsabilidade de prover destinação final ambientalmente adequada aos pneus oriundos da Europa, onde geraram empregos, receitas e impostos.

As multinacionais de pneus instaladas no Brasil utilizam-se desse argumento para exigir um posicionamento do governo brasileiro no sentido de proibir a importação. Contudo, o aspecto ambiental não representa sua única motivação. Na verdade, trata-se também de uma tentativa de conter o avanço da participação dos pneus remoldados no mercado nacional através da privação de sua principal matéria-prima.

Até então, os órgãos de proteção ambiental têm manifestado apoio à proibição, pois entendem que a importação de pneus usados significa um aumento na quantidade de pneus inservíveis dispostos em território nacional, agravando o passivo ambiental (GOLDENSTEIN *et al.*, 2007).

Em defesa da importação, as indústrias de remoldagem argumentam que suas atividades geram empregos e renda que ficam no país, pois são empresas nacionais. Além disso, beneficiam o consumidor brasileiro, já que oferecem produtos de qualidade, a preços inferiores. Essas empresas alegam que dispõem de programas bem-sucedidos de recolhimento de pneus inservíveis e, portanto, atuam também na diminuição do passivo ambiental.

Dessa forma, a decisão de importar ou não pneus usados configura-se um problema bastante complexo do ponto de vista ambiental. Mesmo que a importação de pneus usados represente um aumento da quantidade desses materiais dispostos no país, a remoldagem é capaz de estender o ciclo de vida desses produtos, economizando os recursos naturais necessários à produção de um novo pneu.

### **8.3 Problemas Ambientais e de Saúde Pública**

Como não são biodegradáveis, os pneus são resíduos de difícil eliminação. Embora não sejam considerados perigosos, sua queima libera emissões gasosas, contendo substâncias tóxicas e cancerígenas, como dioxinas e furanos. Além disso, produz-se um óleo que pode percolar, contaminando o lençol freático (GOLDENSTEIN *et al.*, 2007). Por esse motivo, a queima de pneus a céu aberto é proibida. Quando os pneus são dispostos de maneira inadequada há risco de incêndio e explosão.

Os pneus reduzem a vida útil dos aterros, pois apresentam baixa compressibilidade, e podem também estourar a sua cobertura, pois absorvem os gases liberados na decomposição de outros resíduos e, com isso, incham (CIMINO, 2004).

Contudo, a importância da destinação adequada de pneus usados não está unicamente relacionada a aspectos ambientais, pois se vincula também a questões de saúde pública. Quando lançados em rios e até mesmo nas cidades, os pneus podem obstruir a passagem da água, provocando alagamentos e transtornos à população. Seu formato possibilita o acúmulo de água limpa e parada, formando um criadouro para mosquitos transmissores de doenças tropicais, principalmente o *Aedes aegypti*, que transmite a dengue e a febre amarela urbana (GOLDENSTEIN *et al.*, 2007).

Segundo dados do CEMPRE (2007), no Rio de Janeiro, os pneus e artefatos de borracha em geral correspondem a 0,5% do lixo urbano, enquanto em São Paulo correspondem a quase 3%.

#### **8.4 Aspectos Legais**

A Resolução 258/1999 do CONAMA foi a primeira legislação ambiental brasileira a tratar da temática da destinação de pneus. Esta Resolução determina que “as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final, ambientalmente adequada, aos pneus inservíveis existentes no território nacional” (CONAMA, 1999).

A partir da publicação deste regulamento, fica proibida a destinação final inadequada de pneumáticos inservíveis, tais como a disposição em aterros sanitários, mar, rios, lagos ou riachos, terrenos baldios ou alagadiços, e a queima a céu aberto. Esta regulamentação estabelece, ainda, metas de coleta e destinação, que vão se tornando progressivamente mais restritas, até se alcançar a meta de cinco pneus inservíveis para cada quatro pneus novos fabricados no país ou pneus novos importados.

Desde o primeiro ano de vigência das metas, as empresas adquiriram a obrigação legal de comprovar anualmente junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA)<sup>109</sup> a destinação final das quantidades de pneus inservíveis estabelecidas.

No caso de empresas importadoras, a comprovação junto ao IBAMA da destinação das quantidades de pneus inservíveis correspondentes às quantidades a serem importadas deve ser feita previamente aos embarques no exterior, para efeitos de liberação de importação junto ao Departamento de Operações de Comércio Exterior (DECEX), do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC).

---

<sup>109</sup> O IBAMA foi criado pela Lei nº 7.735, de 22 de fevereiro de 1989 e tem como uma de suas finalidades executar o controle e a fiscalização ambiental nos âmbitos regional e nacional (IBAMA, 2007b).

A resolução permite que a destinação seja efetuada em instalações próprias ou mediante contratação de serviços especializados de terceiros, desde que as instalações sejam apropriadas para o processamento de pneus inservíveis e atendam ao disposto na legislação ambiental em vigor, inclusive no que se refere ao licenciamento ambiental. A criação de centrais de recepção de pneus inservíveis para armazenamento temporário e posterior destinação final também é prevista e permitida pela resolução.

Ao mesmo tempo em que atribui a responsabilidade sobre a destinação do pneu inservível à empresa fabricante ou importadora, a resolução reconhece a necessidade do envolvimento de outros atores sociais para que as determinações legais sejam efetivamente praticadas e define que

os distribuidores, os revendedores e os consumidores finais de pneus, em articulação com os fabricantes, importadores e Poder Público, deverão colaborar na adoção de procedimentos, visando implementar a coleta dos pneus inservíveis existentes no País (CONAMA, 1999).

Em 2002, a publicação da Resolução CONAMA 301/2002 alterou ligeiramente a 258/1999, explicitando a validade das disposições não somente para pneumáticos de uso em automóveis, como também para os pneus de bicicletas. Há, ainda, o acréscimo de um artigo (art. 12-A) que estende a aplicação da resolução aos pneus usados, de qualquer natureza, que ingressarem em território nacional por força de decisão judicial (CONAMA, 2002).

## **8.5 Iniciativas de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis**

Desde a publicação da Resolução CONAMA 258/1999, as empresas fabricantes e as importadoras de pneus têm se mobilizado para tentar cumprir os quantitativos de recolhimento de pneus inservíveis previstos na legislação. As indústrias de pneus participantes da ANIP não realizam iniciativas individuais, porquanto implementaram, no âmbito da associação, o Programa de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis em todo o território nacional. Segundo dados da própria ANIP (2007), cerca de R\$ 20 milhões foram investidos no programa entre 1999 e 2004.

Para recolher os pneus, a ANIP vem estabelecendo parcerias com distribuidores e revendedores, além de prefeituras por todo o país. A coleta dos pneus inservíveis é feita pelo serviço de limpeza pública ou por meio da colaboração de borracheiros, sucateiros, reformadores e revendedores, que entregam os pneus em um posto de coleta – denominado Eco ponto – ou diretamente nas empresas de trituração ou picotagem, os chamados Centros de Recepção e Trituração/Picotagem (ANIP, 2007).

A ANIP orienta a instalação do Eco ponto e a logística de funcionamento, e financia o sistema de transporte que leva os pneus dos postos de coleta às empresas de trituração e de destinação final. A associação também custeia o processo de trituração e a própria destinação dos pneus. Atualmente, o programa já conta com a adesão de mais de 80 municípios e com seis empresas de trituração cadastradas, instaladas nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste (ANIP, 2007).

Com o crescimento do Programa, houve a necessidade de criar uma entidade para cuidasse exclusivamente dessas atividades. Assim, em março de 2007 nasceu a Reciclanip, voltada especificamente para cuidar da coleta e da destinação dos pneus (ANIP, 2007).

A BS Colway, com o apoio da ABIP, criou o Programa Rodando Limpo<sup>110</sup> em parceria com a Votorantim, o Governo do Paraná, prefeituras e associações comerciais. Inicialmente denominado Curitiba Rodando Limpo, o programa foi lançado em 2001, com a assinatura de termo de cooperação entre a BS Colway, a Petrobras, a Prefeitura de Curitiba e a Prefeitura de Piraquara (BS COLWAY, 2007).

Sensibilizados pela Prefeitura de Curitiba, os catadores da região passaram a coletar os pneus inservíveis, que são vendidos a BS Colway<sup>111</sup>. Os pneus são picados por máquinas importadas pela BS Colway e transportados para a Unidade Rio Branco da Votorantim Cimentos, no Paraná, onde são utilizados como fonte de energia e como matéria-prima. Implementado a princípio no Paraná<sup>112</sup> e mais tarde em Minas Gerais e nos estados do Nordeste<sup>113</sup>, o programa pretende atingir todo o país (BS COLWAY, 2007).

---

<sup>110</sup> Em 2005, foi criado o Instituto BS Colway Social, uma organização não-governamental, que assumiu a gestão do Programa Rodando Limpo.

<sup>111</sup> Preço pago pela BS Colway por pneu coletado: de automóvel R\$ 0,40; de caminhonete R\$ 0,80 e de caminhão R\$ 2,00. Estes dados constam do panfleto de divulgação do Programa Rodando Limpo, fornecido pela funcionária da BS Colway, durante visita realizada na fábrica da empresa em Curitiba, em novembro de 2006.

<sup>112</sup> Em 2003, o programa foi ampliado através do estabelecimento do “Termo de Cooperação do Mutirão para Erradicar a Dengue no Paraná” entre o Governo do Estado do Paraná, a Petrobras, a Itaipu Binacional; a Federação das Associações Comerciais, Industriais e Agropecuárias do Paraná – que congrega 278 entidades de classe em todo o Paraná; a Associação dos Municípios do Paraná – que reúne os prefeitos dos 399 municípios paranaenses; a Central das Cooperativas de Economia e Crédito Mútuo do Estado do Paraná e a BS Colway (BS COLWAY, 2007).

<sup>113</sup> O Programa Nordeste Rodando Limpo foi lançado pela Cimpor Brasil, por meio de sua unidade de João Pessoa, a Cimepar, contando com o apoio dos Governos da Paraíba e Pernambuco, além da BS Colway. O programa já alcançou também o estado de Alagoas (BS COLWAY, 2007).

## 8.6 Estatísticas Relacionadas à Coleta e à Destinação

O IPT realizou um estudo para a ANIP, em 2004, com o objetivo de identificar o fluxo de pneus usados e a destinação de pneus inservíveis no país. A Figura 12 apresenta a constatação dessa pesquisa<sup>114</sup>.

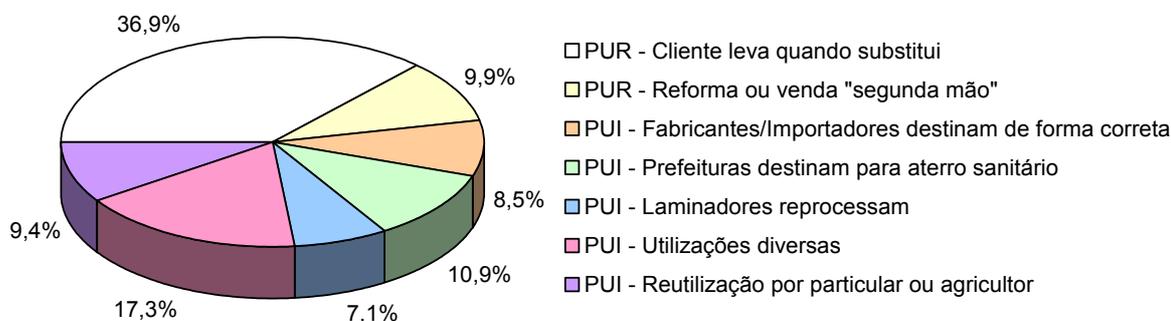


Figura 12: Destinação dos Pneus Usados  
PUR – Pneu Usado Reutilizável; PUI – Pneu Usado Inservível

Com base nesse estudo, a ANIP alega que os quantitativos de coleta previstos na legislação dificilmente poderiam ser cumpridos, haja vista que uma parcela expressiva dos pneus usados não está disponível para recolhimento. Parte dos pneus usados recebe outras aplicações, não reconhecidas pelo IBAMA, que prolongam sua vida, impossibilitando a destinação final. Questiona-se, então, o fato do órgão ambiental não admitir tais aplicações, visto que esses pneus ainda possuem valor de uso para seus proprietários, ou seja, não estão abandonados no meio ambiente causando danos (GOLDENSTEIN *et al.*, 2007).

Os pneus disponíveis totalizam apenas 26,5%, que equivale ao somatório dos pneus destinados de forma ambientalmente correta por fabricantes e importadores (8,5%), daqueles destinados pelas prefeituras para aterro (10,9%) e dos reprocessados por laminadores (7,1%).

Apesar dessa dificuldade, a Reciclanip divulga ter recolhido e destruído 139 milhões ou 700 mil toneladas de pneus, enquanto o Programa Rodando Limpo contabiliza mais de 16 milhões de unidades (ANIP, 2007; BS COLWAY, 2007). Segundo dados do CEMPRE (2007), 150 mil toneladas de pneus foram utilizadas como combustível no país, no período de 1999 a 2004. Esta aplicação significou uma economia de 720 mil toneladas de óleo (CEMPRE, 2007).

<sup>114</sup> Estes dados constam do panfleto de divulgação do Programa de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis, publicado pela ANIP, fornecido pelo funcionário da Michelin, durante reunião realizada no escritório da empresa no Rio de Janeiro, em dezembro de 2006.

Como um resultado para a saúde pública, decorrente da retirada dos pneus dispostos de maneira inadequada, deve-se mencionar a redução, ou quase extinção, dos casos de dengue no Paraná, a partir do Programa Rodando Limpo e das iniciativas associadas realizadas no estado. A BS Colway aponta ainda um resultado social de geração de renda para mais de 6 mil coletadores cadastrados no programa (BS COLWAY, 2007).

Contudo, as metas determinadas pela Resolução CONAMA 258/1999 não têm sido cumpridas pela indústria de pneus e pelas importadoras, o que resultou na autuação dessas empresas pelo IBAMA. Os valores das multas definidas relacionam-se à gravidade do dano ao meio ambiente e à quantidade de pneus que deixaram de ser recolhidos e destinados (IBAMA, 2007). A Tabela 7 apresenta os valores das multas referentes à autuação de junho de 2005.

Tabela 7: Multas Definidas pelo IBAMA pelo Não-cumprimento da Resolução 258/1999  
Fonte: IBAMA (2007)

<b>Empresa</b>	<b>Total não-destinado (Toneladas)</b>	<b>Valor da multa (R\$)</b>
Bridgestone Firestone do Brasil Indústria e Comércio Ltda	71.180,20	4.270.812,00
Goodyear do Brasil Produtos de Borracha Ltda	101.163,21	6.069.792,60
Industrial Levorin S.A	30,20	1.812,00
Maggion Indústria de Pneus e Máquinas Ltda	2.305,99	138.359,40
Pirelli Pneus S.A.	108.480,48	6.508.828,80
Rinaldi S.A Indústria de Pneumáticos	2.197,01	131.820,60
Sociedade Michelin de Participação, Indústria e Comércio Ltda	56.489,01	3.389.340,60
Souza Pinto Indústria e Comércio de Artefatos de Borracha Ltda	110,43	33.129,00

Em contra-partida, GOLDENSTEIN *et al.* (2007) afirmam que os remoldadores têm conseguido atingir a meta estipulada, o que lhes proporciona ganhos de imagem, pois se apresentam ao mercado como empresas comprometidas com o meio ambiente. Todavia, especula-se que algumas remoldadoras estejam utilizando pneus importados para cumprir as quantidades estabelecidas, ao invés de efetuar o recolhimento em território nacional. Isto seria viável porque parte dos pneus importados não tem condições de passar pelo processo de remoldagem e precisa ser adequadamente destinada, acabando por compor os quantitativos destruídos.

A ANIP afirma que a resolução é inexecutável e pleiteia sua reformulação. Em sua defesa, alega que a resolução foi elaborada sem embasamento em um estudo prévio do

quantitativo de passivo existente. Em 2005, quando atuadas, as empresas conseguiram uma liminar que as desobrigou provisoriamente do pagamento das multas referentes ao descumprimento das metas de 2003 e 2004, evitando também novas autuações em 2005 e 2006 (GOLDENSTEIN *et al.*, 2007).

## **IX ESTUDO DE ACV SOBRE PNEUS**

Neste capítulo examina-se um estudo de ACV de pneus. Ao longo do Referencial Teórico, foram apontadas diversas aplicações da ACV, com base em seus fundamentos técnicos e científicos. Agora se busca, por meio da análise de um caso de aplicação, verificar a validade e a relevância do estudo realizado, bem como suas conclusões e contribuições.

Nos próximos tópicos são apresentados e discutidos os principais pontos da ACV conduzida por uma indústria de pneus, a Continental Alemanha, em 1999 (KRÖMER *et al.*, 1999). O estudo, denominado *Life Cycle Assessment of a Car Tire*, contempla todas as etapas do ciclo de vida do pneu e, ainda, as alternativas para destinação do pneu usado.

A ACV foi realizada em conformidade com as normas ISO 14040 vigentes na época. Ao final do estudo, o relatório foi submetido a uma análise crítica, conduzida por especialistas externos de um dos maiores prestadores de serviços técnicos na Alemanha, TÜV Nord.

Os autores procuraram expor os resultados de uma forma que atendesse aos requisitos das normas, ao mesmo tempo em que suprisse a demanda por informação facilmente compreensível, tanto para os propósitos internos quanto para as partes interessadas externas à empresa.

### **9.1 Continental: Definição de Objetivo**

Os objetivos do estudo foram: (1) a apresentação dos fluxos de materiais e energia nos vários estágios do ciclo de vida do pneu; (2) a quantificação e a avaliação das emissões e dos resíduos que representam impactos potenciais sobre o meio ambiente; (3) a identificação do principal impacto ambiental durante o ciclo de vida; (4) o desenvolvimento de uma ferramenta para avaliação das necessidades de recursos e dos impactos ambientais de tipos alternativos de pneus; (5) a quantificação do impacto ambiental do emprego de pneus usados em processos de reciclagem em comparação com os processos equivalentes; e (6) o desenvolvimento de um método padronizado para avaliação de produtos de borracha.

## 9.2 Continental: Definição de Escopo

A unidade funcional selecionada foi a unidade pneu com uma vida média de serviço de 50.000 km ao longo de um período de quatro anos. Sua composição material corresponde a um pneu de verão da Continental modelo 175/70 R13. Os dados utilizados foram obtidos na Continental, fornecidos por fabricantes das matérias-primas, consultados em publicações ou por meio de comunicações pessoais. A cobertura de tempo dos dados engloba o período de 1990 a 1997.

Os estágios do ciclo de vida considerados foram a obtenção e fabricação de matéria-prima; a produção do pneu; o uso do pneu<sup>115</sup> e a reciclagem do pneu usado. Contemplou-se também o transporte<sup>116</sup> de materiais entre essas etapas. Como na Alemanha os pneus usados geralmente são remoldados ou usados em cimenteiras, o estudo contemplou tais alternativas, abordando também a utilização em termoelétricas. A reciclagem da borracha gerada a partir dos pneus usados não foi considerada, já que constitui um uso menos significativo naquele país.

Quanto às fronteiras do sistema, não foram levados em conta a construção e a manutenção de planta, ferramentas, máquinas e veículos de transporte. Também não foram consideradas as despesas de produção dos carros ou de construção das estradas, nem se incluíram as emissões de ruído, a abrasão do pneu durante o transporte de caminhão e as despesas com pessoal, administração, planejamento, pesquisa e desenvolvimento.

Diferentes formas de alocação foram aplicadas nos estágios considerados. Nas etapas de obtenção e fabricação de matéria-prima, e produção do pneu, as alocações foram feitas com base na distribuição de massa, para os dados obtidos na própria empresa. No entanto, também foram empregados dados de outras fontes, sobre os quais não se obteve informação a respeito da alocação.

---

<sup>115</sup> Na avaliação do uso, foi considerado um tamanho padrão de veículo dirigido de maneira média, na milhagem média, em estradas correspondentes ao padrão europeu. Supõe-se, ainda, que o pneu esteja exposto às condições climáticas prevalentes na Europa Central.

<sup>116</sup> O transporte dos pneus refere-se à movimentação dos materiais de um local para outro. Todas as operações de transporte são avaliadas em conjunto, à exceção do transporte do pneu usado, que é considerado na análise dos processos de reciclagem.

### 9.3 Continental: Análise de Inventário

As entradas consideradas no inventário incluem os recursos, o ar e a água necessários para os processos. Já as saídas contemplam as emissões atmosféricas, as emissões para a água, os resíduos e a abrasão do pneu.

#### 9.3.1 Entradas

Segundo o estudo, aproximadamente 88% dos recursos consumidos no ciclo de vida do pneu correspondem à etapa de uso, como pode ser observado na Figura 13, que apresenta o consumo de recursos (em kg) por pneu em cada estágio.

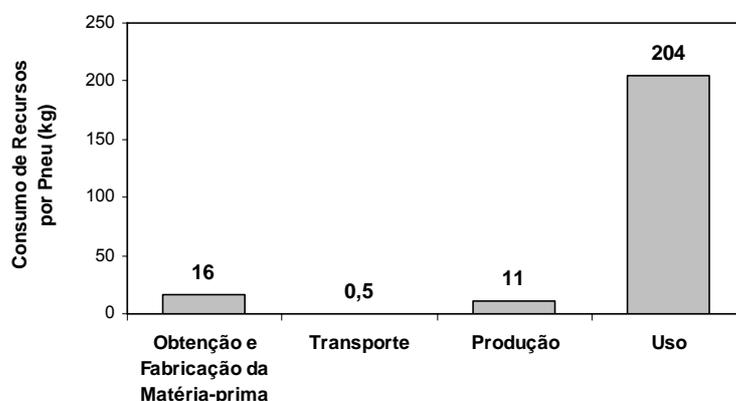


Figura 13: Consumo de Recursos por Pneu (kg)  
Fonte: elaborado a partir de KRÖMER *et al.* (1999, pp. 8)

Sílica, borracha sintética, negro de fumo e aço constituem a maior parte dos recursos consumidos na fase de obtenção e fabricação de matéria-prima. O petróleo, usado como material e fonte de energia, representa aproximadamente 24% do consumo total de recursos. O gás natural corresponde à cerca de 18% da energia requerida nessa fase.

Na produção do pneu são empregados derivados de petróleo, gás natural e carvão como fontes de energia. Estes materiais representam em torno de 29% dos recursos consumidos na etapa. Já no transporte, os recursos gastos são irrisórios.

A necessidade de ar está relacionada principalmente ao oxigênio requerido para a queima de combustíveis fósseis. Portanto, a fase de uso do pneu contabiliza 96,5% do consumo total de ar em todo o ciclo de vida. A Figura 14 apresenta o consumo de ar (em kg) por pneu em cada etapa.

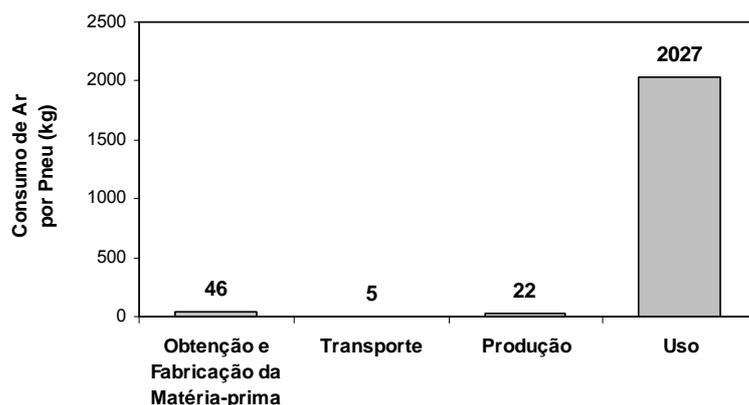


Figura 14: Consumo de Ar por Pneu (kg)  
 Fonte: elaborado a partir de KRÖMER *et al.* (1999, pp. 9)

O consumo de água distribui-se entre refrigeração, processo e serviço. A água de refrigeração geralmente é alimentada em circuitos e, portanto, pode ser usada por um longo período de tempo. Por isso, mesmo representando cerca de 68% do quantitativo de água consumido, representa um baixo impacto. A água de processo, utilizada diretamente nos processos de transformação e descartada ao final como efluente, corresponde à aproximadamente 31% do consumo. Já a água de serviço consiste da porção restante, que não pode ser classificada como refrigeração, nem como processo.

A água é utilizada em todas as etapas do ciclo de vida do pneu, mas tem sua participação mais expressiva na obtenção e fabricação de matéria-prima. Nesta etapa, consome-se quase 90% do quantitativo total de água, como pode ser constatado na Figura 15, que aponta o consumo de água (em kg) por pneu em cada estágio.

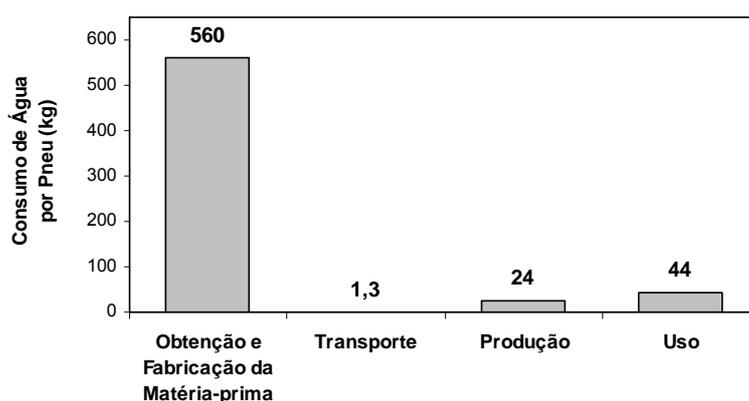


Figura 15: Consumo de Água por Pneu (kg)  
 Fonte: elaborado a partir de KRÖMER *et al.* (1999, pp. 9)

No entanto, este consumo não se distribui igualmente por todas as matérias-primas, pois os processos requerem água em diferentes quantidades. Assim, a produção de borracha sintética (SBR) utiliza 63% da água consumida nessa fase, o rayon<sup>117</sup> 18%, a borracha natural 3,1%, o aço 5,6% e os demais produtos químicos 6,5%.

A Figura 16 sintetiza as constatações do estudo sobre a contribuição (%) de cada estágio do ciclo de vida para o consumo das entradas consideradas: recursos, ar e água.

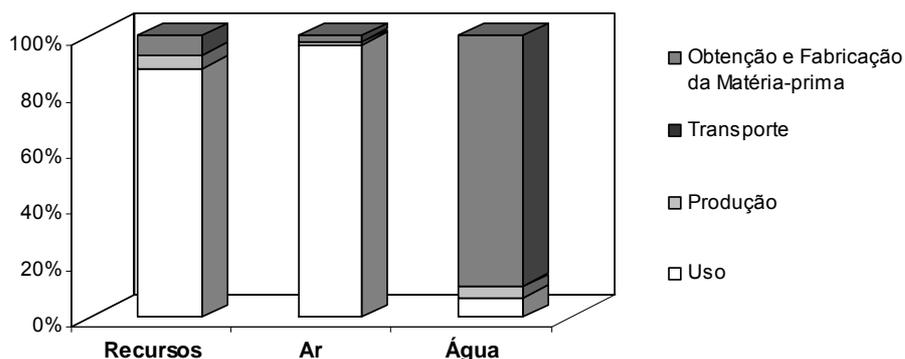


Figura 16: Contribuição dos Estágios do Ciclo de Vida no Consumo das Entradas (%)  
 Fonte: elaborado a partir de (KRÖMER *et al.*, 1999)

### 9.3.2 Saídas

As emissões atmosféricas são formadas em sua maior parte por dióxido de carbono (97%). O restante consiste principalmente de monóxido de carbono (1,2%) e vapor de água (1,3%), havendo também outros componentes em mínima fração, como metano, óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre, amônia e poeira.

A fase do uso contabiliza o maior impacto na atmosfera de todo o ciclo de vida (95,4%), devido quase que totalmente à emissão de dióxido de carbono quando o carro está em operação. A formação de poeira também está relacionada à fase de uso, pois consiste de partículas produzidas pela abrasão do pneu. A Figura 17 aponta o quantitativo de emissões atmosféricas (em kg) por pneu em cada fase do ciclo de vida.

<sup>117</sup> Rayon ou raiom é um polímero produzido a partir da celulose.

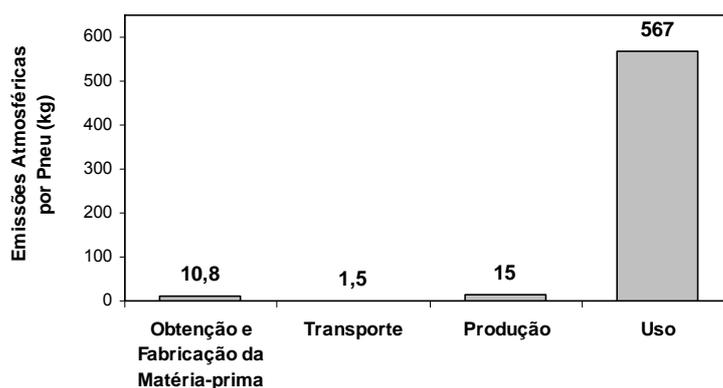


Figura 17: Emissões Atmosféricas por Pneu (kg)  
 Fonte: elaborado a partir de (KRÖMER *et al.*, 1999, pp. 10)

O impacto negativo sobre o efluente ocorre sobretudo na etapa de obtenção e fabricação de matéria-prima, que corresponde à aproximadamente 94,4% do total desse impacto durante o ciclo de vida. Este efeito se deve à geração de cloreto (58,2%), sulfato (24,6%) e íon sódio (14,8%), provenientes principalmente da manufatura de sílica, rayon e resinas sintéticas. A Figura 18 apresenta o impacto negativo sobre o efluente nos estágios do ciclo de vida.

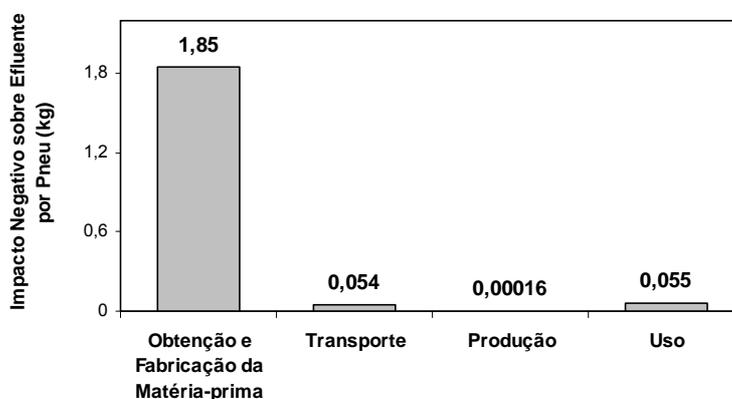


Figura 18: Impacto Negativo sobre Efluente por Pneu (kg)  
 Fonte: elaborado a partir de (KRÖMER *et al.*, 1999, pp. 11)

Em relação aos resíduos, o estudo distingue o resíduo inerte (denominado *overburden*) daquele que sofre modificação química (chamado *waste*). Os resíduos inertes são gerados principalmente na fase de uso do pneu, visto que estão relacionados à extração do óleo cru para uso como combustível e à provisão da energia elétrica para o refino de petróleo.

A contribuição expressiva dessa etapa na quantidade total de resíduos gerada explica-se pelo consumo de gasolina aproximado de 186 kg por pneu em 50.000 km percorridos. Já nas fases de obtenção e fabricação de matéria-prima, e produção do pneu, tais resíduos estão associados à mineração de carvão para geração de energia.

O resíduo quimicamente transformado origina-se sobretudo dos processos de obtenção e fabricação de matéria-prima (69,4%) e da produção do pneu (26%). A Figura 19 mostra as quantidades de cada tipo de resíduo gerado nas etapas do ciclo de vida.

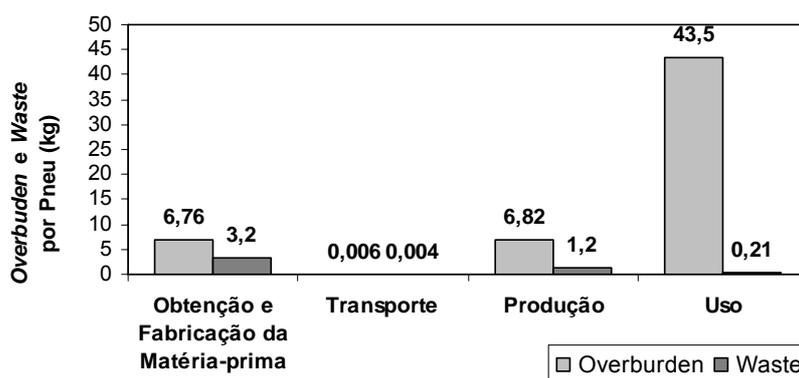


Figura 19: Resíduos (*Overburden* e *Waste*) por Pneu (kg)  
 Fonte: elaborado a partir de (KRÖMER *et al.*, 1999, pp. 11)

Em parte, a abrasão do pneu foi considerada junto às emissões atmosféricas, mas também há uma contribuição sobre solo e águas. O desgaste do pneu durante sua vida útil – no caso do pneu com uma vida média de serviço de 50.000 km ao longo de um período de quatro anos – gira em torno de 1kg do pneu, o que equivale a 20mg a cada quilômetro rodado.

O material liberado pela abrasão espalha-se primeiramente pela pista e depois é carregado pela chuva. Então, as substâncias solúveis em água são eluídas e ocorre a decomposição química e biológica. Os óxidos de zinco, cádmio e chumbo, presentes em sua composição, são absorvidos pelo solo.

Os autores estimam que 46.000 toneladas de abrasão sejam lançadas nos 228.000 km de estradas interurbanas alemãs a cada ano, ocasionando um impacto negativo cumulativo no solo.

#### 9.4 Continental: Avaliação de Impacto

Na etapa de inventário, uma lista de entradas e saídas foi preparada para cada fase do ciclo de vida. Contudo, tal lista não consta do relatório disponibilizado pela empresa.

Para possibilitar a compilação e a comparação dos resultados em categorias de impacto, foram utilizados fatores de equivalência<sup>118</sup>. As categorias selecionadas foram: energia, aquecimento global, acidificação e nutrificação (ou eutrofização). Dessa forma, os autores procuraram abranger um critério global (potencial de aquecimento global), um regional (potencial de acidificação) e um local (potencial de nutrificação). Além destas, foram tratadas também as possíveis contribuições de ecotoxicidade e toxicidade humana.

#### 9.4.1 *Entrada Cumulativa de Energia*

O estágio de uso responde por maior parte do consumo de energia, aproximadamente 95,8%, como pode ser observado na Figura 20, que apresenta a entrada cumulativa de energia (em MJ) por pneu nos estágios do ciclo de vida.

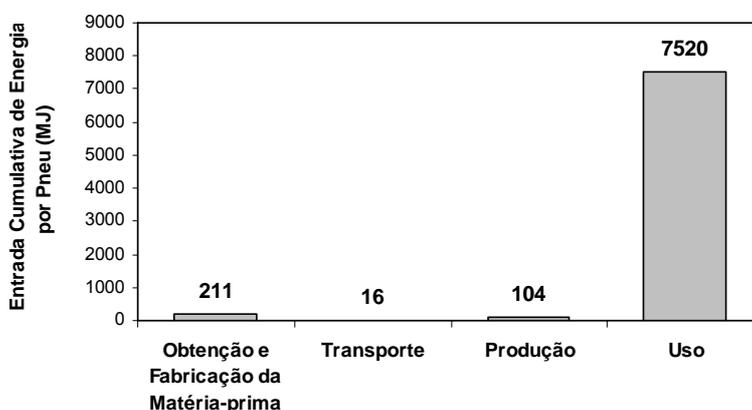


Figura 20: Entrada Cumulativa de Energia por Pneu (MJ)  
 Fonte: elaborado a partir de (KRÖMER *et al.*, 1999, pp. 14)

#### 9.4.2 *Potencial de Aquecimento Global (GWP)*

O potencial de aquecimento global é expresso em termos de equivalentes de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), com referência ao horizonte de tempo de 100 anos. As substâncias consideradas foram CO<sub>2</sub>, monóxido de carbono, metano e óxido nitroso.

O efeito do pneu sobre o aquecimento global é determinado quase por completo pelo CO<sub>2</sub>, que constitui a emissão atmosférica predominante em todas as etapas. A maior quantidade dessa substância é emitida durante a etapa de uso, que responde por 96,3% do GWP, como se pode observar na Figura 21.

<sup>118</sup> Em anexo ao relatório, apresentam-se os fatores de equivalência usados (KRÖMER *et al.*, 1999, pp.35).

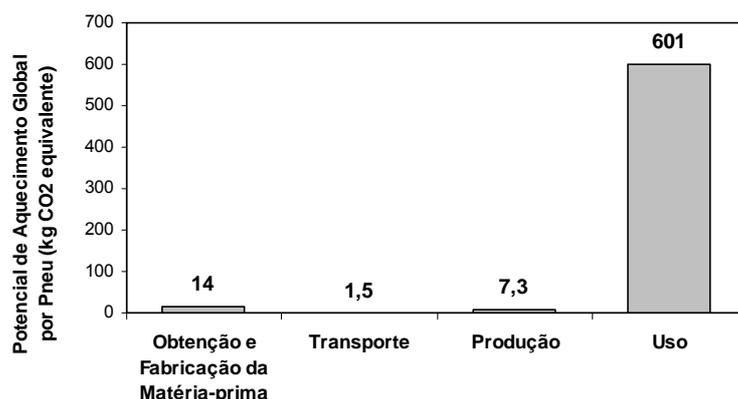


Figura 21: Potencial de Aquecimento Global por Pneu (kg CO<sub>2</sub> equivalente)  
 Fonte: elaborado a partir de (KRÖMER *et al.*, 1999, pp. 15)

#### 9.4.3 Potencial de Acidificação (AP)

O potencial de acidificação é expresso em termos de equivalentes de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>). A maior contribuição para este efeito se dá no estágio de uso (85,1%), devido à emissão de SO<sub>2</sub> (32,5%); amônia (30,9%) e óxidos de nitrogênio (20,8%). A Figura 22 apresenta o AP de cada estágio do ciclo de vida.

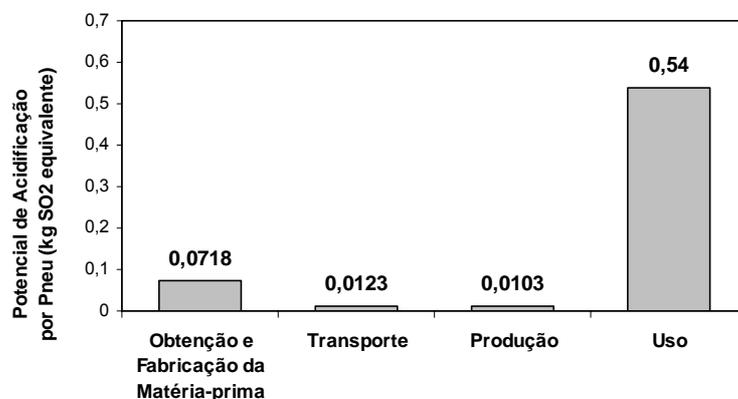


Figura 22: Potencial de Acidificação por Pneu (kg SO<sub>2</sub> equivalente)  
 Fonte: elaborado a partir de (KRÖMER *et al.*, 1999, pp. 15)

#### 9.4.4 Potencial de Nutrição (NP)

O potencial de nutrição refere-se a equivalentes de fosfato (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>). Contudo, a quantidade de fosfato ou compostos de fosfato gerada no ciclo de vida do pneu é mínima. O NP associa-se quase completamente à liberação de óxidos de nitrogênio e amônia.

A etapa de uso é responsável por 89,8% do NP, em virtude principalmente das emissões de amônia (51,4%) e óxidos de nitrogênio (36,6%).

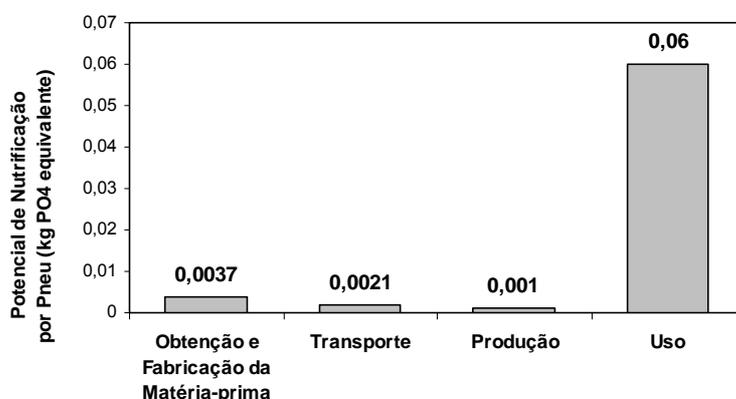


Figura 23: Potencial de Nutrição por Pneu (kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> equivalente)  
 Fonte: elaborado a partir de (KRÖMER *et al.*, 1999, pp. 16)

#### 9.4.5 Ecotoxicidade e Toxicidade Humana

Devido à carência de um método de consenso internacional para avaliação dos impactos de toxicidade, optou-se por não realizar uma quantificação, mas apenas uma análise qualitativa dos potenciais impactos<sup>119</sup>.

Na obtenção e fabricação de matéria-prima, cloretos e íons zinco são lançados na água. Estas espécies podem contribuir para o potencial de toxicidade ecológica e humana do efluente. Nas etapas de transporte, produção e uso, as emissões atmosféricas de SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> podem ampliar os efeitos de toxicidade humana, bem como as emissões de metais pesados no ar e no efluente podem aumentar a ecotoxicidade. A abrasão do pneu também pode contribuir para ambos os tipos de toxicidade.

#### 9.5 Continental: Comparação de Variações do Pneu

Quatro tipos de pneu foram comparados, a fim de se verificar a influência da modificação da composição da matéria-prima sobre os impactos ambientais no ciclo de vida do pneu. Sendo assim, analisou-se a substituição de negro de fumo por sílica e de rayon por poliéster, formando as variedades: negro de fumo/rayon, sílica/rayon, negro de fumo/poliéster e sílica/poliéster.

<sup>119</sup> Tal dificuldade foi anteriormente abordada, no item 4.4.3 – Caracterização.

### **9.5.1 Negro de Fumo x Sílica**

A utilização da sílica ao invés do negro de fumo ocasiona uma redução na resistência ao rolamento, o que leva a uma diminuição do consumo de energia do carro e a um decréscimo no consumo de petróleo enquanto recurso. Chega-se a reduzir em 8,7% o consumo de recursos devido à economia de petróleo. Com isso, a quantidade de poluentes diminui e, por conseguinte, há atenuação de GWP, AP e NP, bem como da entrada de energia em todo o ciclo de vida.

Entretanto, a produção de sílica acarreta um acréscimo no impacto negativo sobre a água, visto que há um aumento na liberação de sulfatos e de íons sódio. Cresce também a quantidade de resíduos gerada.

### **9.5.2 Poliéster x rayon**

A substituição do rayon pelo poliéster leva a um aumento no GWP, por causa do aumento nas emissões de CO<sub>2</sub>. Por outro lado, o AP diminui (1,6%) devido às baixas emissões das substâncias relacionadas a esse efeito durante a produção de poliéster, quando comparada à manufatura do rayon. Já o NP não é influenciado pela troca entre esses materiais.

O consumo de água de processo declina com a utilização de poliéster, pois a produção de celulose para a fabricação de rayon é caracterizada pelo elevado consumo de água e por uma significativa liberação de íons, o que ocasiona um impacto negativo sobre o efluente. Com a substituição por poliéster, a liberação de cloretos e íons sódio diminui, o que proporciona uma redução na ecotoxicidade e toxicidade humana.

## **9.6 Continental: Alternativas para o Pneu Usado**

Os três processos de aproveitamento de pneus usados avaliados no estudo da Continental foram a produção de cimento, a geração de energia e a remoldagem. Tais alternativas foram comparadas com os processos originais correspondentes, isto é, aqueles que representam o mesmo benefício, mas utilizam as matérias-primas ou fontes de energia convencionais.

Dessa forma, a utilização em cimenteiras foi comparada com a produção de cimento empregando carvão como combustível; o uso na geração de energia com as usinas que utilizam combustíveis convencionais; e a remoldagem com a produção de um novo pneu.

### **9.6.1 Produção de Cimento**

Os fluxos de materiais e energia relacionados ao emprego de pneus usados em cimenteiras foram comparados com os fluxos da produção de cimento tradicional, que utiliza carvão como combustível. Como as especificações técnicas apontam um limite de 25% de pneus substituindo o combustível, esta proporção foi assumida nos cálculos.

O uso de pneus acarreta um decréscimo na quantidade de resíduos gerados (14%), porquanto reduz a quantidade de carvão que precisa ser minerada para essa atividade. O emprego dos pneus também ocasiona a diminuição de emissões atmosféricas (1,4%), GWP (1,9%), AP (1,9%) e NP (1,7%).

Como o pneu apresenta menos carbono, enxofre e nitrogênio do que o carvão, a emissão de poluentes (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>) decresce. A quantidade de matérias-primas que precisa ser utilizada também se reduz, em virtude da poder calorífico superior do pneu em relação ao carvão. Por conseguinte, há uma diminuição na quantidade de cinzas geradas durante a combustão.

Contudo, nenhum parâmetro de entradas ou saídas é afetado de modo significativo pelo uso de pneus em substituição parcial ao carvão. Sendo assim, o estudo concluiu que o efeito ambiental do uso de pneus em cimenteiras pode ser considerado neutro.

### **9.6.2 Geração de Energia**

O estudo indica pontos positivos e negativos da queima de pneus ao invés de combustíveis fósseis, em usinas de geração de energia<sup>120</sup>. Por um lado, as usinas que utilizam pneus gastam uma menor quantidade de recursos (45%), também em virtude do maior poder calorífico do pneu. Com isso, menos CO<sub>2</sub> é liberado (17%) e, portanto, menor GWP (20%).

Por outro lado, as usinas que utilizam pneus consomem maior quantidade de água e geram mais resíduos. Além disso, a eficiência energética dessas plantas atinge apenas 25-30%; ao passo que a eficiência de usinas convencionais é muito maior.

### **9.6.3 Remoldagem**

Segundo os autores, a comparação de um pneu remoldado com um novo pneu se depara com alguns problemas metodológicos, uma vez que os dois produtos não são

---

<sup>120</sup> Na Alemanha, onde o estudo foi realizado, as usinas de geração de energia utilizam carvão, petróleo e gás natural.

exatamente equivalentes. Apesar do pneu remoldado alcançar um elevado nível técnico, este produto não apresenta as mesmas características do pneu novo em termos de resistência ao rolamento (pelo menos 3% superior ao pneu novo), segurança e durabilidade.

Os autores realizaram a avaliação dos produtos na seguinte seqüência: primeiramente, compararam a produção do pneu novo com o processo de remoldagem do pneu usado; depois, o uso do pneu novo *versus* o uso do pneu remoldado; e, finalmente, compilaram as duas análises anteriores.

Em termos de entradas, a produção do pneu novo apresenta taxas de consumo bastante superiores ao processo de remoldagem. A energia necessária para fabricação de um pneu novo equivale à cerca de 2,3 vezes a quantidade requerida para a remoldagem de um pneu usado. Além disso, para produzir um pneu novo se consome cerca de 25 vezes a quantidade de água, quase o dobro de ar e 50% a mais de recursos do que para remoldar.

Na produção do pneu novo, as saídas (emissões atmosféricas, emissões para a água e resíduos) são geradas em quantidades também notadamente maiores. Por conseguinte, a manufatura de um novo pneu causa impactos ambientais superiores à remoldagem de um pneu usado: GWP e NP quase duplicam, e AP é também superior.

Há uma explicação simples para tão significativas diferenças: na avaliação, o pneu usado representa uma matéria-prima disponível, isto é, os gastos necessários para a sua produção não são levados em conta. Desse modo, a única outra matéria-prima considerada na remoldagem é a borracha necessária para repor a camada de borracha desgastada.

Na fase de uso, uma importante propriedade em termos de influência sobre o desempenho dos pneus é a resistência ao rolamento. Para realizar a avaliação, dois cenários foram considerados: um pneu remoldado com resistência ao rolamento 3% superior ao pneu novo e um pneu remoldado com resistência ao rolamento 10% superior. A primeira situação corresponde à melhor tecnologia de remoldagem disponível, enquanto a segunda equivale ao valor médio.

Segundo as constatações do estudo, o percentual de acréscimo na resistência ao rolamento se reflete no impacto ambiental. Assim, o pneu remoldado que apresenta resistência ao rolamento 3% superior ao pneu novo acarreta um impacto ambiental total também 3% superior, e da mesma forma para o segundo cenário.

O aumento da resistência ao rolamento acarreta um maior consumo de combustível e, com isso, as emissões de gases poluentes (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>) e metano são também acrescidas. Com isso, há um aumento de GWP e NP.

O aumento dos impactos ambientais é ainda mais pronunciado quando se assume que o pneu remoldado apresenta resistência ao rolamento 10% superior ao pneu novo. Neste caso, o menor gasto de recursos no processo de remoldagem é anulado pelo acréscimo no consumo de combustível na fase de uso.

## **9.7 Continental: Interpretação**

Em todas as categorias avaliadas, a etapa de uso apresentou a maior contribuição<sup>121</sup> para os impactos ambientais em todo o ciclo de vida do pneu. A próxima fase em importância de impactos foi a obtenção e fabricação de matéria-prima, com influência consideravelmente inferior, seguida pelo transporte. Portanto, a produção do pneu corresponde ao estágio de menor impacto.

Como exposto acima, as variações de materiais podem levar a uma melhoria do desempenho ambiental durante o uso. A sílica, por exemplo, ocasiona um decréscimo na resistência ao rolamento e, por conseguinte, reduz a demanda de energia e as contribuições sobre os impactos potenciais. Já a comparação entre poliéster e rayon aponta para a vantagem do uso do poliéster, em função da significativa redução do consumo de água, assim como das emissões para a água.

Quanto à comparação entre o pneu novo e o pneu remoldado, concluiu-se que a soma dos efeitos ambientais de um pneu remoldado de alta qualidade, que apresente um aumento moderado na resistência ao rolamento, pode ser considerada praticamente neutra. Em contra-partida, um pneu remoldado de qualidade média gera um impacto ambiental superior à produção de um novo pneu.

Os autores optaram por não realizar uma comparação das alternativas para os pneus usados, porquanto afirmam que não há critérios isentos de ambigüidades que possibilitem tal comparação.

## **9.8 Continental: Considerações sobre o Estudo**

O estudo realizado pela Continental demonstra a potencialidade da ACV para a tomada de decisões sobre produtos. Com base nas conclusões deste estudo, a indústria pode otimizar seus investimentos, selecionando as iniciativas capazes de ocasionar melhorias significativas no sistema de produto.

---

<sup>121</sup> Segundo os autores, ainda que, por erros no estudo, a contribuição da etapa de uso fosse, na verdade, metade do constatado e, ao mesmo tempo, a contribuição da obtenção e fabricação de matéria-prima fosse o dobro, isso não significaria uma mudança na topografia dos impactos ambientais, pois o estágio de uso continuaria sendo o principal responsável pelos impactos.

Considerando que o uso do pneu corresponde ao estágio de maior impacto em todo o ciclo de vida, pode-se concluir que o maior potencial para diminuição dos impactos ambientais reside justamente nessa etapa. Portanto, ao selecionar ou desenvolver matérias-primas para o pneu, não é suficiente analisar os impactos ambientais decorrentes da obtenção e fabricação do material substituinte. De fato, deve-se estar atento ao efeito da troca da matéria-prima sobre a fase de uso, principalmente, no que diz respeito ao consumo de combustíveis. Do mesmo modo, ao se propor alterações no processo produtivo é necessário considerar o efeito sobre o produto final.

Ao abordar o aproveitamento do pneu usado, os autores optaram por comparar cada alternativa com o processo convencional equivalente. Contudo, em todas essas análises, o pneu usado foi considerado uma matéria-prima disponível e, portanto, não foram considerados os aspectos e impactos ambientais relacionados à produção e uso do pneu.

Com base nas considerações sobre os pneus remoldados feitas no estudo da Continental, pode-se chegar a uma interessante conclusão: o aproveitamento de um material usado não representa necessariamente a melhor alternativa do ponto de vista ambiental. Na verdade, determinadas formas de reciclagem podem ser desvantajosas, o que reforça a importância da utilização de ferramentas capazes de avaliar as alternativas, como a ACV.

## TERCEIRA PARTE: PESQUISA APLICADA

Enquanto na Primeira e na Segunda Parte da dissertação são apresentadas informações e considerações, frutos da reflexão sobre uma pesquisa documental, nesta Terceira Parte, a dissertação se aproxima das empresas por meio de uma pesquisa aplicada. Nesta parte do trabalho, procuram-se alcançar outros dois objetivos da dissertação: verificar a difusão do enfoque de ciclo de vida e propor um modelo introdutório a ACV.

No Capítulo X – Pesquisa de Campo, a estrutura e a seqüência de passos, que nortearam a condução da investigação, são apresentadas. Delineia-se, portanto, a metodologia da pesquisa. As alterações incorridas na pesquisa, com relação aos propósitos inicialmente definidos para a dissertação, são também expostas.

Em seguida, descrevem-se as experiências do contato com as empresas, nas visitas e em uma reunião, que contribuíram para ampliação do conhecimento sobre o setor e foram decisivas para a mudança do escopo da pesquisa. Enfim, apresenta-se o questionário elaborado e aplicado para verificação da divulgação dos conceitos de ACV entre os produtores e remoldadores de pneus. Os resultados dessa investigação são analisados e comparados.

No Capítulo XI – Modelo Proposto, propõe-se um modelo introdutório ao enfoque do ciclo de vida, onde se incluem recomendações para o levantamento dos processos; propostas de inventário simplificado e abordagens para extensão do enfoque de ciclo de vida ao longo da cadeia produtiva. Além disso, são apresentadas algumas considerações sobre as possibilidades de aderência entre o enfoque de ciclo de vida e as ferramentas de gestão.

## **X PESQUISA DE CAMPO**

Neste capítulo, a pesquisa e sua trajetória são apresentadas. Em seguida, descreve-se o contato com as empresas, bem como suas contribuições para a investigação. Finalmente, são apresentadas, analisadas e comparadas as respostas obtidas para o questionário aplicado.

Dada a dinâmica característica desse tipo de investigação, algumas modificações se mostraram necessárias conforme a pesquisa foi sendo realizada. Portanto, tais alterações são também expostas e justificadas.

### **10.1 Apresentação da Pesquisa**

Realizou-se uma pesquisa descritiva, pois se procurou delinear as características do sistema em investigação. Para tanto, a primeira etapa do trabalho constituiu-se de uma pesquisa bibliográfica e documental em diversas fontes de informação, tais como livros, normas, dissertações e teses, artigos técnicos e trabalhos científicos, além de páginas na Internet. A partir da análise crítica desse material, a Primeira e a Segunda Parte da dissertação foram construídas, acrescidas de constatações e análises pessoais.

Quanto à abordagem do problema, foi desenvolvida uma pesquisa qualitativa<sup>122</sup>, visto que as informações coletadas não puderam ser traduzidas em números. Os processos e seus significados foram analisados, apropriando o ambiente como fonte direta dos dados.

### **10.2 Trajetória da Pesquisa**

Para delinear a estrutura da pesquisa, a primeira iniciativa foi entrar em contato com um fabricante de pneus e uma empresa remoldadora. Assim, comunicação foi estabelecida com Michelin e BS Colway. A partir do contato com a BS Colway, foi possível agendar uma visita à sua unidade produtiva. Com a Michelin, conseguiu-se uma reunião, que aconteceu na sede administrativa da Michelin Brasil / América do Sul.

---

<sup>122</sup> VAN MAANEN (*apud* EASTERBY-SMITH *et al.*, 1999, pp.71) define métodos qualitativos como “uma série de técnicas interpretativas que procuram descrever, decodificar, traduzir e, de alguma forma, chegar a um acordo com o significado, não a frequência, de certos fenômenos que ocorrem de forma mais ou menos natural no mundo social”.

Contato também foi feito com duas empresas reformadoras de pequeno porte: a Crystone e a Itaipava. A primeira realiza exclusivamente o processo de remoldagem, enquanto a segunda atua principalmente na recauchutagem de pneus para ônibus e caminhões. Também foi possível visitar as unidades produtivas das duas empresas.

O objetivo inicial da dissertação consistia na realização de uma ACV do pneu produzido no Brasil, incluindo o processo de remoldagem. Sendo assim, a intenção desse contato inicial com as empresas era a investigação da viabilidade do objetivo definido e o levantamento de informações que expandissem o conhecimento sobre o setor de pneus no Brasil.

No entanto, o posicionamento das empresas contatadas apontou a necessidade de um redirecionamento da pesquisa, já que o objetivo pretendido não poderia ser alcançado. Devido a suas estratégias de negócios, tanto a BS Colway como a Michelin estavam impossibilitadas de disponibilizar dados quantitativos sobre seus processos, o que inviabilizou a realização de uma ACV<sup>123</sup>.

Apesar do acesso às informações ter sido facilitado na Crystone e na Itaipava, alguns fatores fizeram com que a condução de uma ACV nessas empresas fosse descartada. Primeiramente, a Crystone, por ser uma empresa de pequeno porte, com baixo nível de organização e produção em pequena escala, não foi considerada representativa para avaliação do segmento de remoldadores, visto que suas condições se diferenciam demasiadamente da principal empresa, a BS Colway.

A discrepância entre as duas empresas começa pela capacidade produtiva, pois a Crystone é capaz de reformar até oito mil pneus por mês, enquanto a BS Colway dispõe de uma capacidade instalada suficiente para produzir 200 mil pneus no mesmo período<sup>124</sup>.

---

<sup>123</sup> Almeida (2002) defrontou-se com a mesma dificuldade durante a realização da pesquisa para sua Dissertação de Mestrado. O autor afirma que “a análise do ciclo de vida do pneu automotivo é uma tarefa bastante complexa. Em parte, devido ao grande número de materiais e processos envolvidos; mas também pelo fato de haver vários tipos de pneus com composições de matérias-primas diferentes e muitos segredos nas composições e no desempenho do processo de fabricação, justificados pela competitividade do setor” (ALMEIDA, 2002)

Dessa forma, o pesquisador optou por realizar simplificações, adotando uma abordagem qualitativa do ciclo de vida do pneu automotivo, justificando que “a decisão pela realização de um estudo qualitativo foi, principalmente, em razão das dificuldades previstas para realização do levantamento de informações de processo e produto (fase do inventário) junto às unidades produtivas relacionadas ao ciclo de vida do pneu automotivo” (ALMEIDA, 2002).

O estudo de Almeida (2002) não foi analisado nesta dissertação por causa de sua abordagem qualitativa e, portanto, mais sujeita a julgamentos de valor. Além disso, foram utilizados dados de diversas fontes, cujas formas de obtenção e suposições admitidas não são apresentadas. Também não há referência à cobertura temporal e geográfica dos dados. O estudo não aborda um produto específico, contemplando valores médios.

<sup>124</sup> Informações obtidas durante as visitas às empresas.

A Itaipava é um pouco maior e mais estruturada do que a Crystone, dispendo de capacidade para reformar cerca de 20 mil pneus por mês. Porém, a empresa não tem realizado atividades de remoldagem, funcionando apenas a recauchutagem, que não está incluída no escopo da pesquisa, já que somente os pneus de carga são submetidos a esse processo.

Diante desse quadro, cogitou-se a condução da ACV a partir de bancos de dados. Entretanto, constatou-se que ainda não há um banco de dados com informações de inventário de ciclo de vida sobre o setor brasileiro de pneus. Como a utilização de dados de outros países agregaria muitas incertezas à análise<sup>125</sup>, rejeitou-se a possibilidade de efetuar uma ACV com dados estrangeiros, que não retratariam a condição brasileira.

Sendo assim, decidiu-se realizar uma pesquisa de campo voltada para a verificação da difusão dos conceitos e ferramentas de ciclo de vida no setor brasileiro de pneus. Para tanto, um questionário foi elaborado e enviado para ANIP e ABIP.

Partiu-se também para a elaboração de um modelo para introdução do enfoque de ciclo de vida nas organizações. Considerando as limitações da ACV apresentadas na dissertação, percebeu-se uma necessidade de desenvolvimento de uma metodologia mais simplificada. Portanto, o modelo proposto oferece uma alternativa para inserção dos conceitos de ciclo de vida, sem representar grandes esforços e dispêndio de recursos.

Na forma de um fluxograma, a Figura 24 resume a seqüência de passos que compõem a trajetória de desenvolvimento da pesquisa aplicada.

---

<sup>125</sup> Devido, por exemplo, às diferenças na composição do pneu produzido na Europa e no Brasil (tropicalização) e à matriz energética distinta. A tropicalização do pneu é explicada no item 10.3.3 - Reunião na Michelin.

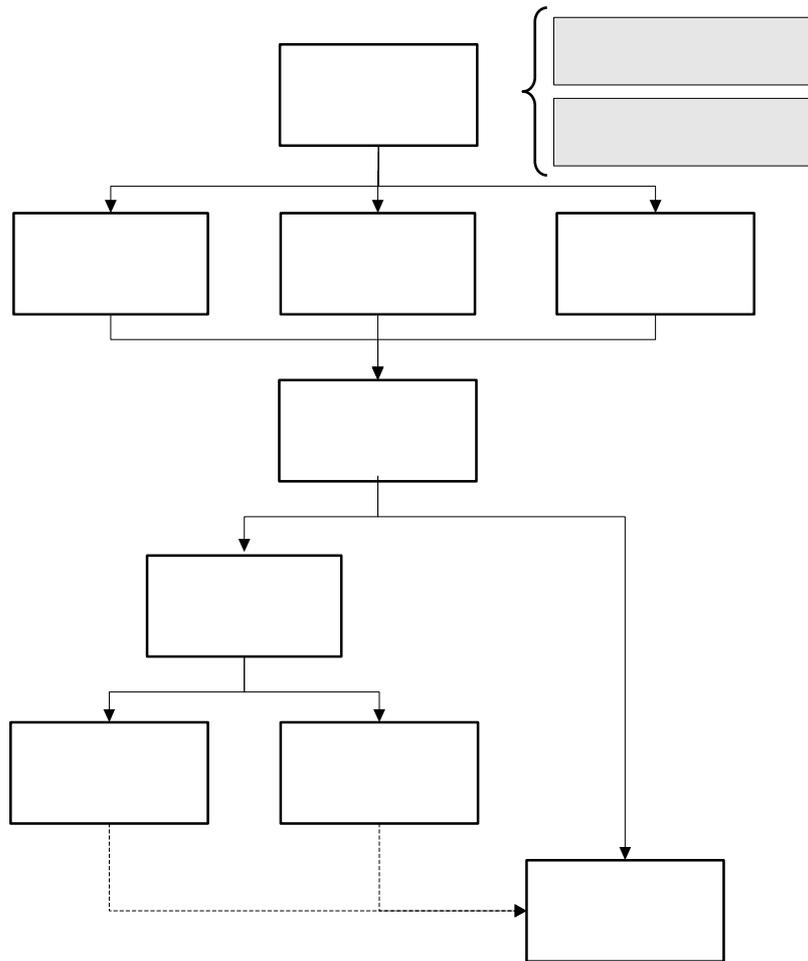


Figura 24: Metodologia da Pesquisa

### 10.3 Contato com as Empresas

Além de ter representado a mudança no objetivo inicial da pesquisa, o contato (visitas e reunião) com as empresas enriqueceu bastante o trabalho. As visitas às reformadoras ampliaram o conhecimento sobre os processos e possibilitaram a observação da estrutura de tais empresas. As conversas com os funcionários, inclusive na Michelin, acrescentaram à pesquisa inúmeras informações, que serviram para direcionar a pesquisa de campo, auxiliando também na composição do modelo. Os documentos obtidos também forneceram dados relevantes para o trabalho.

Nos tópicos a seguir, expõem-se mais detalhadamente as constatações e as observações provenientes do contato com cada empresa.

Michelin  
Entrevista com  
de meio amb

### 10.3.1 Visita a BS Colway

Em novembro de 2006, foi realizada a visita a BS Colway, em sua unidade produtiva localizada no município de Piraquara, Região Metropolitana de Curitiba (Paraná). Como a visita foi realizada em conjunto com um grupo de universitários<sup>126</sup> e conduzida por uma funcionária da área de comunicação, não se teve acesso ao pessoal técnico ou a gestores da empresa.

Primeiramente, assistiu-se a uma palestra e a um vídeo sobre a empresa. Em seguida, foram visitadas duas iniciativas de responsabilidade sócio-ambiental da BS Colway. A funcionária conduziu o grupo a uma área preservada ao lado da fábrica, mantida pela empresa, que abriga uma grande diversidade de espécies animais e vegetais. Em seguida, o grupo conheceu a Vila da Cidadania<sup>127</sup>. Finalmente, chegou-se a fábrica, onde todas as etapas do processo produtivo foram acompanhadas. Apenas ao final da visita conseguiu-se uma conversa à parte com a funcionária, que disponibilizou, então, informações adicionais e materiais sobre a empresa.

Quando questionada sobre a possibilidade de acesso ao pessoal técnico ou aos gestores, para obtenção de dados e informações sobre o ciclo de vida do pneu, a funcionária informou que os questionamentos poderiam ser enviados para o seu correio eletrônico que ela mesma buscaria os esclarecimentos junto às áreas competentes e encaminharia as respostas. Sendo assim, não foi possível estabelecer contato com os profissionais que poderiam autorizar ou auxiliar a realização da pesquisa inicialmente pretendida.

Uma importante contribuição dessa visita foi o acompanhamento dos processos produtivos, desde a recepção dos pneus usados até a inspeção final, como brevemente descrito nos parágrafos seguintes.

Ao chegarem na fábrica<sup>128</sup>, os pneus passam por uma inspeção visual, segregando-se aqueles que não têm condições de reforma. Os pneus aprovados são submetidos à raspagem em uma máquina, que retira a camada antiga de borracha, restando apenas a carcaça. O equipamento utilizado é programado para raspar uma espessura determinada de borracha, de acordo com as medidas do pneu.

---

<sup>126</sup> A empresa mantém um calendário permanente de visitação, quando abre as portas da fábrica para a comunidade, principalmente estudantes.

<sup>127</sup> Este projeto nasceu de uma parceria com a Prefeitura de Piraquara, sem custo para o governo. A Vila da Cidadania consiste de 25 pequenos prédios, com área total de 3.000 m<sup>2</sup>, que formam uma mini-cidade, onde as crianças das escolas do município realizam atividades relacionadas à cidadania e à participação política (BS COLWAY, 2007).

<sup>128</sup> Os pneus usados empregados como matéria-prima na BS Colway são importados da Europa e chegam em containeres pelo porto de Paranaguá (Paraná).

Para verificação da existência de danos internos, que antes não estavam aparentes, as carcaças são novamente inspecionadas. Aquelas que apresentam defeitos são rejeitadas. Quando há irregularidades na carcaça aprovada, devido ao desgaste desigual, aplica-se manualmente uma fita antiquebra, que iguala as partes<sup>129</sup>. A seguir, uma solução adesiva é espalhada sobre a carcaça, para auxiliar na adesão da borracha.

A carcaça é, então, envolvida por uma nova camada de borracha, que forma a banda de rodagem, de uma maneira tal que não deixa emendas. A próxima etapa é a colocação dos dois flancos (borracha lateral). A quantidade de borracha empregada depende do tipo e das medidas do pneu.

Em seguida, o pneu passa por um balanceamento eletrônico. Depois, há a vulcanização, na qual o pneu é colocado em prensas e mantido a 157°C por 18 minutos, o que promove a adesão entre carcaça, banda de rodagem e borracha lateral. A temperatura e o tempo dependem do tipo de pneu, visto que a espessura da borracha e as dimensões da carcaça variam.

Dentro da prensa é colocado um molde, projetado pela BS Colway para cada tipo de pneu, que transfere para a borracha os sulcos e as devidas gravações. Enfim, são retiradas as rebarbas de borracha e o controle de qualidade final é feito. As rebarbas se juntam ao resíduo da raspagem, que são vendidos para produtores de grama sintética e de solas de sapato.

Na ocasião da visita, a BS Colway mantinha em estoque cerca de um milhão de pneus importados, suficientes para garantir o suprimento da fábrica por cinco meses. Deve-se destacar que a empresa apresenta amplas instalações, o ambiente é bem iluminado e organizado, os funcionários trabalham uniformizados e utilizam os equipamentos de proteção individual apropriados.

### **10.3.2 Visita a Crystone e a Itaipava**

Também em novembro de 2006, foram visitadas Crystone e Itaipava, localizadas em Petrópolis (Rio de Janeiro). Uma única profissional atua como gerente de produção nas duas empresas, que pertencem ao mesmo grupo. Diferente da BS Colway, onde a visita foi compartilhada com um grupo de estudantes, esta foi exclusivamente dedicada à pesquisa e conduzida pela própria gerente.

---

<sup>129</sup> Esta prática é autorizada pelo INMETRO.

Segundo informações da gerente, em breve a Crystone<sup>130</sup> será transferida para uma nova sede em construção. Por isso, não foram feitos maiores investimentos na melhoria das facilidades, o que explica a pouca organização das instalações onde a fábrica funciona. Na ocasião da visita, a empresa estava buscando a certificação de seus produtos junto ao INMETRO.

As carcaças utilizadas pela Crystone são também importadas e sofrem inspeção para separar àquelas que estão em condições de reforma. O processo de remoldagem segue a mesma seqüência do processo praticado na BS Colway, porém as máquinas apresentam nível de automação inferior, pois são mais antigas. A Crystone também desenvolve os próprios desenhos, que vão formar os sulcos nos pneus. Estes desenhos são enviados para uma outra empresa que produz os moldes.

Embora disponha de instalações mais amplas e organizadas do que a Crystone, a área de remoldagem da Itaipava estava desativada. Já o setor de recauchutagem encontrava-se em pleno funcionamento. O processo de recauchutagem praticado na empresa assemelha-se bastante àquele apresentado no ANEXO G, sendo realizado apenas em pneus de ônibus e caminhões.

No caso da recauchutagem, os pneus usados não são uma matéria-prima adquirida pela empresa, visto que continuam pertencendo aos seus proprietários originais, que pagam pelo serviço prestado. Assim, os pneus são devidamente identificados, para que não se perca a rastreabilidade quanto à propriedade.

O valor pago à Itaipava por pneu recauchutado gira em torno de trezentos reais, enquanto um pneu novo custaria mais de mil reais. Dependendo das condições de uso, um pneu de ônibus ou caminhão pode ser reformado de seis a oito vezes. A Itaipava tem capacidade para recauchutar cerca de 2.500 pneus por mês.

### **10.3.3 Reunião na Michelin**

Uma reunião foi realizada com um gestor de meio ambiente da Michelin, na sede administrativa da Michelin Brasil / América do Sul, localizada no bairro da Barra da Tijuca, no município do Rio de Janeiro. Por se tratar de uma conversa e não propriamente de uma visita, as considerações sobre o contato com a Michelin diferem-se bastante daquelas feitas sobre as outras empresas. Enquanto na BS Colway, na Crystone e na Itaipava, os comentários provêm de observações sobre os processos produtivos e sobre

---

<sup>130</sup> A Crystone emprega vinte e quatro pessoas. Os funcionários da fábrica dispõem dos equipamentos de proteção individual apropriados.

a organização da empresa, na Michelin têm-se relatos e percepções da entrevista com o gestor.

Durante a conversa, o gestor forneceu informações técnicas e respondeu prontamente aos mais diversos questionamentos. No entanto, expôs as limitações impostas pela empresa quanto ao acesso aos dados de produção e às unidades fabris. Como as informações sobre os processos e matérias-primas constituem segredos industriais, a entrada em determinadas áreas das fábricas é restrita, mesmo para os funcionários. Portanto, não foi possível agendar uma visita.

Como o gestor representa a Michelin na ANIP, assume-se que as opiniões por ele emitidas refletem o posicionamento da empresa sobre os assuntos relacionados à associação, especialmente a questão dos pneus inservíveis. O entrevistado informou que a Michelin não realiza ações individuais de coleta e destinação de pneus inservíveis, pois contribui para as iniciativas da ANIP. O resultado atingido pela associação em quantidade de pneus coletados é repartido entre as empresas participantes, na proporção do quantitativo comercializado no período considerado, a fim de prestarem contas ao órgão ambiental, para atendimento da legislação.

Ao mesmo tempo em se mostrou favorável à recauchutagem dos pneus para ônibus e caminhões, o entrevistado se posicionou contra a remoldagem dos pneus de passeio, alegando que estes produtos não são projetados para esse fim. Por conseguinte, colocou-se também contra a importação de pneus de passeio usados.

Quanto às metas de recolhimento estipuladas pela legislação, o gestor afirmou que são inexecutáveis, visto que o passivo ambiental, constituído pelos pneus inservíveis dispostos de maneira inadequada em território nacional, não foi devidamente dimensionado. Portanto, não se consegue localizar uma quantidade suficiente de pneus inservíveis para atender às metas legais. Além disso, há uma dificuldade de conseguir autorização do IBAMA para outras formas de destinação, comumente aplicadas pelos próprios consumidores<sup>131</sup>. Com isso, os fabricantes de pneus não têm conseguido alcançar as quantidades de recolhimento estipuladas.

Segundo o entrevistado, na Espanha, a Michelin participa das iniciativas da SIGNUS<sup>132</sup>, uma sociedade sem fins lucrativos, que faz a gestão dos pneus usados. Contudo, tal iniciativa se baseia em uma estratégia de tributação sobre o produto

---

<sup>131</sup> Esta questão foi abordada no item 8.6 – Estatísticas Relacionadas à Coleta e à Destinação.

<sup>132</sup> O objetivo fundamental do *Sistema Integrado de Gestión de Neumáticos Usados* (SIGNUS) é cumprir com as obrigações derivadas do Real Decreto 1619/2005, que define as responsabilidades dos produtores sobre a gestão de pneus usados. Os fabricantes que aderem ao SIGNUS financiam as operações de gestão mediante o pagamento de um valor por unidade e tipo de pneu. O fabricante cobra esse mesmo valor do distribuidor. Este, por sua vez, repassa a cobrança ao consumidor final. Tal conceito denomina-se custo de gestão (SIGNUS, 2007).

comercializado, que é revertida para as iniciativas de coleta e destinação. Contudo, o gestor afirmou que tal prática não é prevista na legislação brasileira.

Quanto à responsabilidade ambiental na cadeia produtiva automotiva, uma informação relevante apontada pelo gestor foi o recebimento periódico de questionários enviados pelas montadoras, inquirindo à Michelin sobre o uso de substâncias perigosas na fabricação de seus pneus. Estes questionamentos têm motivado, inclusive, a alteração da composição de certos modelos.

Também foi mencionado um outro fator que acarreta a modificação da composição da formulação do pneu: a tropicalização. Em certos casos, a fórmula que consta do projeto definido para os países europeus precisa ser ajustada para que o pneu se adapte às condições brasileiras<sup>133</sup>.

O gestor disponibilizou material informativo sobre coleta e destinação de pneus inservíveis, publicados pela ANIP.

#### **10.4 Aplicação do Questionário**

Após a realização das visitas na BS Colway, na Crystone e na Itaipava, e da reunião na Michelin, foi concebido um questionário, com o objetivo de verificar a difusão dos conceitos e ferramentas de ciclo de vida nas empresas pesquisadas. Considerando as restrições sobre acesso à informação, percebidas durante o contato com as empresas, optou-se por abordar questões genéricas e conceituais, que propositalmente não expõem informações confidenciais, nem envolvem restrições legais. Partiu-se da premissa de que a inquirição de informações desse tipo poderia diminuir o retorno dos questionários.

Como se pretendia avaliar tanto as indústrias de pneus como os remoldadores, foi estabelecido que o questionário seria enviado em meio eletrônico para as duas associações (ANIP e ABIP), com o pedido de que encaminhassem para suas associadas.

No caso da ABIP, mesmo realizando uma busca criteriosa na Internet, o endereço eletrônico da entidade não foi encontrado. No entanto, obteve-se o endereço eletrônico do Sr. Francisco Simeão, presidente da associação e da BS Colway, que encaminhou a mensagem para uma funcionária da remoldadora, designada para responder a pesquisa.

A respeito da solicitação a ABIP de que repassasse o questionário para as demais associadas, a funcionária da BS Colway informou que não poderia fazê-lo, pois a entidade estava passando por um processo de reestruturação. Dessa forma, a única empresa remoldadora a responder o questionário foi a BS Colway.

---

<sup>133</sup> Esta informação reforçou a decisão de não utilizar dados estrangeiros, conforme discutido no item 10.2 – Trajetória da Pesquisa.

Para a mensagem eletrônica enviada para a ANIP, não se obteve qualquer resposta. Assim, foi decidido retomar o contato com o gestor da Michelin, para solicitá-lo o preenchimento do questionário, o que foi prontamente atendido. Portanto, obteve-se a participação de uma empresa remoldadora e de um fabricante de pneus na pesquisa.

Obviamente, reconhece-se que uma pesquisa com apenas duas empresas restringe a amostragem do setor. Porém, como se trata da maior remoldadora do país e de uma grande multinacional de pneus, as respostas de ambas fornecem informações relevantes sobre as práticas ambientais adotadas.

A primeira parte do questionário é composta por perguntas relacionadas à gestão ambiental, onde se procura analisar o nível de penetração da temática na organização, bem como as estruturas e os sistemas existentes, como pode ser constatado no ANEXO H. Na segunda parte são abordadas questões específicas sobre ACV, com o propósito de averiguar a aplicação dos conceitos e técnicas de ciclo de vida, como se observa no ANEXO I. Finalmente, na terceira parte, são questionadas as práticas ambientais relacionadas à gestão da cadeia produtiva, conforme apresentado no ANEXO J.

De fato, as questões da última parte também estão relacionadas aos conceitos de ciclo de vida, mas foram formuladas de modo que essa expressão não fosse utilizada. Esta abordagem foi aplicada porque se supõe que algumas empresas já apliquem tais conceitos em suas operações, contudo sem associá-los à expressão “ciclo de vida”. Por isso, poderiam responder o questionário de maneira equivocada, por não associarem o conceito às suas práticas.

A fim de facilitar a exposição dos dados obtidos, as respostas estruturadas foram organizadas em tabelas. Estes dados correspondem às questões objetivas, nas quais as opções eram “Sim”, “Não” e “Preferimos não responder”. Devido à questão da confidencialidade exposta anteriormente, essa terceira opção foi inserida para todas as questões, para que a empresa se posicionasse em situações onde houvesse impedimento de fornecer uma resposta. Dessa forma, procurou-se evitar que perguntas ficassem sem resposta, em branco, possibilitando dúvidas de interpretação, ou seja, se a ausência de preenchimento foi intencional ou um esquecimento.

O questionário contempla também perguntas discursivas, vinculadas às questões objetivas prévias. Os dados assim obtidos são apresentados fora das tabelas, ao longo do texto. Comparações entre as duas empresas são feitas constantemente.

### 10.4.1 Informações Levantadas

A Tabela 8 apresenta as respostas estruturadas fornecidas pelas empresas para a primeira parte do questionário, cujo assunto é Gestão Ambiental.

Tabela 8: Respostas Objetivas ao Questionário – Parte I: Gestão Ambiental

Gestão Ambiental	BS Colway	Michelin
A empresa possui um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) implementado?	Não	Sim
Se SIM, o sistema se baseia em alguma norma?	---	Sim
A empresa possui algum tipo de certificação ambiental?	Não	Sim
Seus produtos recebem algum selo verde?	Não	Não
A empresa utiliza algum <i>marketing</i> verde sobre seus produtos?	Sim	Sim
A empresa participa de algum programa voluntário de responsabilidade ambiental?	Sim	Sim
A empresa publica relatórios ambientais?	Sim	Sim

A Michelin já dispõe de um Sistema de Gestão Ambiental implementado, sendo certificada na norma ISO 14001. A BS Colway está estruturando seu sistema e organizando auditorias internas também visando à certificação (ISO 14001 e ISO 9001).

Embora nenhuma das empresas ostente um selo verde em seus produtos, ambas utilizam alguma estratégia de *marketing* verde. A multinacional promove o pneu verde (ou pneu ecológico), que economiza combustível por apresentar menor resistência, e a remoldadora divulga seus produtos como pneus ecologicamente corretos.

As duas empresas participam de programas de responsabilidade ambiental. A Michelin desenvolve o Projeto Ouro Verde Bahia, que também contempla iniciativas de responsabilidade social. A BS Colway realiza iniciativas no âmbito do Programa Rodando Limpo. Tanto Michelin como BS Colway elaboram relatórios ambientais, mas não são divulgados externamente.

As respostas estruturadas da segunda parte do questionário, cujo tema é Avaliação de Ciclo de Vida, são expostas na Tabela 9.

Tabela 9: Respostas Objetivas ao Questionário – Parte II: Avaliação de Ciclo de Vida

Avaliação de Ciclo de Vida	BS Colway	Michelin
A empresa já realizou uma Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) para algum de seus produtos?	Sim	Sim
A empresa utiliza alguma ferramenta ou metodologia para avaliar os impactos ambientais do ciclo de vida na concepção do produto?	Sim	Sim

As duas empresas afirmaram já ter realizado uma ACV de pneu, mas não especificaram qual o modelo avaliado. Na Michelin, o estudo foi conduzido por pessoal próprio. Já a BS Colway respondeu que, de modo geral, tem realizado alguns estudos internos e outros externos. Em ambas, o estudo prestou-se a objetivos internos da organização e, portanto, não foi divulgado externamente.

Embora as duas empresa afirmem utilizar alguma ferramenta ou metodologia para avaliar os impactos ambientais do ciclo de vida na concepção do produto, a multinacional respondeu que não houve divulgação da ferramenta empregada e a remoldadora assinalou a opção “Preferimos não responder”.

A Tabela 10 apresenta as respostas estruturadas referentes à terceira parte do questionário, cujo assunto é Cadeia Produtiva.

Tabela 10: Respostas Objetivas ao Questionário – Parte III: Cadeia Produtiva

Cadeia Produtiva	BS Colway	Michelin
A empresa coleta informações ambientais de seus fornecedores?	Sim	Sim
A empresa adota algum critério ambiental na seleção de seus fornecedores?	Sim	Sim
A empresa fornece dados ambientais de suas atividades para seus clientes?	Sim	Sim
A empresa considera que os aspectos ambientais do seu produto são um diferencial apreciado pelos clientes?	Sim	Sim
A empresa realiza algum programa de coleta de produtos pós-consumo?	Sim	Sim
A empresa desenvolve alguma iniciativa de aproveitamento ou reciclagem de produtos pós-consumo?	Sim	Sim

Quanto à atuação das empresas na coleta, no aproveitamento ou na reciclagem de produtos pós-consumo, a Michelin realiza essas atividades por intermédio da ANIP e a BS Colway desenvolve suas iniciativas através do Programa Rodando Limpo, citado anteriormente. Internamente, a Michelin conta com parceiros que atuam na gestão de

resíduos em suas unidades, enquanto a BS Colway desenvolve programas internos de coleta.

#### **10.4.2 Análise das Informações**

Considerando as respostas fornecidas por Michelin e BS Colway, pode-se perceber que a temática ambiental já é um assunto bastante disseminado nessas indústrias. Quiçá por causa das exigências legais ou em virtude do diferencial competitivo que os produtos ambientalmente amigáveis podem apresentar, as empresas pesquisadas demonstram uma preocupação com os aspectos ambientais relacionados aos seus produtos, em vários estágios de seu ciclo de vida.

Além disso, constata-se que tais empresas procuram estender a sua responsabilidade ambiental ao longo da cadeia produtiva, visto que coletam informações ambientais de seus fornecedores e adotam critérios dessa natureza para selecionar seus parceiros.

Contudo, considerando a resposta da multinacional sobre o desconhecimento da ferramenta empregada, constata-se uma carência na divulgação das técnicas de ACV, o que sugere um baixo índice de utilização. No mais, acredita-se que as empresas poderiam tirar melhor proveito desses estudos para divulgações externas, visto que seus clientes apreciam os aspectos ambientais como um diferencial.

Enfim, com base nas informações levantadas na pesquisa, pode-se concluir que tais empresas apresentam um ambiente altamente favorável para difusão e consolidação dos conceitos de ciclo de vida, que podem ser aplicados no cotidiano da empresa. Organizando tais conceitos em um modelo prático, essas empresas poderiam gerar informações estruturadas, capazes de ampliar o conhecimento sobre os processos, de fundamentar a avaliação do desempenho ambiental e a tomada de decisões. Um esboço desse modelo prático é o que se pretende compor no próximo capítulo.

## **XI      MODELO PROPOSTO**

Para que o enfoque de ciclo de vida seja efetivamente implementado nas organizações, faz-se necessário que este se traduza em métodos práticos. Sendo assim, técnicas precisam ser simplificadas, a fim de que se adaptem às restrições de recursos e à demanda por velocidade que o cotidiano das organizações impõe. Portanto, no presente capítulo, propõe-se um modelo introdutório, com a intenção de auxiliar as organizações a incorporarem a perspectiva de ciclo de vida em suas práticas.

Por causa da complexidade e do rigor científico das técnicas, a condução de uma ACV acaba requerendo a atuação de especialistas, geralmente pessoal externo ou de uma área específica da organização. Dessa forma, a ACV aparece apenas em eventos isolados, prestados à análise de um determinado produto em um certo momento, com pouco aproveitamento no cotidiano das empresas.

Por isso, o modelo parte da premissa de que competências internas precisam ser desenvolvidas. Ainda que estudos completos continuem sendo necessários, especialmente quando o objetivo é a análise comparativa de produtos concorrentes para divulgação externa, a organização precisa estar preparada para tirar melhor proveito das conclusões desses estudos, para que seus resultados sejam efetivamente desdobrados em melhorias. Além disso, a organização precisa ser capaz de acompanhar o desempenho de seus produtos, sob a ótica de ciclo de vida, de uma maneira autônoma, fundamentando as decisões cotidianas.

Para tanto, a implementação dessa abordagem precisa passar pela inclusão dos conceitos de ciclo de vida na estratégia de gestão da organização. Desse modo, propõe-se a introdução do enfoque não apenas no sistema de gestão ambiental ou na área de meio ambiente da empresa, mas em todas as funções. Isto porque as decisões voltadas para a melhoria do desempenho ambiental de um sistema de produto não estão relacionadas estritamente à produção, mas requerem a atuação de diversas áreas. Assim, faz-se necessário que os conceitos de ciclo de vida sejam disseminados por toda a organização, de tal modo que cada área admita esse enfoque em suas atividades.

A empresa precisa, então, conhecer o ciclo de vida do seu produto. Como o levantamento e o inventário do sistema de produto completo constituem uma tarefa bastante complexa, visto que incluem diversas organizações ao longo da cadeia produtiva, que podem estar geograficamente dispersas, propôs-se uma simplificação.

## 11.1 Levantamento dos Processos

O primeiro passo é um levantamento *gate-to-gate*, ou seja, dentro dos portões da empresa, que constitui uma redução da abordagem *cradle-to-grave*<sup>134</sup>, característica da ACV. Dessa forma, contemplam-se apenas os processos produtivos que ocorrem dentro da indústria em questão, transformando as matérias-primas ou componentes no produto final. Posteriormente, a empresa deve estender o levantamento para além de suas fronteiras, contemplando tanto seus fornecedores, quanto seus clientes e o pós-consumo.

Para facilitar a inserção da abordagem de ciclo de vida na organização, sugere-se o aproveitamento de técnicas e ferramentas já utilizadas para a gestão, evitando gastos de tempo e recursos para aquisição de ferramentas específicas e treinamento. Assim, se a empresa dispuser de um software<sup>135</sup> para modelagem de processos<sup>136</sup>, o mesmo pode ser utilizado para o levantamento.

Caso já se tenha realizado uma modelagem dos processos produtivos, a empresa deve inicialmente utilizá-la como referência. Contudo, mais tarde, será necessário revisá-la, pois a perspectiva do levantamento do ciclo de vida naturalmente apresenta distinções em relação àquela empregada na modelagem inicialmente realizada.

## 11.2 Inventário Simplificado do Ciclo de Vida

De posse do mapeamento de processo, diversas atuações são possíveis. Primeiramente, a análise do processo juntamente com o pessoal envolvido conduz à identificação das unidades que acarretam os impactos mais significativos e que, portanto, podem ser assumidas como pontos críticos, onde devem ser aplicados os esforços para melhoria do desempenho ambiental.

Contudo, dessa forma empírica, corre-se o risco de investir em ações que pouco influenciam o sistema de produto como um todo, já que não se dispõe ainda de dados quantitativos que fundamentem a decisão. Desse modo, deve-se partir para uma quantificação das entradas e saídas das unidades de processo.

Nesse ponto, também se recomenda tirar proveito da estrutura de que a empresa já dispõe, como planilhas, bancos de dados, relatórios internos e levantamentos apresentados aos órgãos ambientais, para obter os dados necessários. Caso a empresa

---

<sup>134</sup> Este conceito foi apresentado no item 3.1 - Ciclo de Vida.

<sup>135</sup> ARIS IDS Scheer e Microsoft Office Visio Professional são alguns exemplos de softwares para modelagem de processos.

<sup>136</sup> A modelagem de processos consiste na construção lógica e simplificada de uma representação, parcial ou total, de uma organização, usada como referência comum para comunicação e tomada de decisões.

disponha de um sistema de informações gerenciais, um *Enterprise Resource Planning – ERP*<sup>137</sup>, sugere-se a sua utilização, visto que contém informações sobre o consumo de matérias-primas, o quantitativo produzido e as perdas de processo.

A vantagem do uso do ERP está na facilidade de monitorar os dados ao longo do tempo, já que as informações coletadas e apontadas no sistema ficam armazenadas, gerando um histórico, que pode ser consultado a qualquer momento. Além disso, as informações podem ser extraídas em relatórios de acordo com a conveniência e o foco da empresa.

No caso de empresas que não dispõem dessas informações organizadas, especialmente no caso de pequenas e médias empresas, pode-se partir para medições dos processos. Para tanto, é interessante utilizar um formulário padronizado, para que os dados sejam sempre coletados da mesma forma, assegurando sua comparabilidade.

Na Tabela 11 apresenta-se uma proposta de protocolo que a empresa pode utilizar no inventário, para organizar os dados sobre suas entradas e saídas. Este formulário considera as seguintes saídas: emissões para o ar, emissões para o solo e efluentes. Já as entradas contempladas são as utilidades, as matérias-primas diretas e os materiais auxiliares. Como utilidades, compreendem-se as fontes de energia (eletricidade, combustíveis e gás natural) e a água.

Tabela 11: Formulário de Inventário Simplificado de Ciclo de Vida  
QM – Quantidade Mensal; U – Unidade; IQD – Índice de Qualidade do Dado

Inventário Simplificado de Ciclo de Vida							
Produto:							
Modelo:							
Peso do produto:							
Produção mensal:							
ENTRADAS				SAÍDAS			
<b>Matérias-primas</b>	<b>QM</b>	<b>U</b>	<b>IQD</b>	<b>Emissões para o Ar</b>	<b>QM</b>	<b>U</b>	<b>IQD</b>
<b>Materiais Auxiliares</b>	<b>QM</b>	<b>U</b>	<b>IQD</b>	<b>Emissões para o Solo</b>	<b>QM</b>	<b>U</b>	<b>IQD</b>
<b>Utilidades</b>	<b>QM</b>	<b>U</b>	<b>IQD</b>	<b>Efluentes</b>	<b>QM</b>	<b>U</b>	<b>IQD</b>

<sup>137</sup> “Os ERP caracterizam-se basicamente por integrarem as diversas áreas das organizações em uma única aplicação, ou seja, em um único sistema com a visão de processos de negócios, e não mais a visão departamentalizada que a precedeu. [...] Os ERP contêm diferentes módulos por área funcional ou processo, trabalhando de forma integrada e geralmente em tempo real” (TENÓRIO *et al.*, 2007, pp. 51).

Contudo, a empresa pode não dispor de instrumentos adequados para efetuar as medições necessárias. Assim, é preciso evidenciar para quais dados foram necessários cálculos ou estimativas. Para tanto, sugere-se a utilização de índices de qualidade do dado que identificam a proveniência da informação. Desse modo, cada dado deve ser acompanhado de seu respectivo índice.

A seguinte classificação é proposta: medido (M) para o valor diretamente mensurado; calculado (C) para o valor que requereu algum cálculo para ser obtido; estimado (E) para o valor que necessitou um julgamento de valor; e assumido (A) para um número que foi apenas sugerido. Para os valores calculados, é preciso que a empresa mantenha uma memória de cálculo, a fim de garantir sua reprodutibilidade futura. A empresa também deve manter um registro sobre a maneira como as medições foram feitas, para que possam ser repetidas.

A princípio, a empresa pode coletar apenas os dados totalizados do processo inteiro. Posteriormente deve-se partir para a aplicação do formulário para cada unidade de processo que foi anteriormente delimitada, durante a modelagem. Com isso, refina-se a análise, pois as unidades onde há maior desperdício podem ser claramente identificadas.

Os dados são inicialmente coletados por períodos de tempo pré-determinados. No formulário se propõe a coleta de dados relativos a um mês de produção. Entretanto, a empresa pode progressivamente reduzir o intervalo de tempo, chegando a acompanhar as informações sobre o processo quase em tempo real. Obviamente, medir todas as entradas e saídas em tempo integral é inviável, portanto, cabe a empresa determinar a frequência da coleta de dados necessária para avaliar o desempenho de seu sistema de produto.

A empresa deve também estabelecer regras para desconsiderar as entradas ou saídas presentes em uma quantidade inferior a um valor previamente determinado, para que não se empreenda muitos esforços no controle de componentes cujas quantidades são relativamente insignificantes. Contudo, essa supressão requer um conhecimento sobre o potencial impacto da substância que se pretende excluir, pois alguns compostos são extremamente nocivos, mesmo em quantidades reduzidas.

Nesta proposta não se sugere uma avaliação de impacto completa, visto que tal etapa demanda conhecimento técnico-científico para classificação e caracterização dos impactos, o que não é trivial para um não-especialista. No entanto, após o inventário do processo, sugere-se que a empresa promova uma pesquisa para identificar quais as saídas que causam maiores danos ao meio ambiente, a fim de concentrar nelas sua atenção.

### 11.3 Extensão do Enfoque de Ciclo de Vida na Cadeia Produtiva

Havendo consolidado uma metodologia para avaliação do desempenho dos processos sob essa abordagem, por meio do levantamento *gate-to-gate*, a empresa deve ampliar os limites da análise. À montante da cadeia produtiva, cabe à empresa estender a avaliação aos seus fornecedores, a fim de conhecer também os processos de obtenção e fabricação de suas matérias-primas.

Para tanto, a empresa deve introduzir o enfoque de ciclo de vida em programas já existentes de qualificação de fornecedores. Dessa forma, sugere-se a elaboração de um questionário sobre aspectos e impactos ambientais, e a utilização das informações coletadas como critério de seleção. Além disso, a empresa deve incluir a perspectiva de ciclo de vida nas auditorias de fornecedores. A empresa deve estimulá-los a desenvolver metodologias para modelagem de seus processos e mensuração de suas entradas e saídas. Empresas de grande porte, elos fortes de cadeias produtivas, podem desempenhar um importante papel na disseminação de práticas, pois seus fornecedores buscarão se ajustar ao perceberem que o não-atendimento a determinados requisitos pode significar a perda de negócios.

Tendo contemplado o lado do fornecimento, falta à empresa estender a avaliação também para o lado da demanda. Assim, a organização precisa conhecer a forma como seus clientes utilizam seus produtos e a destinação que lhes é dada.

Para conhecer o perfil de seus clientes, sugere-se que a empresa elabore um questionário e entregue ao cliente juntamente com o produto. Uma alternativa é a utilização de recursos da Internet. Desse modo, a empresa pode solicitar, na própria embalagem do produto, que o cliente acesse a página (*site*) da organização e forneça informações sobre uso e descarte.

Além disso, as empresas podem atuar na mudança de hábitos de consumo, visto que as suas ações têm o poder de influenciar o cliente, principalmente quando este percebe vantagens econômicas em tais iniciativas. A empresa pode, por exemplo, oferecer descontos para os clientes que devolverem o produto antigo na compra de um novo. Dessa forma, a empresa pode garantir que seus produtos recebam uma destinação ambientalmente adequada.

Informações sobre a destinação dos produtos pós-consumo podem ser obtidas junto às companhias de coleta de lixo, às cooperativas de catadores, aos municípios e às associações de reciclagem e gerenciamento de resíduos.

#### **11.4 Difusão do Enfoque de Ciclo de Vida na Organização**

De posse dos dados organizados sobre o sistema de produto, a empresa deve cuidar para que o acesso às informações não fique restrito ao pessoal técnico ou à área de meio ambiente. As demais áreas da organização devem tomar conhecimento dos resultados dos estudos. As pessoas devem ser estimuladas a avaliar as suas decisões cotidianas sob a ótica do ciclo e vida, aplicando as informações obtidas na seleção de alternativas voltadas para a melhoria do desempenho ambiental.

Podem-se citar inúmeras aplicações dessa abordagem na mais diversas áreas da empresa. Na área de Pesquisa e Desenvolvimento de produtos, recomenda-se que os dados obtidos nos estudos sejam utilizados em simulações do produto que se pretende lançar. Pode-se, por exemplo, alterar a composição de matérias-primas e as condições de processo, a fim de verificar seu efeito sobre o ciclo de vida.

Ainda no estágio de concepção do produto, é importante que seja feita uma análise dos impactos ambientais potenciais ao longo de todo o ciclo de vida. Desse modo, pode-se evitar que produtos ambientalmente nocivos cheguem ao mercado, optando-se previamente por alternativas mais eficientes. Além disso, a empresa deve prever as formas de destinação que serão necessárias para o produto no pós-consumo, a fim de preparar as estratégias que precisará adotar para atender às exigências legais.

Na área de Logística, sugere-se que a empresa avalie as opções de transporte, bem como as embalagens e as formas de acondicionamento, sob a perspectiva de ciclo de vida. Um exemplo que ilustra a importância dessa análise é a decisão entre embalagens retornáveis e descartáveis. Por um lado, as embalagens retornáveis apresentam maior peso e, com isso, ocasionam gastos superiores de combustível. Por outro lado, as embalagens descartáveis são, em geral, mais leves, mas têm menor vida útil, o que pode significar um maior consumo de recursos na sua fabricação. Somente a avaliação sob um enfoque de ciclo de vida é capaz de equacionar questões desse tipo.

Nas Utilidades, o enfoque de ciclo de vida precisa ser incluído na seleção de fontes de energia, como também no uso da água. Combustíveis alternativos (biocombustíveis, por exemplo) não representam necessariamente opções mais eficientes, o que dependerá das máquinas disponíveis, das condições requeridas para os processos e da matriz energética da região.

Como citado anteriormente, a empresa deve incluir critérios ambientais, baseados no ciclo de vida, na seleção de seus fornecedores. Portanto, cabe à área de Suprimentos a tarefa de adquirir matérias-primas de fornecedores que atendam a tais critérios,

buscando também novos materiais capazes de agregar eficiência ambiental ao sistema de produto.

O enfoque de ciclo de vida não se aplica apenas a produtos, porquanto pode ser estendido para a construção e o funcionamento das instalações da empresa. Portanto, a área de Engenharia deve analisar os projetos sob essa perspectiva, com o objetivo de selecionar alternativas que reduzam os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida das unidades.

Para tanto, devem ser avaliados os materiais empregados, as tecnologias de construção, o projeto arquitetônico, as fontes e o consumo de água e energia, a necessidade de refrigeração e as possibilidades de adaptação da construção para novos produtos e tecnologias de processo. Deve-se analisar também o potencial impacto ambiental dos materiais quando da desativação ou descomissionamento<sup>138</sup> da unidade.

### **11.5 Aderência entre Enfoque de Ciclo de Vida e Ferramentas de Gestão**

Como exposto acima, a empresa deve aproveitar as ferramentas e técnicas disponíveis para o gerenciamento de seus processos, aplicando-as para a gestão do ciclo de vida. Todavia, algumas adequações serão necessárias. No caso do levantamento de processos, a ótica de ciclo de vida está voltada para o inventário das entradas e saídas de materiais e energia, enquanto a modelagem de processos visa atender outros objetivos, mensurando variáveis como tempo, custos e outros recursos. Além disso, pode ser preciso agrupar ou desagrupar unidades de processo da modelagem original, ou seja, realizar uma adequação dos processos originais, a fim de que representem o ciclo de vida analisado.

Do mesmo modo, para utilizar os sistemas de gestão já implementados na empresa, alguns ajustes se farão necessários. Os dados no ERP podem ser coletados em unidades de processos diferentes daquelas que se deseja medir ou, ainda, podem estar mais compilados ou mais detalhados do que o necessário. Da mesma forma, as demais fontes de informação já existentes na empresa podem demandar ajustes para serem utilizadas conforme os propósitos de ciclo de vida.

A vantagem do modelo proposto está na facilidade de sua aplicação, visto que não exige a aquisição de softwares específicos, além de reduzir a necessidade de contratação de especialistas. Desse modo, o modelo pode ser aplicado também por

---

<sup>138</sup> Descomissionamento é o processo de desinstalação, desativação ou encerramento das atividades de uma unidade. Geralmente, este termo é utilizado quando se trata de atividade poluidora ou de unidade que atue no processamento, armazenamento e circulação de substâncias nocivas à saúde pública ou ao meio ambiente, como, por exemplo, na mineração e nas operações com petróleo e materiais radioativos.

indústrias de pequeno e médio porte. Nestas empresas, a introdução do enfoque de ciclo de vida pode auxiliar, inclusive, na melhoria das práticas de gestão, visto que o modelo e a lógica de coleta e organização dos dados podem ser estendidos a outros assuntos, processos e áreas. Dessa forma, a inserção dessa abordagem pode representar ganhos não somente do ponto de vista ambiental, mas também na forma como a empresa obtém e organiza a informação sobre seus processos, gerando conhecimento.

## CONCLUSÕES

O desenvolvimento sustentável ainda permanece um desafio para os governos e para as organizações. Por um lado, tem-se a dificuldade em conciliar os ganhos econômicos a valores ambientais e sociais. Por outro, uma carência de ferramentas que suportem de maneira consistente a tomada de decisão.

Nesse sentido, acredita-se que os argumentos apresentados tenham demonstrado a potencialidade da ACV como ferramenta de análise, monitoramento e gerenciamento de produtos e processos, fundamentada em critérios técnico-científicos, capaz de auxiliar na seleção de alternativas ambientalmente preferíveis. Ainda que não seja viável realizar estudos de ACV para todos os produtos e processos existentes, a difusão do enfoque de ciclo de vida pode trazer ganhos para toda a sociedade, pois tal abordagem amplia a percepção sobre as dimensões da problemática ambiental.

A pesquisa realizada incidiu seu foco sobre a utilização da técnica de ACV para a gestão ambiental em sistemas industriais e buscou ampliar sua aplicabilidade por meio da proposição de um método prático, capaz de aproximar os conceitos de ciclo de vida do cotidiano das organizações.

Na Primeira Parte: Referencial Teórico, os conceitos e as etapas da ACV foram apresentados de uma maneira compreensível, especialmente para o gestor ou tomador de decisão, que pode encontrar nessas páginas o embasamento necessário para o entendimento das conclusões dos estudos, possibilitando, assim, a efetiva utilização dos resultados.

Nessa parte, algumas aplicações da ACV foram expostas, em um levantamento certamente não exaustivo, mas suficiente para demonstrar a potencialidade da técnica para fundamentar seleção de alternativas na indústria, no governo, em organizações governamentais ou não-governamentais e na sociedade em geral. Com isso, entende-se que o objetivo específico (2) *analisar os fundamentos teóricos da ACV, com o intuito de verificar a confiabilidade e aplicabilidade dessa técnica – tenha sido alcançado.*

Na Segunda Parte: O Setor de Pneus, apresentou-se um panorama sobre o pneu, o que atendeu ao objetivo específico (3) *analisar o setor de pneus, a fim de compreender os aspectos técnicos, ambientais e econômicos relacionados a este sistema de produto.* Ainda nesta parte, foram expostas informações e considerações referentes a uma pesquisa documental sobre o estudo de ACV realizado por uma indústria. Além disso, foram analisadas suas contribuições para a seleção de matérias-primas e de alternativas para o aproveitamento pós-uso. Dessa forma, atingiu-se o objetivo específico (4) *examinar estudos de ACV de pneus disponibilizados na literatura acadêmica e nas*

*publicações de empresas, a fim de verificar sua validade e relevância, bem como as conclusões desses estudos.*

Na Terceira Parte: Pesquisa Aplicada, expôs-se a investigação sobre a difusão do enfoque de ciclo de vida no setor, onde se percebeu a forte disseminação da temática ambiental. Com base nas informações levantadas, concluiu-se que as empresas pesquisadas apresentam um ambiente altamente favorável para difusão e consolidação dos conceitos de ciclo de vida. Assim, atendeu-se ao objetivo específico (5) *verificar a difusão dos conceitos e ferramentas de ciclo de vida nas empresas pesquisadas.*

Finalmente, apresentou-se o modelo prático, um programa simplificado e introdutório, mas capaz de promover a difusão do enfoque de ciclo de vida e o desenvolvimento progressivo de competências na organização. O modelo proposto pode ser aplicado até mesmo por indústrias de pequeno e médio porte, visto que não requer a contratação de especialista externo, nem representa elevados gastos de tempo ou recursos financeiros. Assim, contemplou-se o objetivo específico (1) *propor um modelo para introdução da ACV nas organizações.*

Com base nos argumentos apresentados ao longo da dissertação, conclui-se que a hipótese foi validada, isto é, a Avaliação de Ciclo de Vida é capaz de auxiliar na tomada de decisão e na melhoria do desempenho ambiental do pneu, na medida que amplia e organiza o conhecimento sobre o sistema de produto, baseando-se em critérios técnicos e científicos, de uma maneira acessível para o tomador de decisão. Esta acessibilidade, prejudicada na técnica completa de ACV, é assegurada por meio da aplicação de um modelo simplificado, como esta dissertação propôs.

Quanto ao sistema de produto analisado, estudos adicionais ainda se fazem necessários para evidenciar os *trade offs* relacionados às alternativas de aproveitamento do pneu usado. No caso da remoldagem do pneu, as escolhas não abrangem apenas aspectos ambientais, mas também interesses econômicos, questões sociais e disputas políticas, o que aumenta a complexidade da análise.

Como discutido anteriormente, as multinacionais de pneus instaladas no Brasil utilizam-se do argumento ambiental para defender seus interesses, exigindo um posicionamento do governo brasileiro no sentido de proibir a importação. Segundo informações recentes<sup>139</sup>, diante da iminência dessa proibição, a BS Colway já demitiu 500 funcionários e reduziu sua produção em 50%. Caso esse impedimento se confirme, a

---

<sup>139</sup> Referentes a julho de 2007 e obtidas na página da empresa na Internet.

empresa prevê o deslocamento de suas operações para o Paraguai<sup>140</sup>, de onde exportará os pneus remoldados para o Brasil, conforme permitido nos acordos do Mercosul.

Portanto, o caso dos pneus ilustra o imperativo do desenvolvimento e da aplicação de técnicas capazes de avaliar os aspectos ambientais de sistemas de produto, de uma forma cientificamente válida e isenta de interesses. As informações assim obtidas devem fundamentar a tomada ética de decisão, que busque o equilíbrio entre as dimensões econômica, social e ambiental, garantindo o equacionamento de *trade offs*, a promoção do bem-estar comum e a preservação do meio ambiente.

Neste sentido, sugere-se que estudos sejam desenvolvidos para a elaboração de modelos práticos que integrem as demais dimensões (social e econômica) na gestão do ciclo de vida. Outra iniciativa que traria ganhos para o setor seria a construção de um banco de dados brasileiro sobre o ciclo de vida do pneu, incluindo as etapas de obtenção e fabricação de suas matérias-primas. Com este recurso, as empresas poderiam realizar análises mais freqüentes de seus produtos. O governo também poderia fazer uso desses dados para subsidiar a elaboração de políticas públicas e legislações.

Um ponto que deve ser comentado é a necessidade de estreitamento das relações entre universidade e empresa. Em um contexto em que o fenômeno ou objeto de estudo não pode ser isolado involuntariamente em um laboratório, é preciso que se obtenha um consentimento para que a pesquisa seja realizada. Dessa forma, estudos dessa natureza requerem o acesso às informações, que serão analisadas e trabalhadas, gerando conhecimento que poderá ser aplicado em favor da própria empresa. Essa lógica precisa ser mais bem disseminada, para que as pesquisas encontrem aceitação nas organizações.

Enfim, acredita-se que a dissertação tenha contribuído para disseminar o enfoque de ciclo de vida e, principalmente, tenha indicado a responsabilidade que cabe a cada elo da cadeia. Esta abordagem preconizou a otimização dos sistemas de produto como um todo, além dos limites de cada organização, buscando a melhoria do desempenho dos processos, a satisfação das necessidades básicas e a melhoria da qualidade de vida, sem, contudo, desrespeitar os limites da natureza.

---

<sup>140</sup> O governo paraguaio ofereceu isenção de tributos na importação de matérias-primas, inclusive pneus usados, e redução de impostos sobre a exportação (BS COLWAY, 2007).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIP, 2007. *Conheça a ABIP*. Disponível em: <<http://www.abip.com.br>>. Acesso em: Ago 2007.

ABNT, 2004. *NBR ISO 14001: sistemas da gestão ambiental – requisitos com orientações para uso*. Rio de Janeiro.

ABNT, 2004b. *ISO/TR 14062: gestão ambiental – integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do produto*. Rio de Janeiro.

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

ALMEIDA, 2002. *Estudo do ciclo de vida do pneu automotivo e oportunidades para a disposição final de pneus inservíveis*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, Brasil.

ANIP, 2007. Disponível em: <<http://www.anip.com.br>>. Acesso em: Jun 2007.

BASF, 2007. *Sustainability*. Disponível em: <<http://corporate.basf.com/en/sustainability>>. Acesso em: Jun 2007.

BNDES, 1998. *Pneus*. Disponível: <<http://www.bndes.gov.br/conhecimento/relato/pneus.pdf>>. Acesso em: Ago 2007.

BOUSTEAD, I.; CHAFFEE, C.; DOVE, W.; YAROS, B., 2000. *Eco-indices: what can they tell us?* International Council on Mining & Metals – ICME. Disponível em: <<http://www.icmm.com/uploads/35Eco-Indices.pdf>>. Acesso em: Dez 2006.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; DE BARROS, M.T.L.; VERAS JR, M.S.; PORTO, M.F.A.; NUCCI, N.L.R.; JULIANO, N.M.A.; EIGER, S., 2002. *Introdução à Engenharia Ambiental*. São Paulo, Prentice Hall.

BRASIL, N.I., 2004. *Introdução à Engenharia Química*. Rio de Janeiro, Interciência: Petrobras.

BRIDGESTONE CORPORATION, 2007. *Company information*. Disponível em: <<http://www.bridgestone.co.jp/english>>. Acesso em: Jun 2007.

BRIDGESTONE FIRESTONE DO BRASIL, 2007. *Corporativo*. Disponível em: <<http://www.bridgestone.com.br>>. Acesso em: Jun 2007.

BRIDGESTONE, 2006. *Partes do pneu*. Disponível em: <<http://www.pneuseguro.com.br/index.asp?page=fabricacao&conteudo=1>>. Acesso em: Jul 2007.

BS COLWAY, 2007. *Programa Rodando Limpo*. Disponível em: <<http://www.rodandolimpo.com.br>>. Acesso em: Ago 2007.

CALDEIRA-PIRES, A., 2005. “A proposta preliminar do ‘Projeto Brasileiro de Inventário do Ciclo de Vida para a Competitividade da Indústria Brasileira’”, *Impacto da Avaliação do Ciclo de Vida na Competitividade da Indústria Brasileira*. São Paulo, Out.

CALDEIRA-PIRES, A.; RABELO, R.R.; XAVIER, J.H.V., 2002. "Uso potencial da análise do ciclo de vida (ACV) associada aos conceitos da produção orgânica aplicados à agricultura familiar", *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v.19, n. 2 (Mai/Ago), pp. 149-178.

CAPES, 2007. *Diretrizes do PROBRAL – 2007*. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/bolsas/cooperacao/alemanha/probral.html>>. Acesso em: Jul 2007.

CEMPRE, 2007. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br>>. Acesso em: Ago 2007.

CHEHEBE, J.R. , 1997. *Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000*. Rio de Janeiro, Qualitymark Ed.

CIMINO, M.A., 2004. *Gerenciamento de pneumáticos inservíveis: análise crítica de procedimentos operacionais e tecnologias para minimização, adotados no território nacional*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, Brasil.

CMMAD, 1991. *Nosso futuro comum*. 2 ed. Rio de Janeiro, Editora da Fundação Getúlio Vargas.

CNI, 2006. "Vendem-se resíduos", *Indústria Brasileira*, ano 5, n. 59 (Jan), pp. 22-26.

CONAMA, 2002. *Resolução 301 de 21 de março de 2002*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30102.xml>>. Acesso em: Out 2006.

CONAMA, 1999. *Resolução 258 de 26 de agosto de 1999*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res99/res25899.html>>. Acesso em: Out 2006.

CONAMA, 1999b. *Resolução 264 de 26 de agosto de 1999*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res00/res26400.html>>. Acesso em: Ago 2007.

CONCAP PNEUS, 2007. *Recapagem*. Disponível em: <<http://www.concap.com.br/recapagem.htm>>. Acesso em: Ago 2007.

CONSELHO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS, 1993. "Regulamento (CEE) nº 1836/93 do Conselho, de 29 de Junho de 1993, que permite a participação voluntária das empresas do sector industrial num sistema comunitário de ecogestão e auditoria", *Jornal Oficial das Comunidades Européias*, L 168, pp. 1-18.

CONSELHO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS, 1992. "Regulamento (CEE) nº 880/92 do Conselho, de 23 de Março 1992, relativo a um sistema comunitário de atribuição de rótulo ecológico", *Jornal Oficial das Comunidades Européias*, L 99, pp. 1-7.

CONTINENTAL DO BRASIL, 2007. *Continental*. Disponível em: <[http://www.conti-online.com/generator/www/br/pt/continental/portal/geral/home/index\\_pt.html](http://www.conti-online.com/generator/www/br/pt/continental/portal/geral/home/index_pt.html)>. Acesso em: Jun 2007.

EASTERBY-SMITH, M.; THORPE, R.; LOWE, A., 1999. *Pesquisa Gerencial em Administração*. São Paulo, Pioneira.

EUROPEAN COMMISSION, 2007. *GPP*. Disponível em: <[http://ec.europa.eu/environment/gpp/green\\_vs\\_sustainable.htm](http://ec.europa.eu/environment/gpp/green_vs_sustainable.htm)>. Acesso em: Mar 2007.

FAPEMIG, 2002. *Reciclagem de pneus. Nova tecnologia mineira é simples e barata*. Minas Faz Ciência, n.10 (Mar-Mai). Disponível em: <<http://revista.fapemig.br/index.php>>. Acesso em: Jul 2007.

FINKBEINER, M; INABA, A.; TAN, R.B.H.; CHRISTIANSEN, K.; KLÜPPEL, H.J., 2006. "The new International Standards for Life Cycle Assessment: ISO 14040 and ISO 14044", *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 11, n. 2, pp. 80-85.

GOODYEAR DO BRASIL, 2007. *Informações corporativas*. Disponível em: <<http://www.goodyear.com.br>>. Acesso em: Jun 2007.

GOLDENSTEIN, M.; ALVES, M.F.; BARRIOS, M.T., 2007. "Panorama da Indústria de Pneus no Brasil". *BNDES Setorial*, n. 25 (Mar), pp. 107-130.

GUÉRON, A.L., 2003. *Rotulagem e certificação ambiental: uma base para subsidiar a análise da certificação florestal no Brasil*. Dissertação de Mestrado em Planejamento Energético, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

HAMMER, M.; CHAMPY, J., 1994. *Reengenharia: revolucionando a empresa em função dos clientes, da concorrência e das grandes mudanças da gerência*. Rio de Janeiro, Campus.

HEISKANEN, E., 2002. "The institutional logic of life cycle thinking", *Journal of Cleaner Production*, v. 10, pp. 427-437.

IBAMA, 2007. *Fabricantes e importadores de pneus novos são autuados pelo Ibama*. Disponível em: <[http://www.ibama.gov.br/novo\\_ibama/paginas/materia.php?id\\_arq=2779](http://www.ibama.gov.br/novo_ibama/paginas/materia.php?id_arq=2779)>. Acesso em: Ago 2007.

IBAMA, 2007b. *Institucional*. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br>>. Acesso em: Ago 2007.

INMETRO, 2007. *Manual de barreiras técnicas às exportações: o que são e como superá-las*. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas>>. Acesso em: Ago 2007.

IPCC, 2004. *16 Years of scientific assessment in support of the Climate Convention*. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/about/anniversarybrochure.pdf>>. Acesso em: Abr 2007.

ISO, 2007. *ISO in figures for the year 2006*. Disponível em: <<http://www.iso.org/iso/en/aboutiso/isoinfigures/archives/January2007.pdf>>. Acesso em: Mar 2007.

ISO, 2007b. *TC207/SC5*. Disponível em: <<http://www.iso.org/iso/en/CatalogueListPage.CatalogueList?COMMID=4613&scopelist=CATALOGUE>>. Acesso em: Mar 2007.

ISO, 2006. *Overview of the ISO system*. Disponível em: <<http://www.iso.org/iso/en/aboutiso/introduction/index.html>>. Acesso em: Mar 2007.

ISO, 2002. *Environmental Management: the ISO 14000 family of International Standards*. Disponível em: <<http://www.iso.org/iso/en/prods-services/otherpubs/iso14000/index.html>>. Acesso em: Mar 2007.

JENSEN, A.A.; REMMEN, A.; FRYDENDAL, J.; VALDIVA, S.; SONNEMANN, G., 2007. "A UNEP/SETAC Life Cycle Management Guide". In: *Proceedings of the CILCA2007 – International Conference of Life Cycle Assessment*, pp. 1, São Paulo, Fev.

JENSEN, A.A.; HOFFMAN, L.; MØLLER, B.T.; SCHMIDT, A.; CHRISTIANSEN, K.; ELKINGTON, J.; VAN DIJK, F., 1997. *Life Cycle Assessment (LCA): a guide to approaches, experiences and information sources – Environmental Issue Report No 6*. European Environment Agency – EEA. Disponível em: <<http://reports.eea.europa.eu/GH-07-97-595-EN-C/en>>. Acesso em: Dez 2006.

KRÖMER, S.; KREIPE, E.; REICHENBACH, D.; STARK, R., 1999. *Continental: Life Cycle Assessment of a Car Tire*. Disponível em: <[http://www.conti-online.com/generator/www/com/en/continental/portal/themes/esh/life\\_cycle\\_assessments\\_en/download/life\\_cycle\\_assessment\\_en.pdf](http://www.conti-online.com/generator/www/com/en/continental/portal/themes/esh/life_cycle_assessments_en/download/life_cycle_assessment_en.pdf)>. Acesso em: Abr 2007.

LEITE, P.R., 2003. *Logística Reversa: meio ambiente e competitividade*. São Paulo, Pearson Prentice Hall.

MICARONI, R.C.M.; BUENO, M.I.S.; JARDIM, W.F., 2000. "Compostos de mercúrio. revisão de métodos de determinação, tratamento e descarte", *Química Nova*, v. 23, n. 4, pp.487-495.

MICHELIN BRASIL, 2007. *Institucional*. Disponível em: <<http://www.michelin.com.br>>. Acesso em: Jun 2007.

MICHELIN ESPAÑA, 2007. *Historia de Michelin*. Disponível em: <<http://www.michelin.es/es/front/affich.jsp?codeRubrique=1007>>. Acesso em: Jun 2007.

OCDE, 2007. *History of the OECD*. Disponível em: <[http://www.oecd.org/document/63/0,2340,en\\_2649\\_201185\\_1876671\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/document/63/0,2340,en_2649_201185_1876671_1_1_1_1,00.html)>. Acesso em: Abr 2007.

OCDE, 2002. *Recommendation of the Council on Improving the Environmental Performance of Public Procurement*. Disponível em: <[http://webdomino1.oecd.org/horizontal/oecdacts.nsf/linkto/C\(2002\)3](http://webdomino1.oecd.org/horizontal/oecdacts.nsf/linkto/C(2002)3)>. Acesso em: Abr 2007.

ODA, S., FERNANDES JÚNIOR, J.L., 2001. "Borracha de pneus como modificador de cimentos asfálticos para uso em obras de pavimentação", *Acta Scientiarum*, v. 23, n. 6, pp. 1589-1599.

OLIVEIRA, S.A.; VIANNA, F.C.; ZANCHETTA, M.T., 2007. "Análise de Ecoeficiência da BASF: estudo de caso brasileiro". In: *Proceedings of the CILCA2007 – International Conference of Life Cycle Assessment*, São Paulo, Fev.

PARLAMENTO EUROPEU E CONSELHO, 2001. "Regulamento (CE) n. 761/2001 de 19 de Março de 2001 que permite a participação voluntária de organizações num sistema comunitário de ecogestão e auditoria (EMAS)", *Jornal Oficial das Comunidades Européias*, L 114, pp. 1-29.

PARLAMENTO EUROPEU E CONSELHO, 2000. "Regulamento (CE) n. 1980/2000 de 17 de Julho de 2000 relativo a um sistema comunitário revisto de atribuição de rótulo ecológico", *Jornal Oficial das Comunidades Européias*, L 237, pp.1-12.

PETROFLEX, 2007. *Perfil*. Disponível em: <[http://www.petroflex.com.br/perfil\\_borracha.htm](http://www.petroflex.com.br/perfil_borracha.htm)>. Acesso em: Jul 2007.

PIRELLI, 2007. *História*. Disponível em: <<http://www.pirelli.com.br/web/company/about-pirelli-tyre/history/default.page>>. Acesso em: Jun 2007.

PNEUBACK, 2007. *Pneuback*. Disponível em: <<http://www.pneuback.com.br>>. Acesso em: Ago 2007.

PNUMA, 2004. *Perspectivas do Meio Ambiente Mundial 2002 GEO-3: passado, presente e futuro*. Disponível em: <[http://www.wvuma.org.br/geo\\_mundial\\_arquivos/index.htm](http://www.wvuma.org.br/geo_mundial_arquivos/index.htm)>. Acesso em: Abr 2007.

PRAHINSKI, C.; KOCABASOGLU, C., 2006. “Empirical research opportunities in reverse supply chains”, *Omega*, v. 34, pp. 519-532.

ROSSATO, I.F., 2002, *Um método de Inventário do Ciclo de Processo de Manufatura – ICPM*. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

SAGE, 2007. *Apresentação*. Disponível em: <<http://www.sage.coppe.ufrj.br>>. Acesso em: Jul 2007.

SIGNUS, 2007. *SIGNUS Ecovalor*. Disponível em: <<http://www.signus.es>>. Acesso em: Ago 2007.

SILVA, J.R., 2003. *Métodos de valoração ambiental: uma análise do setor de extração mineral*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R., 2002. *Administração da Produção*. 2 ed., São Paulo, Atlas.

SOUZA FILHO, A.M., 2003. *Planos nacionais de contingência para atendimento a derramamento de óleo: análise da experiência de países representativos das Américas para implantação no caso do Brasil*. Dissertação de Mestrado em Planejamento Ambiental, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

SROUR, R. H., 2000. *Ética empresarial: posturas responsáveis nos negócios, na política e nas relações pessoais*. Rio de Janeiro, Editora Campus.

TENÓRIO, F.G.; GROTTOLI, E.C.; MALAMUT, G.; ROCHA, M.C.; HILST, S.M., 2007. *Tecnologia da informação transformando as organizações e o trabalho*. Rio de Janeiro, Editora FGV.

UNEP, 2006. *Background report for a UNEP guide to Life Cycle Management: a bridge to sustainable products*. Disponível em: <[http://www.uneptie.org/pc/sustain/reports/lcini/UNEP\\_Background\\_document\\_LCM\\_2006\\_Febr.pdf](http://www.uneptie.org/pc/sustain/reports/lcini/UNEP_Background_document_LCM_2006_Febr.pdf)>. Acesso em: Dez 2006.

VIANNA, F.C.; ZANCHETTA, M.T.; SILVA, G.A., 2007. “Análise de Ecoeficiência do biodiesel de dendê produzido no Brasil”. In: *Proceedings of the CILCA2007 – International Conference of Life Cycle Assessment*, São Paulo, Fev.

WMO, 2007. *WMO in brief*. Disponível em: <[http://www.wmo.ch/pages/about/index\\_en.html](http://www.wmo.ch/pages/about/index_en.html)>. Acesso em: Abr 2007.

WTO, 2007. *What is the WTO?* Disponível em: <[http://www.wto.org/english/thewto\\_e/whatis\\_e/whatis\\_e.htm](http://www.wto.org/english/thewto_e/whatis_e/whatis_e.htm)>. Acesso em: Ago 2007.

XAVIER, J.H.V.; CALDEIRA-PIRES, A., 2004, "Uso potencial da metodologia de análise de ciclo de vida (ACV) para a caracterização de impactos ambientais na agricultura", *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v. 21, n. 2 (Maio/Ago), pp. 311-341.

## ANEXO A: Potenciais de Aquecimento Global – IPCC

Fonte: BOUSTEAD *et al.* (2000, ppp. 26, tradução nossa)

Composto	Fórmula	GWP 20 anos	GWP 100 anos	GWP 500 anos	Tempo de vida (anos)
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	1	1	1	150
Metano	CH <sub>4</sub>	62	25	7,5	10
Dióxido de nitrogênio	NO <sub>2</sub>	290	320	180	120
Tetraclorometano	CCl <sub>4</sub>	2400	1400	500	42
Triclorometano	CHCl <sub>3</sub>	15	5	1	0,55
Diclorometano	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	28	9	3	0,41
Clorometano	CH <sub>3</sub> Cl	92	25	9	0,7
1,1,1-Tricloroetano	CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>	360	110	35	5,4
Tetrafluorometano	CF <sub>4</sub>	4100	6300	9800	50000
Hexafluoretano	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	8200	12500	19100	10000
CFC-11	CFCl <sub>3</sub>	5000	4000	1400	50
CFC-12	CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	7900	8500	4200	102
CFC-13	CF <sub>3</sub> Cl	8100	11700	13600	640
CFC-113	CF <sub>2</sub> ClCFCl <sub>2</sub>	5000	5000	2300	85
CFC-114	CF <sub>2</sub> ClCF <sub>2</sub> Cl	6900	9300	8300	300
CFC-115	CF <sub>2</sub> ClCF <sub>3</sub>	6200	9300	13000	1700
HCFC-22	CHF <sub>2</sub> Cl	4300	1700	520	13
HCFC-123	CF <sub>3</sub> CHCl <sub>2</sub>	300	93	29	1,4
HCFC-124	CF <sub>3</sub> CHFCl	1500	480	150	5,9
HCFC-141b	CFCl <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	1800	630	200	9,4
HCFC-142b	CF <sub>2</sub> ClCH <sub>3</sub>	4200	2000	630	19,5
HCFC-225ca	C <sub>3</sub> F <sub>5</sub> HCl <sub>2</sub>	550	170	52	2,5
HCFC-225cb	C <sub>3</sub> F <sub>5</sub> HCl <sub>2</sub>	1700	530	170	6,6
HFC-23	CHF <sub>3</sub>	9200	12100	9900	250
HFC-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	1800	580	180	6
HFC-43-10me	C <sub>5</sub> H <sub>2</sub> F <sub>10</sub>	3300	1600	520	21
HFC-125	CF <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>	4800	3200	1100	36
HFC-134	CHF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub>	3100	1200	370	12
HFC-134a	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	3300	1300	420	14
HFC-143	CHF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> F	950	290	90	3,5
HFC-143a	CF <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	5200	4400	1600	55

Anexo A (cont.)

HFC-152a	$\text{CHF}_2\text{CH}_3$	460	140	44	1,5
HFC-227ea	$\text{C}_3\text{HF}_7$	4500	3300	1100	41
HFC-236fa	$\text{C}_3\text{H}_2\text{F}_6$	6100	8000	6600	250
HFC-245ca	$\text{C}_3\text{H}_3\text{F}_5$	1900	610	190	7
Halon 1301	$\text{CF}_3\text{Br}$	6200	5600	2200	65
Hexafluoreto de enxofre	$\text{SF}_6$	16500	24900	36500	3200
Monóxido de carbono	CO	---	---	---	meses
VOC não-metano	---	---	---	---	dias/meses
Óxidos de nitrogênio	$\text{NO}_x$	---	---	---	dias

## ANEXO B: Potenciais de Redução de Camada de Ozônio – WMO

Fonte: BOUSTEAD *et al.* (2000, pp. 27, tradução nossa)

Composto	Fórmula	ODP 100 anos	ODP 500 anos	Total ODP	Tempo de vida (anos)
Tetraclorometano	CCl <sub>4</sub>	1,23	1,14	1,20	42
1,1,1-Tricloroetano	CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>	0,45	0,15	0,12	5,4 ± 5
Bromometano	CH <sub>3</sub> Br	2,3	0,69	0,64	1,3
CFC-11	CFCl <sub>3</sub>	1,00	1,00	1,00	50 ± 5
CFC-12	CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	---	---	0,82	102
CFC-113	CF <sub>2</sub> ClCFCl <sub>2</sub>	0,59	0,78	0,90	85
CFC-114	CF <sub>2</sub> ClCF <sub>2</sub> Cl	---	---	0,85	300
CFC-115	CF <sub>2</sub> ClCF <sub>3</sub>	---	---	0,40	1700
HCFC-22	CHF <sub>2</sub> Cl	0,14	0,07	0,04	13,3
HCFC-123	CF <sub>3</sub> CHCl <sub>2</sub>	0,08	0,03	0,014	1,4
HCFC-124	CF <sub>3</sub> CHFCl	0,08	0,03	0,03	5,9
HCFC-141b	CFCl <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	0,33	0,13	0,10	9,4
HCFC-142b	CF <sub>2</sub> ClCH <sub>3</sub>	0,14	0,08	0,05	19,5
HCFC-225ca	C <sub>3</sub> F <sub>5</sub> HCl <sub>2</sub>	0,10	0,03	0,02	2,5
HCFC-225cb	C <sub>3</sub> F <sub>5</sub> HCl <sub>2</sub>	0,11	0,0	0,02	6,6
Halon 1301	CF <sub>3</sub> Br	10,5	11,5	12	65
Halon 1211	CF <sub>2</sub> ClBr	9,0	4,9	5,1	20
Halon 1202	CF <sub>2</sub> Br <sub>2</sub>	11,0	7,0	~ 1,25	---
Halon 2402	CF <sub>2</sub> BrCF <sub>2</sub> Br	---	---	~ 7	25
HBFC 1201	CF <sub>2</sub> HBr	---	---	~ 1,4	---
HBFC 2401	CF <sub>3</sub> CHBr	---	---	~ 0,25	---
HBFC 2311	CF <sub>3</sub> CHClBr	---	---	~ 0,14	---

## ANEXO C: Potenciais de Formação de Oxidantes Fotoquímicos

Fonte: BOUSTEAD *et al.* (2000, pp. 28-30, tradução nossa)

Composto	Andersson-Sköld <i>et al.</i>			Heijungs <i>et al.</i>	
	Diferença máxima na concentração	Background sueco usual durante 0-4 dias	Background de NO <sub>x</sub> durante 0-4 dias	Média de três localidades europeias	Faixa
<b>ALCANOS</b>					
Metano	---	---	---	0,007	0,000 – 0,030
Etano	0,173	0,126	0,121	0,082	0,020 – 0,300
Propano	0,604	0,503	0,518	0,420	0,016 – 1,200
Butano	0,554	0,467	0,485	0,410	0,150 – 1,150
2-Metil-propano	0,331	0,411	0,389	0,315	0,190 – 0,590
Pentano	0,612	0,298	0,387	0,408	0,090 – 1,050
2-Metil-butano	0,360	0,314	0,345	0,296	0,120 – 0,680
Hexano	0,784	0,452	0,495	0,421	0,100 – 1,510
2-Metil-pentano	0,712	0,529	0,565	0,524	0,190 – 1,400
3-Metil-pentano	0,647	0,409	0,457	0,431	0,110 – 1,250
2,2-Dimetil-butano	---	---	---	0,251	0,120 – 0,490
2,3-Dimetil-butano	---	---	---	0,384	0,250 – 0,650
Heptano	0,791	0,518	0,592	0,529	0,130 – 1,650
2-Metil-hexano	---	---	---	0,492	0,110 – 1,590
3-Metil-hexano	---	---	---	0,492	0,110 – 1,570
Octano	0,698	0,461	0,544	0,493	0,120 – 1,510
2-Metil-heptano	0,691	0,457	0,524	0,469	0,120 – 1,460
Nonano	0,633	0,351	0,463	0,469	0,100 – 1,480
2-Metil-octano	0,669	0,454	0,523	0,505	0,120 – 1,470
Decano	0,719	0,422	0,509	0,464	0,080 – 1,560
2-Metil-nonano	0,719	0,423	0,498	0,448	0,080 – 1,530
Undecano	0,662	0,386	0,476	0,436	0,080 – 1,440
Duodecano	0,576	0,311	0,452	0,412	0,080 – 1,380
<i>Média</i>	---	---	---	0,398	0,114 – 1,173
<b>HIDROCARBONETOS HALOGENADOS</b>					
Diclorometano	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000 – 0,030
Triclorometano	0,007	0,004	0,003	---	---
1,1,1-Tricloroetano	0,007	0,002	0,001	0,001	0,000 – 0,010
Tricloroetano	0,086	0,111	0,091	0,066	0,010 – 0,130
Tetracloroetano	0,014	0,014	0,010	0,005	0,000 – 0,020
3-Cloropropeno	0,561	0,483	0,667	---	---
<i>Média</i>	---	---	---	0,021	0,003 – 0,048

Anexo C (cont.<sup>1</sup>)

Composto	Andersson-Sköld <i>et al.</i>			Heijungs <i>et al.</i>	
	Diferença máxima na concentração	Background sueco usual durante 0-4 dias	Background de NO <sub>x</sub> durante 0-4 dias	Média de três localidades europeias	Faixa
<b>ÁLCOOIS</b>					
Metanol	0,165	0,213	0,178	0,123	0,090 – 0,210
Etanol	0,446	0,225	0,317	0,268	0,040 – 0,890
Propanol	0,173	0,203	0,188	---	---
Butanol	0,655	0,214	0,404	---	---
2-Metil-1-propanol	0,388	0,255	0,290	---	---
2,2-Butanodiol	0,288	0,066	0,216	---	---
<i>Média</i>	---	---	---	0,196	0,065 – 0,550
<b>ALDEÍDOS</b>					
Metanal	0,424	0,261	0,379	0,421	0,220 – 0,580
Etanal	0,532	0,186	0,615	0,527	0,330 – 1,220
Propanal	0,655	0,170	0,652	0,603	0,280 – 1,600
Butanal	0,640	0,171	0,597	0,568	0,160 – 1,600
2-Metil-propanal	0,583	0,300	0,677	0,631	0,380 – 1,280
Pentanal	0,612	0,321	0,686	0,686	0,000 – 2,680
Propenal	1,201	0,832	0,827	---	---
Fenil-metanal	---	---	---	-0,33	(-0,82) – (-0,12)
<i>Média</i>	---	---	---	0,443	0,079 – 1,263
<b>CETONAS</b>					
Propanona	0,173	0,124	0,160	0,178	0,100 – 0,270
Butanona	0,388	0,178	0,346	0,473	0,170 – 0,800
2-Metil-4-pentanona	0,676	0,318	0,666	---	---
<i>Média</i>	---	---	---	0,326	0,135 – 0,535
<b>ÉSTERES</b>					
Metanoato de metila	0,058	0,067	0,046	---	---
Propenoato de metila	---	---	---	0,025	0,000 – 0,070
Etanoato de etila	0,295	0,294	0,286	0,218	0,110 – 0,560
Etanoato de isopropila	---	---	---	0,215	0,140 – 0,360
Etanoato de butila	0,439	0,320	0,367	0,323	0,140 – 0,910
Etanoato de isobutila	0,288	0,353	0,345	0,332	0,210 – 0,590
<i>Média</i>	---	---	---	0,223	0,120 – 0,498

Anexo C (cont.<sup>2</sup>)

Composto	Andersson-Sköld <i>et al.</i>			Heijungs <i>et al.</i>	
	Diferença máxima na concentração	Background sueco usual durante 0-4 dias	Background de NO <sub>x</sub> durante 0-4 dias	Média de três localidades europeias	Faixa
<b>OLEFINAS</b>					
Eteno	1,000	1,000	1,000	1,000	1
Propeno	0,734	0,599	1,060	1,030	0,750 – 1,630
1-Buteno	0,799	0,495	0,983	0,959	0,570 – 1,850
2-Buteno	0,784	0,436	1,021	0,992	0,820 – 1,570
1-Penteno	0,727	0,424	0,833	1,059	0,400 – 2,880
2-Penteno	0,770	0,381	0,965	0,930	0,650 – 1,600
2-Metil-1-buteno	0,691	0,181	0,717	0,777	0,520 – 1,130
2-Metil-2-buteno	0,935	0,453	0,784	0,779	0,610 – 1,020
3-Metil-1-buteno	---	---	---	0,895	0,600 – 1,540
Isobuteno	0,791	0,580	0,648	0,634	0,580 – 0,760
<i>Média</i>	---	---	---	0,906	0,650 – 1,498
<b>ACETILENOS</b>					
Etino	0,273	0,368	0,291	0,168	0,100 – 0,420
<b>AROMÁTICOS</b>					
Benzeno	0,317	0,402	0,318	0,189	0,110 – 0,450
Tolueno	0,446	0,470	0,565	0,563	0,410 – 0,830
o-Xileno	0,424	0,167	0,598	0,666	0,410 – 0,970
m-Xileno	0,583	0,474	0,884	0,993	0,780 – 1,350
p-Xileno	0,612	0,472	0,796	0,888	0,630 – 1,800
Etil-benzeno	0,532	0,504	0,621	0,593	0,350 – 1,140
1,2,3-Trimetil-benzeno	0,698	0,292	0,868	1,170	0,760 – 1,750
1,2,4-Trimetil-benzeno	0,683	0,330	0,938	1,200	0,860 – 1,760
1,3,5-Trimetil-benzeno	0,691	0,330	0,989	1,150	0,740 – 1,740
o-Etil-tolueno	0,597	0,408	0,637	0,668	0,310 – 1,300
m-Etil-tolueno	0,626	0,401	0,729	0,794	0,410 – 1,400
p-Etil-tolueno	0,626	0,443	0,682	0,725	0,360 – 1,350
Propil-benzeno	0,511	0,454	0,531	0,492	0,250 – 1,100
Isopropil-benzeno	0,511	0,523	0,594	0,565	0,350 – 1,050
<i>Média</i>	---	---	---	0,761	0,481 – 1,258
<b>OUTROS</b>					
Metil-ciclohexano	0,403	0,386	0,392	---	---
Isopreno	0,532	0,583	0,768	---	---
Metóxi-metano	0,288	0,343	0,286	---	---
Propileno glicol m.e.	0,770	0,491	0,497	---	---
Propileno glicol m.e.a.	0,309	0,157	0,143	---	---
Monóxido de carbono	0,036	0,040	0,032	---	---

## ANEXO D: Potenciais de Acidificação

Fonte: adaptado de BOUSTEAD *et al.* (2000, pp. 30, tradução nossa)

Composto	Fórmula	Reação	Massa molar (g/mol)	AP kg SO <sub>2</sub> /kg
Dióxido de enxofre	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O → H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> → 2H <sup>+</sup> + SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	64,06	1
Trióxido de enxofre	SO <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O → H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> → 2H <sup>+</sup> + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	80,06	0,8
Dióxido de nitrogênio	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> + 1/2H <sub>2</sub> O + 1/4O <sub>2</sub> → H <sup>+</sup> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	46,01	0,7
Monóxido de nitrogênio	NO	NO + 1/2H <sub>2</sub> O + O <sub>3</sub> → H <sup>+</sup> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 3/4O <sub>2</sub>	30,01	1,07
Ácido clorídrico	HCl	HCl → H <sup>+</sup> + Cl <sup>-</sup>	36,46	0,88
Ácido nítrico	HNO <sub>3</sub>	HNO <sub>3</sub> → H <sup>+</sup> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	63,01	0,51
Ácido sulfúrico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> → 2H <sup>+</sup> + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	98,07	0,65
Ácido fosfórico	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> → 3H <sup>+</sup> + PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	98,00	0,98
Ácido fluorídrico	HF	HF → H <sup>+</sup> + F <sup>-</sup>	20,01	1,6
Amônia	NH <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O → NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + OH <sup>-</sup>	17,03	1,88

## ANEXO E: Potenciais de Eutrofização

Tabela E1: Potenciais de Eutrofização por Elemento Limitante  
 Fonte: BOUSTEAD *et al.* (2000, pp. 31, tradução nossa)

Composto	N no ar kg O <sub>2</sub> /kg	P-limitante kg O <sub>2</sub> /kg	N-limitante kg O <sub>2</sub> /kg	N-limitante + N no ar kg O <sub>2</sub> /kg	Máximo kg O <sub>2</sub> /kg	Máximo kg PO <sub>4</sub> eq. /kg
N no ar	20	0	0	20	20	0,42
NO <sub>x</sub> no ar	6	0	0	6	6	0,13
NH <sub>3</sub> no ar	16	0	0	16	16	0,35
N na água	0	0	20	20	20	0,42
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> na água	0	0	4,4	4,4	4,4	0,1
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> na água	0	0	15	15	15	0,33
P na água	0	140	0	0	140	3,06
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> na água	0	46	0	0	46	1

Tabela E2: Potenciais de Eutrofização em Diferentes Referências  
 Fonte: BOUSTEAD *et al.* (2000, pp. 31, tradução nossa)

Composto	Massa molar (g/mol)	EP (N) kg N/kg	EP (P) kg P/kg	EP kg NO <sub>3</sub> /kg
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	62	0,23	0	1
NO <sub>2</sub>	46	0,30	0	1,35
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	46	0,30	0	1,35
NO	30	0,47	0	2,07
NH <sub>3</sub>	17	0,82	0	3,64
CN <sup>-</sup>	26	0,54	0	2,38
Total N	14	1	0	4,43
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	95	0	0,33	10,45
P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup>	174	0	0,35	11,41
Total P	31	0	1	32,03

**ANEXO F: Resumo dos Investimentos no Brasil, 2004-2007 (em R\$ Milhões)**Fonte: GOLDENSTEIN *et al.* (2007, pp. 117)

<b>EMPRESA</b>	<b>INVESTIMENTO</b>	<b>LOCAL</b>	<b>OBJETIVO</b>
Continental	750	BA	Construção de fábrica para produção de pneus para uso em veículos de passeio e pesados
Michelin	110	RJ	Produção de pneus de alta performance
Michelin	440	RJ	Ampliação da capacidade de produção de pneus para caminhões e ônibus
Michelin	440	RJ	Construção de fábrica para produção de pneus para mineração e terraplenagem
Michelin	110	RJ	Aumento da produção de cabos e aros metálicos, insumos básicos na produção de pneus
Pirelli	116	RS	Produção de pneus radiais para caminhões, ônibus e agrícolas
Pirelli	160	BA	Expansão da capacidade produtiva de pneus radiais para veículos de passeio
Goodyear	265	SP	Aumento da produção de pneus para máquinas agrícolas e do tipo radial para caminhões
Bridgestone	450	BA	Construção de fábrica para produção de pneus para veículos de passeio e caminhonetes
Bridgestone	110	SP	Modernização da fábrica e ampliação da capacidade produtiva de pneus para uso em caminhões
<b>TOTAL</b>	<b>3 Bilhões de Reais</b>		

## ANEXO G: Principais Etapas do Processo de Recapagem/Recauchutagem

Fonte: CONCAP PNEUS (2007)

ETAPA	DESCRICÃO
	<b>1.Limpeza da carcaça</b> Os pneus são limpos por equipamento apropriado, retirando a sujeira para não comprometer as próximas etapas do processo.
	<b>2.Inspeção inicial</b> As carcaças são inspecionadas, determinado se o pneu pode ser reformado dentro das normas de segurança, atendendo as necessidades dos clientes.
	<b>3.Raspagem</b> Os pneus são raspados retirando o restante da rodagem e devolvendo a simetria à carcaça, determinando textura, diâmetro e contorno que possibilitem a aderência da nova rodagem.
	<b>4.Escareação</b> Todas as irregularidades causadas por penetração de objetos cortantes são escareadas, tendo como objetivo corrigi-las.
	<b>5.Cimentação</b> A cola cimento é aplicada sobre a carcaça, dando adesão e proteção à superfície raspada, evitando oxidação e contaminação.
	<b>6.Enchimento</b> As escareações são preenchidas com a borracha apropriada, preparando o pneu para o recebimento da banda.
	<b>7.Preparação de bandas</b> A banda é preparada conforme dimensões determinadas na raspagem e o desenho recomendado pelo cliente.
	<b>8.Aplicação da banda</b> A banda de rodagem é roletada na carcaça de maneira uniforme.
	<b>9.Montagem</b> O envelope é colocado no pneu, que é montado em um aro.
	<b>10.Vulcanização</b> A vulcanização une a nova banda de rodagem à carcaça. Pode ser feita em autoclaves ou em prensas.

## ANEXO H: Questionário de Pesquisa – Parte I: Gestão Ambiental



### QUESTIONÁRIO DE PESQUISA - PARTE I: GESTÃO AMBIENTAL

1. A empresa possui um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) implementado? \_\_\_\_\_

PREFERIMOS NÃO RESPONDER     SIM     NÃO

2. Se 1 = SIM, o sistema se baseia em alguma norma? \_\_\_\_\_

PREFERIMOS NÃO RESPONDER     SIM     NÃO

3. Se 2 = SIM, em que norma? \_\_\_\_\_

PREFERIMOS NÃO RESPONDER    **RESPOSTA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

4. A empresa possui algum tipo de certificação ambiental? \_\_\_\_\_

PREFERIMOS NÃO RESPONDER     SIM     NÃO

5. Se 4 = SIM, qual certificação ambiental? \_\_\_\_\_

PREFERIMOS NÃO RESPONDER    **RESPOSTA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

6. Seus produtos recebem algum selo verde? \_\_\_\_\_

PREFERIMOS NÃO RESPONDER     SIM     NÃO

7. Se 6 = SIM, qual selo verde? \_\_\_\_\_

PREFERIMOS NÃO RESPONDER    **RESPOSTA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

8. A empresa utiliza algum marketing verde sobre seus produtos? \_\_\_\_\_

PREFERIMOS NÃO RESPONDER     SIM     NÃO

9. Se 8 = SIM, que estratégia de marketing verde adota? \_\_\_\_\_

PREFERIMOS NÃO RESPONDER    **RESPOSTA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

10. A empresa participa de algum programa voluntário de responsabilidade ambiental? \_\_\_\_\_

PREFERIMOS NÃO RESPONDER     SIM     NÃO

11. Se 10 = SIM, qual programa voluntário de responsabilidade ambiental? \_\_\_\_\_

PREFERIMOS NÃO RESPONDER    **RESPOSTA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

12. A empresa publica relatórios ambientais? \_\_\_\_\_

PREFERIMOS NÃO RESPONDER     SIM     NÃO

13. Se 12 = SIM, de que forma e qual o público alvo? \_\_\_\_\_

PREFERIMOS NÃO RESPONDER    **RESPOSTA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## ANEXO I: Questionário de Pesquisa – Parte II: Avaliação de Ciclo de Vida

 **QUESTIONÁRIO DE PESQUISA - PARTE II: AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA**

1. A empresa já realizou uma Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) para algum de seus produtos? \_\_\_\_\_  
 PREFERIMOS NÃO RESPONDER     SIM     NÃO

2. Se 1 = SIM, para qual produto? \_\_\_\_\_  
 PREFERIMOS NÃO RESPONDER    **RESPOSTA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

3. Se 1 = SIM, o estudo foi realizado por pessoal próprio ou por especialista externo? \_\_\_\_\_  
 PREFERIMOS NÃO RESPONDER    **RESPOSTA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

4. Se 1 = SIM, com que objetivo? \_\_\_\_\_  
 PREFERIMOS NÃO RESPONDER    **RESPOSTA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

5. Se 1 = SIM, para que público o estudo foi divulgado? \_\_\_\_\_  
 PREFERIMOS NÃO RESPONDER    **RESPOSTA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

6. Com que frequência a empresa realiza estudo de ACV de seus produtos? \_\_\_\_\_  
 PREFERIMOS NÃO RESPONDER    **RESPOSTA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

7. A empresa utiliza alguma ferramenta ou metodologia para avaliar os impactos ambientais do ciclo de vida na concepção do produto? \_\_\_\_\_  
 PREFERIMOS NÃO RESPONDER     SIM     NÃO

8. Se 7 = SIM, qual ferramenta ou metodologia? \_\_\_\_\_  
 PREFERIMOS NÃO RESPONDER    **RESPOSTA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## ANEXO J: Questionário de Pesquisa – Parte III: Cadeia Produtiva

	<b>QUESTIONÁRIO DE PESQUISA - PARTE III: CADEIA PRODUTIVA</b>
1. A empresa coleta informações ambientais de seus fornecedores? _____	<input type="radio"/> PREFERIMOS NÃO RESPONDER <input type="radio"/> SIM <input type="radio"/> NÃO
2. A empresa adota algum critério ambiental na seleção de seus fornecedores? _____	<input type="radio"/> PREFERIMOS NÃO RESPONDER <input type="radio"/> SIM <input type="radio"/> NÃO
3. A empresa fornece dados ambientais de suas atividades para seus clientes? _____	<input type="radio"/> PREFERIMOS NÃO RESPONDER <input type="radio"/> SIM <input type="radio"/> NÃO
4. A empresa considera que os aspectos ambientais do seu produto são um diferencial apreciado pelos clientes? _____	<input type="radio"/> PREFERIMOS NÃO RESPONDER <input type="radio"/> SIM <input type="radio"/> NÃO
5. A empresa realiza algum programa de coleta de produtos pós-consumo? _____	<input type="radio"/> PREFERIMOS NÃO RESPONDER <input type="radio"/> SIM <input type="radio"/> NÃO
6. Se 5 = SIM, como o programa está estruturado? _____	<input type="radio"/> PREFERIMOS NÃO RESPONDER <b>RESPOSTA:</b> _____ _____ _____
7. A empresa desenvolve alguma iniciativa de aproveitamento ou reciclagem de produtos pós-consumo? _____	<input type="radio"/> PREFERIMOS NÃO RESPONDER <input type="radio"/> SIM <input type="radio"/> NÃO
8. Se 7 = SIM, de que forma a empresa atua no aproveitamento ou reciclagem de produtos pós-consumo? _____	<input type="radio"/> PREFERIMOS NÃO RESPONDER <b>RESPOSTA:</b> _____ _____ _____