

RENATA BACHMANN GUIMARÃES VALT

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE EMBALAGENS DE PET, DE ALUMÍNIO
E DE VIDRO PARA REFRIGERANTES NO BRASIL VARIANDO A
TAXA DE RECICLAGEM DOS MATERIAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Área de Concentração em Engenharia de Processos Térmicos e Químicos, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. Georges Kaskantzis Neto

CURITIBA

2004



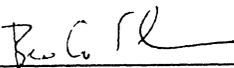
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
Programa de Pós-Graduação em Engenharia - PIPE
Setor de Tecnologia

RELATORIO DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

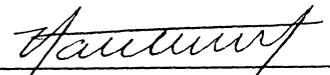
Aos nove dias do mês de dezembro de 2004, no Auditorio do CESEC no Centro Politecnico - UFPR, foi instalada pelo Prof Dr Fernando Wypych coordenador do PIPE – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, a Banca Examinadora para a Septuagesima primeira defesa de mestrado na area de concentração Engenharia de Processos Termicos e Quimicos Estiveram presentes no Ato, além do coordenador do Curso de Pós-Graduação, professores, alunos e visitantes A Banca Examinadora, atendendo a determinação do Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia, foi constituída pelos professores doutores Beate Frank (FURB), Urivald Pawlowsky (UFPR), Luiz Fernando de Lima Luz Junior (UFPR), Georges Kaskantzis Neto (UFPR) As 14 00 horas, a banca iniciou os trabalhos, convidando a candidata Renata Bachmann Guimarães Valt a fazer a apresentação da dissertação de mestrado intitulada “ Análise do ciclo de vida de embalagens de PET, de alumínio e de vidro para refrigerantes no Brasil variando a taxa de reciclagem dos materiais ” Encerrada a apresentação, iniciou-se a fase de arguição pelos membros participantes

Tendo em vista a dissertação e a arguição, a banca aprova sem
restrições o candidato,
(de acordo com a determinação dos Artigos 62 e 63 da Resolução 62/03 de 22 07 03)

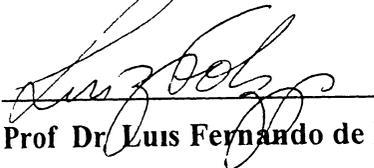
Curitiba, 9 de dezembro 2004



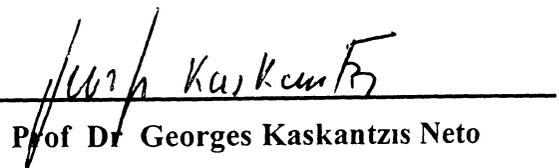
Profa Dra Beate Frank



Prof Dr Urivald Pawlowsky



Prof Dr Luis Fernando de L Junior



Prof Dr Georges Kaskantzis Neto

AGRADECIMENTOS

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Meu especial agradecimento a todas as pessoas que colaboraram como sujeitos da pesquisa.

A toda minha família, pela ajuda e paciência.

Ao meu marido Emerson, pela compreensão e dedicação.

Ao meu filho João Henrique, para quem tudo sempre é realizado.

Ao professor e orientador Dr. Georges Kaskantzis Neto, pelo acompanhamento e revisão do estudo.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE ABREVIATURAS	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA	3
2.1.1 Definição.....	3
2.1.2 Utilização	4
2.1.3 Normatização da ACV - ISO 14000	5
2.1.4 Fases da ACV	7
2.1.4.1 Definição de Objetivo e Escopo	8
2.1.4.2 Análise do Inventário	9
2.1.4.3 Avaliação dos Impactos.....	11
2.1.4.4 Interpretação	12
2.1.5 Método Eco Indicador 95.....	12
3 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE EMBALAGENS PARA REFRIGERANTES	17
3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SETORES DE EMBALAGENS PARA REFRIGERANTES	17
3.2 POLIETILENO TEREFALATO.....	20
3.3 ALUMÍNIO	25
3.4 VIDRO.....	28
3.5 RECICLAGEM	31
3.5.1 Definição.....	31
3.5.2 Tipos de Reciclagem	35
3.5.2.1 Reciclagem Química	35
3.5.2.2 Reciclagem Mecânica	36
3.5.2.3 Reciclagem Energética.....	40
3.5.3 Mercado da Reciclagem	41

3.6	ANÁLISE DA CADEIA DE PRODUÇÃO DE PET	43
3.6.1	Extração do Petróleo	44
3.6.2	Refino do Petróleo	45
3.6.2.1	Obtenção da Nafta	45
3.6.2.2	Obtenção do Etileno	46
3.6.2.3	Obtenção do p-xileno	47
3.6.2.4	Obtenção do Monoetilenoglicol	47
3.6.2.5	Obtenção do Dimetiltereftalato	47
3.6.3	Fabricação da Resina	48
3.6.4	Fabricação da Preforma	48
3.6.5	Produção da garrafa e lavagem	49
3.6.6	Fabricação do rótulo e da tampa	49
3.6.7	Reciclagem	50
3.7	ANÁLISE DA CADEIA DE PRODUÇÃO DO ALUMÍNIO	51
3.7.1	Extração da Bauxita e Produção da Alumina	52
3.7.2	Eletrólise e Fundição	52
3.7.3	Laminação	53
3.7.4	Produção da Lata	53
3.7.5	Verniz e Resina Epoxi	53
3.7.6	Lavagem	54
3.7.7	Reciclagem	54
3.8	ANÁLISE DA CADEIA DE PRODUÇÃO DO VIDRO	54
3.8.1	Fabricação do vidro	55
3.8.2	Produção da garrafa	56
3.8.3	Lavagem	56
3.8.4	Tampa	56
3.8.5	Reciclagem	57
4	METODOLOGIA	58
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
5.1	IDENTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS	71
5.2	QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS E ESTUDO DAS TAXAS DE RECICLAGEM	76
5.3	AVALIAÇÃO ATRAVÉS DO MÉTODO ECO-INDICADOR 95	106

6 CONCLUSÕES.....	116
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
ANEXO I.....	123
ANEXO II.....	125
ANEXO III.....	135
ANEXO IV.....	140
ANEXO V.....	166

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ETAPAS DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA	8
FIGURA 2 – PARTICIPAÇÃO DOS MATERIAIS NO MERCADO BRASILEIRO DE EMBALAGENS EM 2003.....	19
FIGURA 3 – GARRAFA PET DE 2L PARA ENVASE DE REFRIGERANTES	24
FIGURA 4 – UTILIZAÇÃO DO ALUMÍNIO NO BRASIL	26
FIGURA 5 – LATA DE ALUMÍNIO DE 350 ML PARA ENVASE DE REFRIGERANTE	27
FIGURA 6 – GARRAFA DE VIDRO INCOLOR DE 290 ML PARA ENVASE DE REFRIGERANTE	30
FIGURA 7 – SIMBOLOGIA BRASILEIRA DE IDENTIFICAÇÃO DE MATERIAIS RECICLÁVEIS	32
FIGURA 8 – COMPOSIÇÃO MÉDIA DO LIXO URBANO NO BRASIL SEM A UTILIZAÇÃO DA COLETA SELETIVA	33
FIGURA 9 – RESÍDUOS PLÁSTICOS SEPARADOS EM PROGRAMAS DE COLETA SELETIVA	34
FIGURA 10 – DIAGRAMA DA RECICLAGEM DE GARRAFAS PET.....	36
FIGURA 11 – DIAGRAMA DA RECICLAGEM DE LATAS DE ALUMÍNIO.....	38
FIGURA 12 – DIAGRAMA DA RECICLAGEM DE GARRAFAS DE VIDRO	39
FIGURA 13 – DIAGRAMA DE PRODUÇÃO DO POLÍMERO PET	43
FIGURA 14 – DIAGRAMA DE PRODUÇÃO DO ALUMÍNIO.....	51
FIGURA 15 – DIAGRAMA DE PRODUÇÃO DO VIDRO	55
FIGURA 16 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA AS TAXAS ATUAIS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L	96
FIGURA 17 – QUANTIFICAÇÃO UNITÁRIA DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA AS TAXAS ATUAIS DE RECICLAGEM.....	98
FIGURA 18 – QUANTIFICAÇÃO DO GASTO ENERGÉTICO DA PRODUÇÃO DE EMBALAGENS CONSIDERANDO A VARIAÇÃO DAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L	100
FIGURA 19 – CONSUMO DE RECURSOS NATURAIS DA PRODUÇÃO DE EMBALAGENS CONSIDERANDO A VARIAÇÃO DAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L	101
FIGURA 20 – CONSUMO DE ÁGUA NA PRODUÇÃO DE EMBALAGENS CONSIDERANDO A VARIAÇÃO DAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L	102

FIGURA 21 – FORMAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA PRODUÇÃO DE EMBALGENS CONSIDERANDO A VARIAÇÃO DAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L	103
FIGURA 22 – GERAÇÃO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DA PRODUÇÃO DE EMBALGENS CONSIDERANDO A VARIAÇÃO DAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L	104
FIGURA 23 – GERAÇÃO DE EFLUENTES LÍQUIDOS DA PRODUÇÃO DE EMBALGENS CONSIDERANDO A VARIAÇÃO DAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L	105
FIGURA 24 – QUANTIFICAÇÃO DOS EFEITOS GLOBAIS ASSOCIADOS AOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO PARA AS TAXAS ATUAIS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L	108
FIGURA 25 – VALORAÇÃO DOS EFEITOS GLOBAIS ASSOCIADOS AOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO PARA AS TAXAS ATUAIS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L	109
FIGURA 26 – CATEGORIAS DE IMPACTO ASSOCIADAS AO CICLO DE VIDA DE GARRAFAS PET CONSIDERANDO A VARIAÇÃO DAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L	111
FIGURA 27 – CATEGORIAS DE IMPACTO ASSOCIADAS AO CICLO DE VIDA DE LATAS DE ALUMÍNIO CONSIDERANDO A VARIAÇÃO DAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L	112
FIGURA 28 – CATEGORIAS DE IMPACTO ASSOCIADAS AO CICLO DE VIDA DAS GARRAFAS DE VIDRO CONSIDERANDO A VARIAÇÃO DAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L	113
FIGURA 29 – VALORES DE ECO INDICADOR ASSOCIADOS AOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE EMBALGENS CONSIDERANDO A VARIAÇÃO DAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L	114
FIGURA 30 – DISTÂNCIAS PERCORRIDAS ENTRE FABRICANTES NO CICLO DE VIDA DAS GARRAFAS PET	126
FIGURA 31 – DISTÂNCIAS PERCORRIDAS ENTRE FABRICANTES NO CICLO DE VIDA DAS LATAS DE ALUMÍNIO.....	128
FIGURA 32 – DISTÂNCIAS PERCORRIDAS ENTRE FABRICANTES NO CICLO DE VIDA DAS GARRAFAS DE VIDRO	130

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – FATORES DE EQUIVALÊNCIA DOS POLUENTES DO MÉTODO ECO-INDICADOR 95	14
TABELA 2 – TAXAS DE EMISSÃO TOTAL PARA EFEITOS AMBIENTAIS NA EUROPA.....	15
TABELA 3 – FATORES DE VALORAÇÃO DE ACORDO COM O MÉTODO ECO-INDICADOR 95.....	16
TABELA 4 – QUANTIDADE ANUAL DE REFRIGERANTE FABRICADO NO BRASIL	20
TABELA 5 – UTILIZAÇÃO DO PETRÓLEO.....	21
TABELA 6 – PRINCIPAIS TIPOS DE PLÁSTICOS.....	22
TABELA 7 – UTILIZAÇÃO DO PET PARA EMBALAGENS.....	23
TABELA 8 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE DIVERSOS TIPOS DE VIDROS (% MASSA)	28
TABELA 9 – COMPOSIÇÃO MÉDIA DA COLETA SELETIVA EM 2002 NO BRASIL	33
TABELA 10 – PRODUÇÃO, CONSUMO E RECICLAGEM DE PET NO BRASIL	41
TABELA 11 – TAXAS MUNDIAIS DE RECICLAGEM DE LATAS DE ALUMÍNIO	42
TABELA 12 – FONTES DE DADOS COLETADOS PARA A ACV DAS GARRAFAS PET	59
TABELA 13 – FONTES DE DADOS COLETADOS PARA A ACV DAS LATAS DE ALUMÍNIO.....	62
TABELA 14 – FONTES DE DADOS COLETADOS PARA A ACV DAS GARRAFAS DE VIDRO.....	63
TABELA 15 – VALORES DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS PARA TRANSPORTE RODOVIÁRIO EM CAMINHÃO COM ÓLEO DIESEL	65
TABELA 16 – VALORES DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS PARA TRANSPORTE FERROVIÁRIO EM TREM COM ÓLEO DIESEL.....	66
TABELA 17 – VALORES DE EMISSÕES DE VOC'S PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO E DERIVADOS POR TUBOVIAS E DENSIDADE DOS MATERIAIS.....	66
TABELA 18 – IDENTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS DA FABRICAÇÃO DE GARRAFAS PET	72
TABELA 19 – IDENTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS DA FABRICAÇÃO DE LATAS DE ALUMÍNIO	74
TABELA 20 – IDENTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS DA FABRICAÇÃO DE GARRAFAS DE VIDRO	75

TABELA 21 – QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS PARA O TRANSPORTE DE 1000 KG DE EMBALAGENS.....	77
TABELA 22 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA 1000 KG DE GARRAFAS PET	79
TABELA 23 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA 1000 KG DE LATAS DE ALUMÍNIO	80
TABELA 24 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA 1000 KG DE GARRAFAS DE VIDRO.....	82
TABELA 25 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS DE PET COM TAXA DE RECICLAGEM DE 40% E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L	84
TABELA 26 – RESUMO DA QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS PET COM TAXA DE RECICLAGEM DE 40% E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L	86
TABELA 27 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA LATAS DE ALUMÍNIO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 80% E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L.....	87
TABELA 28 – RESUMO DA QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA LATAS DE ALUMÍNIO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 80% E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L.....	90
TABELA 29 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAL PARA GARRAFAS DE VIDRO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 25% E TAXA DE REUSO DE 20 VEZES E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L.....	91
TABELA 30 – RESUMO DA QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS DE VIDRO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 25% E TAXA DE REUSO DE 20 VEZES E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L	94
TABELA 31 – RESUMO DA QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA AS EMBALAGENS ESTUDADAS COM AS TAXAS DE RECICLAGEM ATUAIS E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L ...	95
TABELA 32 – RESUMO DA QUANTIFICAÇÃO UNITÁRIA DOS ASPECTOS AMBIENTAIS POR EMBALAGEM PARA AS TAXAS DE RECICLAGEM ATUAIS	97
TABELA 33 – RESUMO DA QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA AS EMBALAGENS ESTUDADAS COM A VARIAÇÃO DAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L	99
TABELA 34 – VALORES DE ECO-INDICADOR PARA DIVERSAS TAXAS DE RECICLAGEM DE GARRAFAS PET, LATAS DE ALUMÍNIO E GARRAFAS DE VIDRO E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L .	107
TABELA 35 – DISTÂNCIAS PERCORRIDAS ENTRE FABRICANTES NO CICLO DE VIDA DAS GARRAFAS PET PARA 1000 KG DE PRODUTO	127

TABELA 36 – DISTÂNCIAS PERCORRIDAS ENTRE FABRICANTES NO CICLO DE VIDA DAS LATAS DE ALUMÍNIO PARA 1000 KG DE PRODUTO ..	129
TABELA 37 – DISTÂNCIAS PERCORRIDAS ENTRE FABRICANTES NO CICLO DE VIDA DAS GARRAFAS DE VIDRO PARA 1000 KG DE PRODUTO	131
TABELA 38 – CÁLCULO DOS FATORES DE CORREÇÃO DE PRODUÇÃO PARA GARRAFAS PET DE ACORDO COM A TAXA DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L	132
TABELA 39 – CÁLCULO DOS FATORES DE CORREÇÃO DE PRODUÇÃO PARA LATAS DE ALUMÍNIO DE ACORDO COM A TAXA DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L.....	133
TABELA 40 – CÁLCULO DOS FATORES DE CORREÇÃO DE PRODUÇÃO PARA GARRAFAS DE VIDRO DE ACORDO COM A TAXA DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L	134
TABELA 41 – CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS REFERENTES À PRODUÇÃO DE GARRAFAS PET PARA DIVERSAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L.....	136
TABELA 42 – CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS REFERENTES À PRODUÇÃO DE LATAS DE ALUMÍNIO PARA DIVERSAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L.....	137
TABELA 43 – CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS REFERENTES À PRODUÇÃO DE GARRAFAS DE VIDRO PARA DIVERSAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L.....	138
TABELA 44 – DADOS NORMALIZADOS PARA DIVERSAS TAXAS DE RECICLAGEM DE GARRAFAS PET, LATAS DE ALUMÍNIO E GARRAFAS DE VIDRO E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L.	139
TABELA 45 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS PET COM TAXA DE RECICLAGEM DE 0%.....	141
TABELA 46 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS PET COM TAXA DE RECICLAGEM DE 10%.....	142
TABELA 47 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS PET COM TAXA DE RECICLAGEM DE 50%.....	143
TABELA 48 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS PET COM TAXA DE RECICLAGEM DE 85%.....	144
TABELA 49 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS PET COM TAXA DE RECICLAGEM DE 100%.....	145
TABELA 50 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA LATAS DE ALUMÍNIO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 0%	146
TABELA 51 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA LATAS DE ALUMÍNIO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 10%	148

TABELA 52 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA LATAS DE ALUMÍNIO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 50%	150
TABELA 53 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA LATAS DE ALUMÍNIO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 85%	152
TABELA 54 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA LATAS DE ALUMÍNIO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 100%	154
TABELA 55 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS DE VIDRO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 0%.....	156
TABELA 56 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS DE VIDRO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 10%....	158
TABELA 57 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS DE VIDRO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 50%....	160
TABELA 58 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS DE VIDRO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 85%....	162
TABELA 59 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS DE VIDRO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 100%..	164

LISTA DE ABREVIATURAS

ABIQUIM	– Associação Brasileira das Indústrias Químicas
ABIR	– Associação Brasileira de Indústrias de Refrigerantes
ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRE	– Associação Brasileira de Embalagens
AC	– Acidificação
ACV	– Análise do Ciclo de Vida
AG	– Aquecimento global
AHP	– Processo Analítico Hierárquico
BS	– <i>British Standard</i>
CA	– Consumo de Água
CEMPRE	– Compromisso Empresarial para a Reciclagem
DHET	– Dihidroxetileno Tereftalato
DMT	– Dimetiltereftalato
EA	– Emissão Atmosférica
EF	– Efeito Fotoquímico
EL	– Efluente Líquido
EMAS	– <i>European Eco-Management & Audit Scheme</i>
EM	– Energia
EUT	– Eutrofização
Fc ^P	– Fator de correção para a Produção
Fc ^T	– Fator de Correção para o Transporte
FDA	– <i>Food and Drug Administration</i>
ILSI	– <i>International Life Science Institute</i>
ISO	– <i>International Organization for Standardization</i>
MEG	– Monoetilenoglicol
MP	– Material Particulado
MPS	– Matéria-Prima Secundária
PE	– Polietileno
PEAD	– Polietileno de Alta Densidade
PEBD	– Polietileno de Baixa Densidade
PELBD	– Polietileno Linear de Baixa Densidade
PET	– Polietileno Tereftalato
PP	– Polipropileno
PTA	– Ácido Tereftálico Purificado
PVC	– Policloreto de Vinila
RN	– Recurso Natural
RS	– Resíduo Sólido
SETAC	– <i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>
TR	– Taxa de Reciclagem
VOC	– Compostos Orgânicos Voláteis

RESUMO

O presente trabalho apresenta a análise do ciclo de vida de três embalagens para refrigerantes. Foram estudadas as embalagens de PET, alumínio e vidro considerando as taxas atuais de reciclagem dos materiais e a influência da variação destas taxas. Os dados sobre as matérias-primas e energia utilizados e sobre a emissão de resíduos foram coletados no período de 2003 a 2004, em vinte empresas nacionais localizadas nos estados da Bahia, Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Pará. Com os dados coletados determinou-se, qualitativamente e quantitativamente, os impactos ambientais associados aos processos produtivos de cada embalagem estudada. Os Eco-Indicadores associados foram determinados em seguida, possibilitando o conhecimento e a comparação dos impactos ambientais das três embalagens. Os resultados revelaram que não existe uma embalagem ideal com respeito aos aspectos ambientais analisados, para as taxas de reciclagem atuais. Considerando os impactos ambientais causados pelas embalagens, o estudo mostrou que a garrafa PET contribui mais para a degradação do meio ambiente que as outras embalagens, pelo seu alto potencial de geração de névoa fotoquímica. O estudo também mostrou que o aumento da taxa de reciclagem para todas as embalagens contribui para a preservação do meio ambiente, diminuindo o consumo de matérias-primas e energia e a emissão de resíduos, com exceção do consumo de água para as garrafas de vidro.

Palavras-chave: ACV; análise do ciclo de vida; reciclagem; impacto ambiental; embalagem; garrafas PET; latas de alumínio; garrafas de vidro.

ABSTRACT

The present work shows an analysis of life cycle of three soft drink packages. PET, aluminum and glass packages were studied considering the actual recycling rates of materials and the influence of rates variations. Data about raw material and energy use and about residue emission were collected from 2003 to 2004 in twenty national industries located in Bahia, Minas Gerais, São Paulo, Paraná and Pará. Using the collected data, it was established qualitatively and quantitatively the environmental impacts associated with the productive process of each studied package. Afterwards the Eco-Indicators associated were determined, enabling the knowledge and the comparison about environmental impacts of the three packages. The results reveal that there isn't an ideal package concerning the environmental aspects analyzed at the current recycling rates. Considering the environmental impacts caused by packages, the study showed that PET bottle contributes more to environmental degradation than other packages because of its high potential to generation of photochemical smog. The study also reveals that the increase of recycling rates of all packages contributes to the environmental preservation, decreasing raw material and energy use and wastes emission, except to water use for glass bottle.

key-words: LCA; life cycle assessment; recycling; environmental impact; package; PET bottle; aluminum can; glass bottle.

1 INTRODUÇÃO

As novas técnicas de industrialização desenvolvidas nos últimos anos, juntamente com o aumento populacional e de consumo, têm provocado a elevação da demanda mundial de embalagens, com conseqüente aumento na quantidade de descarte pós-consumo, dificultando sua destinação final. Neste contexto, a reciclagem surge não apenas como uma bandeira ecológica, mas também como uma opção real para a indústria e para a sociedade, aliando consciência ecológica ao desenvolvimento econômico e tecnológico.

Em conjunto com o processo de reciclagem, têm-se realizado estudos da Análise do Ciclo de Vida dos produtos, que consistem em balanços materiais e energéticos, desde a extração da matéria-prima até sua destinação final, com o intuito de se conhecer melhor o produto e sua influência sobre o meio ambiente.

Diante da importância que o tema apresenta, este trabalho tem como objetivo realizar o estudo da Análise do Ciclo de Vida de embalagens PET, de alumínio e de vidro para refrigerantes variando as taxas de reciclagem dos materiais, comparando o grau de impacto em cada etapa e avaliando opções para o gerenciamento de recursos, além de apresentar informações a respeito do que tem sido feito no Brasil com relação ao ciclo destes tipos de embalagens.

Através de estudo que envolve as características do produto, da reciclagem, das técnicas operacionais e das características de mercado, pretende-se contribuir para o esclarecimento do papel ocupado pelas embalagens de refrigerante em relação ao meio ambiente.

A seguir são apresentados os capítulos de revisão bibliográfica, análise do ciclo de vida de embalagens para refrigerantes, metodologia de condução do estudo, resultados e discussão e conclusões do trabalho.

No capítulo 2, de revisão bibliográfica, são apresentados conceitos da Análise do Ciclo de Vida, como definição, utilização, normatização, fases e método de

valoração. A análise do ciclo de vida de embalagens para refrigerantes é apresentada no capítulo 3, que engloba a caracterização dos setores de embalagens para refrigerantes, a caracterização das próprias embalagens e a definição de reciclagem, seus tipos e números relacionados ao setor. São também apresentadas as análises das cadeias de produção de PET, do alumínio e do vidro.

No capítulo 4, referente à metodologia aplicada no estudo, são informadas as considerações feitas durante a execução do trabalho e o detalhamento de cada etapa realizada para a obtenção dos resultados que são apresentados no capítulo 5. Neste capítulo são mostrados os resultados obtidos durante a coleta de dados, entre os quais a identificação e quantificação dos aspectos ambientais, o estudo das taxas de reciclagem e a avaliação dos dados através do método Eco-Indicador 95. Finalmente do capítulo 6 são apresentadas as conclusões do trabalho e sugestões de estudos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentadas as características da Análise do Ciclo de Vida, bem como sua definição, utilização, normatização e etapas.

2.1 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

A seguir são apresentados os principais conceitos sobre a definição de análise do ciclo de vida, sua utilização, padronização, etapas e possibilidades de aplicação.

2.1.1 Definição

A Análise do Ciclo de Vida (ACV) estuda a complexa interação entre um produto e o ambiente, utilizando para tanto a avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados ao ciclo de vida do produto (CHEHEBE, 1998).

A ACV de um determinado produto compreende as etapas que vão desde a retirada da natureza das matérias-primas no sistema produtivo, passando por todas as operações industriais e de consumo até a disposição do produto final quando se encerra sua vida útil (CHEHEBE, 1998).

Para a descrição dos sistemas se faz necessária a realização de balanços de massa e energia para se determinar a geração de emissões gasosas, efluentes líquidos e resíduos sólidos. Por este motivo, alguns pesquisadores referem-se ao trabalho como uma análise dos recursos e perfis ambientais, e com esta ferramenta pode-se avaliar e tomar decisões gerenciais de forma a contribuir para a melhoria e conservação do meio ambiente (KBA, 2000).

O conteúdo mínimo de uma ACV deve abranger três dimensões: extensão, largura e profundidade. A extensão define onde iniciar e parar o estudo, a largura define quantos e quais subsistemas incluir e a profundidade diz respeito ao nível de

detalhes da análise. Estas dimensões devem ser definidas de forma compatível e suficiente para atender o estabelecido nos objetivos do estudo (LIMA, 2001).

A ACV encontra-se ainda em um estágio inicial de desenvolvimento, havendo por isso algumas preocupações referentes à sua aplicabilidade. Segundo ALEXANDER *et al* (2000), existem quatro fatores principais que limitam a ACV. O primeiro fator é a complexidade da coleta de dados. O segundo fator diz respeito às incertezas relativas à sua credibilidade, devido às suposições da coleta de dados e determinação de categorias de impacto feitas durante o estudo.

O terceiro fator limitante é que os resultados alcançados para um estudo em determinada região não podem ser transportados para outras regiões, o mesmo acontecendo com a época em que se realiza o estudo, uma vez que diferenças sociais, econômicas e culturais podem afetar o resultado final. Finalmente, o quarto fator está relacionado com a segurança dos resultados, que depende da qualidade e da confiabilidade dos dados coletados.

Desta forma, alguns princípios devem nortear o desenvolvimento de qualquer estudo nesta área. A ACV deve sistematicamente identificar os aspectos ambientais do sistema produtivo, as hipóteses adotadas devem ser explicadas e defendidas, os dados coletados devem ser documentados e apresentados claramente, e os resultados devem ser informados respeitando a confidencialidade dos dados (KNIGHT, 1996).

2.1.2 Utilização

Os principais objetivos da ACV são descrever quais as matérias-primas utilizadas e emissões ocorridas durante a vida de um produto e realizar a análise de quais impactos ambientais foram causados por estes dois fatores (PRE CONSULTANTS BV, 2000).

Deste modo, a ACV permite a identificação de oportunidades de melhorias dos aspectos ambientais considerando as várias fases de um sistema de produção,

contribuindo para a diminuição do consumo de recursos naturais e geração de resíduos.

A ACV também fornece motivação para o atendimento da legislação ambiental, atendendo às exigências de contínuo aprimoramento nos sistemas de gestão ambiental que demandam as séries da *International Organization for Standardization* (ISO), *British Standard* (BS) e *European Eco-Management & Audit Scheme* (EMAS), além de ser útil como ferramenta de marketing para a obtenção de declarações e rótulos ambientais.

O banco de dados formado pela ACV também permite a avaliação de produtos feitos de diferentes materiais, auxiliando no desenvolvimento de novos processos que proporcionem redução no consumo de recursos naturais e na geração de resíduos (CHEHEBE, 1998).

Além dos fatores citados, durante as últimas duas décadas tem-se verificado um aumento da consciência ecológica por parte dos consumidores. Deste modo, o poder público e a sociedade têm demonstrado um grande interesse pela área ambiental, exigindo informações sobre os impactos ambientais causados pela fabricação dos produtos comercializados e de sua disposição final (TAVARES, 2000).

Por esses motivos, os fabricantes têm dado cada vez mais atenção às propriedades ambientais de seus produtos como uma ferramenta de diferenciá-los e aumentar a sua competitividade.

2.1.3 Normatização da ACV - ISO 14000

A partir da década de 60, com o início de estudos de ciclo de vida sem métodos específicos, tornou-se necessária a padronização da metodologia e o estabelecimento de critérios rígidos para disciplinar a forma como estes estudos devem ser conduzidos (MOURAD, 2002).

A maior contribuição para a padronização desta técnica foi dada pela *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC), que posteriormente orientou os trabalhos de normatização internacional da *International Organization for Standardization* (ISO) que originaram a parte da série de normas ISO 14000 relativas a ACV.

Esta série é composta por quatro normas. A primeira norma é denominada ISO 14040: *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework* que foi aprovada e publicada internacionalmente em 1997. Esta norma estabelece os princípios básicos e os requisitos para a realização e divulgação dos resultados de estudos de ACV, apresentando a definição dos principais termos, descrevendo os objetivos e aplicações da técnica, identificando e caracterizando as fases da ACV (MOURAD, 2002).

A segunda norma da série é identificada como ISO 14041: *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Goal and scope definition and inventory analysis*, publicada internacionalmente em 1998. Ela descreve os requisitos para o estabelecimento do objetivo e escopo de um estudo de ACV, detalhando também as etapas de uma análise de inventário.

A terceira norma da série, a ISO 14042: *Environmental Management – Life cycle assessment – life cycle impact assessment*, foi publicada em 2000 e apresenta os princípios gerais para a realização de avaliações de impacto, os componentes obrigatórios nestas avaliações, a seleção das categorias de impacto a serem estudadas e descreve as etapas de classificação e de caracterização.

Finalmente, a quarta norma da série ISO 14000 foi publicada internacionalmente em 2000 com a denominação ISO 14043: *Environmental Management – life cycle assessment – life cycle interpretation*. Esta norma apresenta os requisitos e recomendações para interpretação dos resultados de uma análise de inventário ou avaliação de impacto. Descreve a identificação dos pontos relevantes do estudo, a avaliação da qualidade dos dados e a análise de sensibilidade.

A série também contém três relatórios técnicos que exemplificam a aplicação das normas acima citadas. O primeiro relatório, denominado ISO TR 14047: *Illustrative examples on how to apply ISO 14042*, foi aprovado para publicação em 2001 e fornece exemplos de como aplicar a norma ISO 14042. O segundo relatório, denominado ISO TR 14048: *environmental management – life cycle assessment – LCA data documentation format*, está em desenvolvimento e fornece exemplos sobre a documentação dos dados coletados na ACV.

Finalmente, o terceiro relatório técnico da série, a ISO TR 14049: *environmental management – life cycle assessment – examples for the application of ISO 14041 to goal scope definition and inventory analysis*, publicada internacionalmente em 2000, fornece exemplos sobre a aplicação da ISO 14041 (MOURAD, 2002).

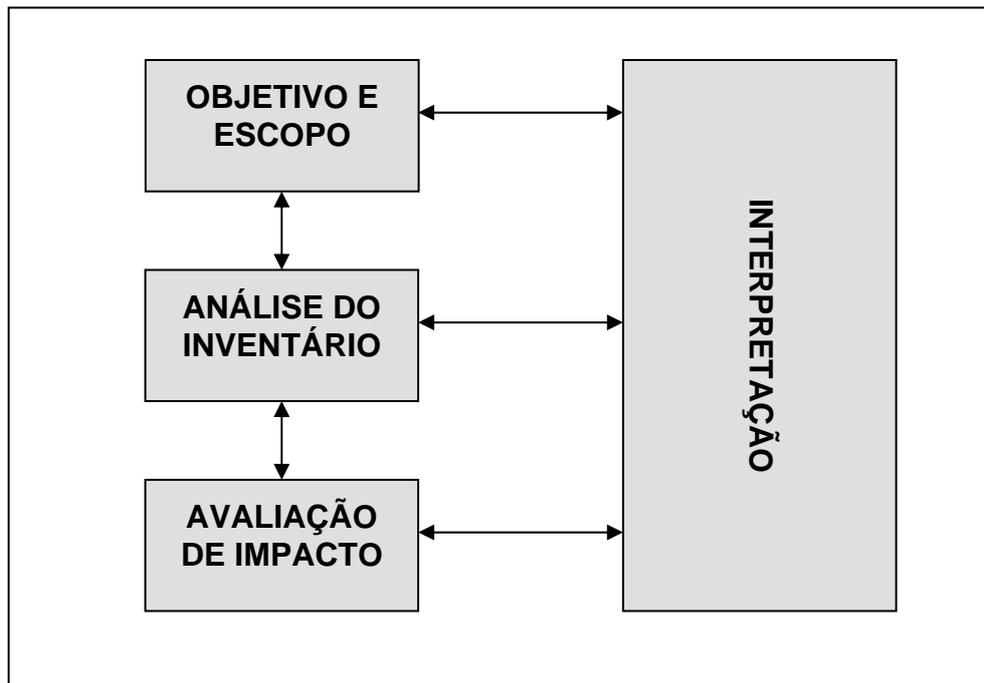
Atualmente, estas normas estão sendo internalizadas no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A norma NBR ISO 14040 foi publicada pela ABNT em 2001 e as demais normas estão em fase de tradução. A seguir são apresentadas as quatro fases da ACV, segundo a norma NBR ISO 14040 (MOURAD, 2002).

2.1.4 Fases da ACV

As principais fases da ACV de um produto são a definição de objetivo e escopo, a análise do inventário, a avaliação de impacto e a interpretação, conforme se observa na Figura 1.

Observa-se na Figura 1 que as quatro etapas da ACV estão inter-relacionadas, de modo que o correto desenvolvimento de cada uma destas fases é essencial para o desenvolvimento do estudo.

FIGURA 1 – ETAPAS DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA



FONTE: ISO 14040, de 1997

Além disso, por causa da natureza iterativa da ACV, o escopo do estudo pode ser modificado à medida que informações adicionais forem sendo coletadas e quando o sistema estudado for melhor conhecido. A seguir são descritas as principais fases da ACV.

2.1.4.1 Definição de Objetivo e Escopo

Na etapa de definição de objetivo do trabalho são consideradas as principais razões para a realização do estudo e o seu público alvo. Na etapa de definição de escopo são estabelecidos o sistema a ser estudado, suas fronteiras e a unidade funcional adotada (CHEHEBE, 1998).

Na descrição do sistema são relacionados o tipo de produto, processo ou serviço estudado, quais os materiais utilizados e as tecnologias de produção. A fronteira do sistema delimita as etapas a serem incluídas ou não no estudo proposto.

A adoção de uma unidade funcional tem como objetivo estabelecer uma referência com a qual as entradas e saídas do sistema são relacionadas.

A definição de escopo também inclui os procedimentos para a distribuição de pesos (grau de importância) sobre as matérias-primas e produtos do sistema, caso haja subprodutos de processo, e a estratégia de coleta de dados, que considera a época em que os dados foram coletados, a localização geográfica do estudo e a representatividade dos dados coletados (KROZER, 1998).

A seleção dos dados que serão incluídos no estudo, em função de algum parâmetro significativo, é também definida no escopo do estudo. Os critérios usados para selecionar os materiais significativos incluem as relevâncias mássica, energética e ambiental (KROZER, 1998).

Na etapa final de definição de escopo são estabelecidos quais os aspectos ambientais e categorias de impacto adotadas no estudo. Os aspectos ambientais estão associados ao consumo de recursos naturais, materiais secundários e energia e à emissão de resíduos, além de vibrações, radiação, odor e efluentes líquidos quentes.

As categorias de impacto que representam os efeitos causados pelos aspectos ambientais considerados também são definidas na etapa de escopo. Entre as categorias de impacto tem-se o aquecimento global, a acidificação e a redução da camada de ozônio (MOURAD, 2002).

2.1.4.2 Análise do Inventário

A segunda etapa da ACV é a análise do inventário, quando são efetuadas a coleta e a quantificação de todas as variáveis envolvidas durante o ciclo de vida do produto, processo ou atividade. Esta etapa também é responsável por relacionar os dados coletados à unidade funcional adotada (MATTSSON, 2000).

Os dados coletados nesta etapa são provenientes do monitoramento de um determinado processo de produção ou de estimativas realizados por meio de modelos divulgados em literatura especializada (CHEHEBE, 1998).

Para a coleta adequada de dados, é necessário desenvolver fluxogramas representando todas as etapas de processo e suas inter-relações. Cada etapa deve ser descrita listando todos os aspectos ambientais existentes e definindo as unidades de medidas. Além disso, todos os procedimentos de coleta de dados devem ser documentados através de confecção de formulários, para se evitar a não inclusão de dados importantes (KROZER, 1998).

A qualidade da ACV varia de acordo com a qualidade e a confiança dos dados na qual é baseada. Dados sobre consumo de energia, especialmente durante a manufatura, consumo de recursos naturais e consumo de água são os de mais fácil obtenção e os mais confiáveis (VIGON, 1995).

Os dados de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas são normalmente mais difíceis de serem obtidos por causa principalmente da dificuldade de determinação de sua exata composição e da confiabilidade do resultado. Os dados de emissões atmosféricas são freqüentemente disponíveis apenas para os poluentes que são regulamentados, variando bastante de acordo com o tamanho de cada planta e tecnologia utilizada. Além disso, deve-se sempre considerar se as categorias de impacto adotadas são as ideais para o uso na avaliação de impacto em questão (VIGON, 1995).

Com relação à verificação e validação dos dados coletados, vários procedimentos de checagem são utilizados para aumentar o seu nível de confiabilidade. Estes procedimentos podem ser divididos em duas categorias, entre as quais a comparação dos dados de monitoramento com outros publicados em literatura especializada e a comparação dos dados mensurados ou estimados com dados teóricos. Além disso, quanto mais representativo da população for o grupo de dados, mas confiáveis e precisos serão os resultados obtidos (VIGON, 1995).

2.1.4.3 Avaliação dos Impactos

A avaliação dos impactos ambientais visa determinar a intensidade com que os aspectos ambientais alteram o meio ambiente (MOURAD, 2002). Este passo da ACV é dividido nas etapas de classificação, caracterização e valoração dos dados coletados.

Na etapa de classificação, os dados são separados e agrupados de acordo com as categorias determinadas de impacto, como por exemplo, o esgotamento de recursos naturais, o aquecimento global e o efeito fotoquímico (KROZER, 1998). Na etapa de caracterização, os dados que contribuem para a mesma categoria de impacto são normalizados de acordo com o efeito relativo de um.

Finalmente, na etapa de valoração as categorias de impacto são somadas de acordo com uma escala de importância previamente definida, obtendo-se um indicador único de desempenho ambiental para o produto (KROZER, 1998). Com relação à esta etapa, não se tem até o momento um consenso internacional sobre a metodologia mais adequada para sua determinação.

Um dos primeiros sistemas de peso desenvolvido para a determinação de valores associados aos aspectos ambientais é o método Eco-Indicador 95. Este método utiliza uma etapa de distribuição de pesos que resulta em um número indicador do impacto ambiental de um material ou processo baseado em dados de uma análise de ciclo de vida (PRE CONSULTANTS, 2004). Os cálculos podem ser realizados manualmente ou através de programas de computador como o *SimaPRO 4.0*, desenvolvido por PRE CONSULTANTS (HUANG, 2004).

Outro sistema desenvolvido para a determinação do indicador de impacto ambiental é o método Eco-Indicador 99. Este método é baseado no Eco-Indicador 95, envolvendo ainda a análise de depleção de recursos naturais, uso da terra e efeitos da radiação. Além disso, a distribuição de pesos é feita de maneira diferente da empregada anteriormente (PRE CONSULTANTS, 2004).

Existem ainda o processo analítico hierárquico (AHP), um método qualitativo que envolve uma avaliação multi-critério, de forma a reduzir as incertezas durante as decisões de processo. Este método verifica se o produto pode sofrer o processo de compostagem, sua facilidade de ser separado em partes, sua reciclabilidade e a redução no uso de recursos naturais. O método ainda verifica se o produto pode ser reusado e se sua capacidade de redução de resíduos e recuperação de resíduos.

2.1.4.4 Interpretação

Nesta última etapa da ACV os resultados obtidos nas fases de inventário e avaliação de impacto são analisados de acordo com o objetivo e o escopo previamente definidos para o estudo (CHEHEBE, 1998).

As conclusões obtidas após a análise dos resultados possibilitam a identificação de pontos críticos do ciclo de vida do produto que necessitam de melhorias, permitindo a implementação de estratégias de produção, como a substituição e recuperação de materiais e a reformulação ou substituição de processos, visando a preservação ambiental.

2.1.5 Método Eco Indicador 95

Para a descrição dos resultados obtidos com a ACV um dos métodos mais empregados pela comunidade científica é o chamado método Eco Indicador 95. Este método adota como categorias de impacto ambiental o aquecimento global, a eutrofização, a acidificação e o efeito fotoquímico, entre outros. (BRENTROP, 2001).

O aquecimento global resulta da intensificação do efeito estufa, causado pelo aumento das emissões de dióxido de carbono (CO_2) e de outros gases como metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e compostos orgânicos voláteis (VOC's) para a atmosfera. O aumento da concentração de gases na atmosfera aprisiona maior quantidade de calor, aumentando assim a temperatura média do globo terrestre. O aquecimento

global é medido em termos de CO₂ equivalente, calculado de acordo com o potencial de impacto de cada emissão (MOURAD, 2002).

A eutrofização é a adição de nutrientes à água, que ocasiona o aumento da produção de biomassa na água e leva à redução do oxigênio disponível, afetando a fauna e a flora aquáticas.

Entre as principais substâncias responsáveis pela eutrofização da água estão o nitrogênio (N₂), o fósforo (P₂), a amônia (NH₃), compostos nitrogenados, fosfatos, óxidos de nitrogênio (NO_x), óleos e gorduras. A eutrofização é medida em termos de PO₄ equivalente, também calculado de acordo com o potencial de impacto de cada emissão (MOURAD, 2002).

A acidificação ocorre quando substâncias emitidas para o ar, como dióxido de enxofre (SO₂) e óxidos de nitrogênio (NO_x), são dissolvidos na água da chuva, combinando-se com outros elementos formando ácidos. Os ácidos, ao atingirem a superfície terrestre, alteram a composição química do solo e das águas, além de causarem dano em estruturas metálicas e edificações. A acidificação é medida em termos de SO₂ equivalente (MOURAD, 2002).

Finalmente, o efeito fotoquímico é causado pela reação entre VOC's e outras substâncias presentes na atmosfera, produzindo compostos oxidantes fotoquímicos. Como consequência tem-se o aumento de doenças respiratórias em grandes centros urbanos, onde é mais difícil dissipar a nuvem de poluentes formada. O efeito fotoquímico é medido em termos de C₂H₄ equivalente (MOURAD, 2002).

No método Eco Indicador 95, os dados do inventário são classificados e caracterizados em uma mesma base, através da aplicação dos fatores de equivalência mostrados na Tabela 1.

TABELA 1 – FATORES DE EQUIVALÊNCIA DOS POLUENTES DO MÉTODO ECO-INDICADOR 95

Emissão	Fator de Equivalência	Categoria de Impacto
CO ₂	1,00	Aquecimento global (CO ₂ equivalente)
CO	2,00	Aquecimento global
HC	3,00	Aquecimento global
C ₂ F ₆ /CF ₄	12,50	Aquecimento global
CH ₄	21,00	Aquecimento global
N ₂ O	310,00	Aquecimento global
NO _x	0,13	Eutrofização (PO ₄ equivalente)
NH ₃	0,33	Eutrofização
NO ₃	0,42	Eutrofização
N _{TOTAL}	0,42	Eutrofização
P _{TOTAL}	3,06	Eutrofização
H ₂ SO ₄	0,65	Acidificação (SO ₂ equivalente)
NO _x	0,70	Acidificação
HCl	0,88	Acidificação
SO ₂	1,00	Acidificação
HF	1,60	Acidificação
NH ₃	1,88	Acidificação
H ₂ S	1,88	Acidificação
CO	0,03	Efeito fotoquímico (C ₂ H ₄ equivalente)
VOC	0,42	Efeito fotoquímico
HC	0,60	Efeito fotoquímico

FONTE: BRENTROP, 2001; RYBERG, 1998; SOARES, 2003

Verifica-se através dos dados da Tabela 1 que os gases N₂O, CH₄ e CO contribuem 310, 21 e 2 vezes mais que o CO₂, respectivamente, para o aquecimento global em termos de CO₂ equivalente, o mesmo ocorrendo para as demais emissões e seus respectivos efeitos globais. Deste modo, quanto maior o fator de caracterização, maior a contribuição de um poluente para o respectivo impacto global.

Após a etapa de caracterização, os dados são normalizados de acordo com a contribuição do sistema em estudo para a extensão total dos efeitos ambientais de

uma região específica. Isto ocorre através da divisão das quantidades dos efeitos mensurados pelos coeficientes de normalização mostrados na Tabela 2.

TABELA 2 – TAXAS DE EMISSÃO TOTAL PARA EFEITOS AMBIENTAIS NA EUROPA

Categoria de Impacto	Unidade	Coefficiente de Normalização (kg equivalente/ano.pessoa)
Aquecimento global	kg CO ₂ equivalente	13.100,0
Acidificação	kg SO ₂ equivalente	113,0
Eutrofização	kg PO ₄ equivalente	38,2
Efeito fotoquímico	kg C ₂ H ₄ equivalente	17,9

FONTE: BRENTROP, 2001

O coeficiente de normalização é obtido dividindo-se a quantidade total anual de emissão de cada categoria de impacto em determinada região por sua população total. Deste modo, verifica-se através dos dados da Tabela 2 que, entre as categorias de impacto mencionadas, a maior quantidade relativa emitida na Europa é a do efeito de aquecimento global.

Entretanto, um dado normalizado permite a comparação de uma mesma categoria de impacto em diferentes regiões, mas não permite a comparação entre as diferentes categorias de impacto com relação ao potencial de prejuízo ao meio ambiente. Deste modo, um passo adicional de valoração deve ser considerado, levando-se em conta os diferentes níveis de severidade dos efeitos ambientais.

No método Eco Indicador 95 esta relação é feita através da multiplicação de cada dado normalizado por um fator de peso determinado de acordo com o prejuízo que cada categoria de impacto pode causar ao meio ambiente (BRENTROP, 2001). A Tabela 3 mostra os fatores de peso adotados para as categorias de impacto adotadas no método Eco Indicador 95, considerando 5% de prejuízo ao ecossistema.

TABELA 3 – FATORES DE VALORAÇÃO DE ACORDO COM O MÉTODO ECO-INDICADOR 95

Categoria de Impacto	Fator de Peso
Acidificação	10,0
Eutrofização	5,0
Aquecimento global	2,5
Formação de ozônio fotoquímico	2,5

FONTE: BRENTROP, 2001

Observa-se através dos dados da Tabela 3 que a acidificação é a categoria de impacto com maior potencial de prejuízo ao meio ambiente, seguido pelos efeitos de eutrofização, aquecimento global e formação de ozônio fotoquímico.

O resultado deste procedimento de valoração é um número eco-indicador para cada categoria de impacto. Estes escores são adimensionais e podem ser somados, representando o peso ambiental total do sistema em investigação (BRENTROP, 2001).

3 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE EMBALAGENS PARA REFRIGERANTES

Neste capítulo são apresentadas características do setor de refrigerantes e dos vários tipos de embalagens, mostrando suas principais propriedades, utilizações e formas de reciclagem. Em seguida são apresentados os estudos de Ciclo de Vida para a produção de garrafas PET, latas de alumínio e garrafas de vidro, levando-se em conta as várias etapas de fabricação destas embalagens.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SETORES DE EMBALAGENS PARA REFRIGERANTES

A primeira matéria-prima utilizada em maior escala para a produção de embalagens foi o vidro, fabricado por artesãos sírios desde o primeiro século depois de Cristo até o século XIX (ABRE, 2004). Em 1830 iniciou-se a fabricação dos primeiros alimentos embalados em latas de estanho e aço, que passaram a ter maior utilização somente a partir da Segunda Guerra Mundial.

No Brasil poucos produtos alimentícios eram comercializados já acondicionados em embalagens até 1945, como o café torrado e moído, o açúcar refinado, o extrato de tomate, o leite em garrafa, o óleo de semente de algodão e o vinagre (ABRE, 2004).

Com a recuperação da economia após a Segunda Guerra Mundial e com os avanços tecnológicos ocorridos nesta época, surgiram novos materiais para a produção de embalagens, como o papel, o papelão e o plástico. As embalagens de plástico, no entanto, difundiram-se mais rapidamente que as demais, por serem mais leves, mais baratas e fáceis de produzir, além de permitirem maior oferta de formatos e tamanhos (ABRE, 2004).

Além disso, com o desenvolvimento dos processos de industrialização, a produção nacional passou a substituir as importações, impulsionando a demanda por embalagens de venda ao consumidor e de transporte.

Desta maneira, as caixas de papelão ondulado substituíram as caixas de madeira no transporte de produtos industrializados. Os sacos de papel multifoliados foram desenvolvidos para atender a demanda principalmente no acondicionamento de cimento e produtos químicos.

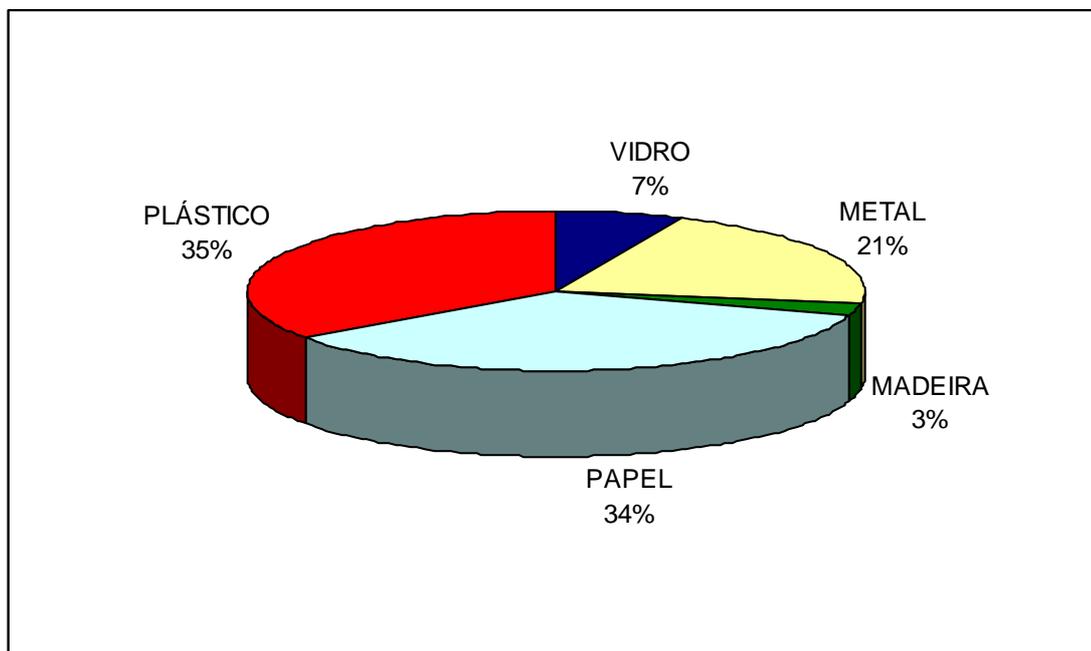
No início dos anos 40, as indústrias de produtos químicos, tintas, cervejas, refrigerantes e alimentos começaram a utilizar embalagens metálicas de folha-de-flandres. No entanto, o crescimento da demanda e a conseqüente elevação do preço da folha-de-flandres neste período fizeram com que os fabricantes de latas buscassem uma matéria-prima substituta, iniciando-se em 1959 a venda de cerveja em latas de alumínio (ABRE, 2004).

A partir dos anos 60, cresceu a produção de embalagens plásticas. Dos anos 70 até os dias atuais, a indústria brasileira de embalagem tem acompanhado as tendências mundiais produzindo embalagens com características especiais como para o uso em fornos de microondas e para proteção contra luz e calor. Foram incorporadas também, novas matérias-primas, como o alumínio para latas e o PET para frascos de remédios, perfumaria, bebidas e alimentos (ABRE, 2004).

Para que o material atenda as exigências do setor de embalagens para os diversos setores industriais, ele deve reduzir custos sem prejudicar a função da embalagem, aumentando o valor, o prazo de validade e a qualidade do alimento, além de aumentar a conveniência para o consumidor, seja na forma de estocagem ou no uso do produto (HOTCHKISS, 2001). Os dados da Figura 2 mostram o consumo de materiais para embalagens no Brasil em 2003.

Como se observa na Figura 2, o plástico e o papel lideram o mercado de embalagens, com 69% de participação, seguidos pelas embalagens de metal, vidro e madeira.

FIGURA 2 – PARTICIPAÇÃO DOS MATERIAIS NO MERCADO BRASILEIRO DE EMBALAGENS EM 2003



FONTE: ABRE, 2004

Com relação ao mercado nacional de refrigerantes, o Brasil consumiu em 2002 aproximadamente 12 bilhões de litros de refrigerantes (ABIR, 2004), sendo o terceiro maior consumidor desta bebida em termos mundiais. Apresenta ainda um grande potencial de crescimento, em função do baixo volume de consumo *per capita* se comparado a México e EUA, países que possuem as maiores demandas de refrigerantes do mundo, com consumo de 12,7 bilhões de litros e 57 bilhões de litros de refrigerantes em 2002, respectivamente (ABIR, 2004).

Atualmente, o mercado brasileiro de refrigerantes está dividido entre fábricas de alcance nacional, com 67% de participação, e fábricas de alcance regional, com 33% de participação no mercado, totalizando 700 fábricas e 3.500 marcas de refrigerantes por todo o país (ABIR, 2004). Na Tabela 4 são reunidos dados sobre a quantidade anual de refrigerante fabricado no Brasil nos últimos anos.

TABELA 4 – QUANTIDADE ANUAL DE REFRIGERANTE FABRICADO NO BRASIL

Ano	Litros de Refrigerante Fabricados	Variação Anual (%)
1990	5.769.264.000	-
1991	5.978.175.000	3,49
1992	5.147.758.000	-16,13
1993	5.615.803.000	8,33
1994	6.440.397.000	12,80
1995	9.146.041.000	29,58
1996	9.861.493.000	7,26
1997	10.574.528.000	6,74
1998	11.029.351.000	4,12
1999	11.052.303.000	0,21
2000	11.516.598.000	4,03
2001	11.585.868.000	0,60
2002	11.968.630.000	3,20

FONTE: ABIR, 2004

A demanda de refrigerantes está relacionada ao poder de compra da população e à temperatura de cada região. Conforme indicam o dados da Tabela 4, entre os anos de 1993 e 1995 houve um grande crescimento no consumo de refrigerantes devido aos efeitos do plano econômico vigente, que elevou a renda pessoal disponível. A partir de 1998, com o declínio da economia, iniciou-se uma desaceleração do mercado e conseqüente estagnação do setor (SANTOS, 2003).

Com relação à influência climática no consumo de refrigerantes, no período compreendido entre os meses de setembro a março, o consumo chega a duplicar se comparado aos meses de temperatura mais amena (SANTOS, 2003). Estes dois fatores fazem com que seja necessária a manutenção de uma capacidade de produção ociosa, como mecanismo amortecedor dos impactos decorrentes de variações na demanda.

3.2 POLIETILENO TEREFALATO

O polietileno tereftalato (PET) faz parte de um grupo de materiais denominados plásticos, produzidos através de um processo químico chamado de

polimerização que proporciona a união de monômeros para formar polímeros (ABIQUIM, 2004).

A principal matéria-prima utilizada na fabricação dos plásticos é o petróleo, formado por uma complexa mistura de compostos que se separam através de destilação, gerando diversos produtos que posteriormente darão origem aos monômeros. Para a produção de plásticos são destinados cerca de 4% da produção mundial de petróleo, conforme observado na Tabela 5.

TABELA 5 – UTILIZAÇÃO DO PETRÓLEO

Utilização do Petróleo	(%)
Produtos Químicos	3,0
Plásticos	4,0
Energia	22,0
Transporte	29,0
Climatização	35,0
Outros	7,0

FONTE: ABIQUIM, 2004

Verifica-se através dos dados da Tabela 5, que o maior consumo de petróleo é realizado pelo setor de climatização, seguido por transporte e energia, responsáveis por 86% do consumo total de petróleo no mundo. Com relação às reservas mundiais de petróleo, segundo SOARES (2003) seu período de abundância é de apenas 40 anos, considerado pequeno levando-se em conta o alto consumo deste material nos dias atuais.

Os plásticos, denominados polímeros termoplásticos, não sofrem alterações na sua estrutura química durante o aquecimento, podendo ser novamente fundidos mesmo após resfriados (ABIQUIM, 2004). Além do PET, os principais tipos de polímeros termoplásticos são o polipropileno (PP), o policloreto de vinila (PVC), o polietileno (PE), o polietileno de alta densidade (PEAD), o polietileno de baixa densidade (PEBD) e o polietileno linear de baixa densidade (PELBD), cujas características e aplicações são mostradas na Tabela 6.

TABELA 6 – PRINCIPAIS TIPOS DE PLÁSTICOS

Resina	Aplicação	Característica
PET	frascos e garrafas para uso alimentício, hospitalar e cosmético, bandejas para microondas, filmes para áudio e vídeo, fibras têxteis e telhas	transparência total, inquebrável, impermeável, bastante leve
PEAD	embalagens para detergentes e óleos automotivos, sacolas de supermercados, tampas, tambores para tintas, potes e utilidades domésticas	inquebrável, resistente a baixas temperaturas, leve, rígido, impermeável, resistência química
PVC	embalagens para água mineral, óleos comestíveis, maioneses e sucos, perfis para janelas, tubulações de água e esgotos, mangueiras, embalagens para remédios, brinquedos, bolsas de sangue e material hospitalar	rígido, transparente, impermeável, resistente à temperatura e inquebrável
PEBD e PELBD	sacolas para supermercados e boutiques, filmes para embalar leite e outros alimentos, sacaria industrial, filmes para fraldas descartáveis, bolsa para soro medicinal, sacos de lixo	flexíveis, leves, transparentes e impermeáveis
PP	filmes para embalagens e alimentos, embalagens industriais, cordas, tubos para água quente, fios e cabos, frascos, caixas de bebidas, fibras para tapetes, potes, fraldas e seringas descartáveis	conserva o aroma, é inquebrável, transparente, brilhante, rígido e resistente a mudanças de temperatura
PE	potes para iogurtes, sorvetes, doces, frascos, parte interna da porta de geladeiras, pratos, tampas, brinquedos e aparelhos de barbear descartáveis	rígido e resistente a mudanças de temperatura

FONTE: ABIQUIM, 2004

Os plásticos são utilizados nas mais diversas aplicações, conforme as informações da Tabela 6. Por apresentarem estruturas químicas variadas, cada tipo de plástico possui propriedades e características diferentes dos demais, proporcionando aplicações convencionais, como embalagens de PVC para água mineral, e aplicações alternativas, como telhas de PET.

O PET é o mais importante membro da família dos poliésteres, grupo de polímeros descoberto na década de 1930 por W. H. Carothers, da Du Pont (ABIQUIM, 2000). No entanto, somente em 1940 o PET foi desenvolvido pelos químicos ingleses Whinfield e Dickson, e as garrafas produzidas com este polímero só começaram a ser fabricadas na década de 70 (CEMPRE, 2004).

O PET é um polímero linear que normalmente existe no estado cristalino, podendo ser encontrado também no estado amorfo, caso ocorra intervenção no processo (ABEPET, 2004). O polímero no estado cristalino é altamente organizado na forma de cristalitos, regiões que não se estendem mais que algumas centenas de ângstrons.

Esta propriedade é de grande importância em muitas aplicações, pois, às elevadas temperaturas de secagem do PET antes da utilização, a resina amorfa tende a ser mole e pegajosa formando grumos e aderindo à unidade de secagem. A cristalinidade também afeta a transparência e o processamento do produto (ABEPET, 2004). Atualmente, no Brasil, a resina PET para embalagens tem sido utilizada principalmente no envase de produtos alimentícios, conforme se observa na Tabela 7.

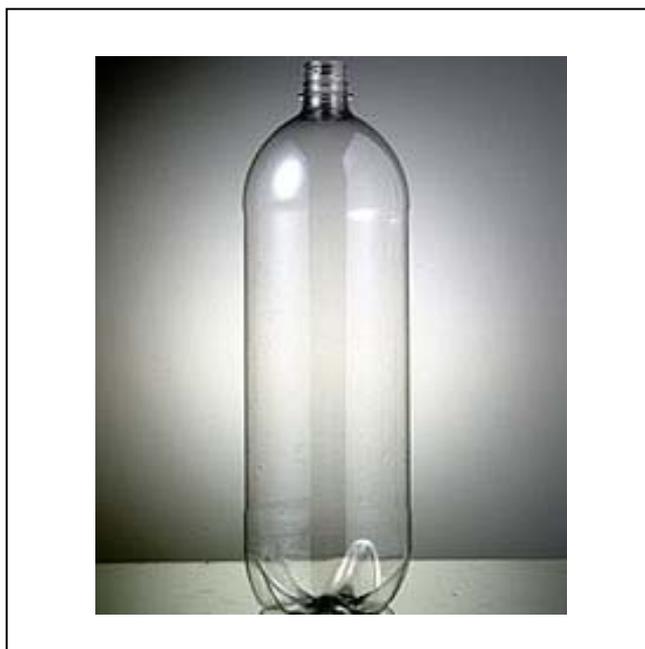
TABELA 7 – UTILIZAÇÃO DO PET PARA EMBALAGENS

Utilização do PET	(%)
Refrigerante	55,0
Óleo Comestível	28,0
Água Mineral	7,0
Outros setores	10,0

FONTE: ABEPET, 2004

Verifica-se, através dos dados da Tabela 7, que as embalagens para refrigerantes são responsáveis pela maior porcentagem de utilização do PET, seguido pelas embalagens para óleo comestível e água mineral, que apresentam um grande potencial de desenvolvimento. Observa-se na Figura 3 uma garrafa PET cristal de 2,0 L para envase de refrigerantes.

FIGURA 3 – GARRAFA PET DE 2L PARA ENVASE DE REFRIGERANTES



FONTE: ABEPET, 2004

A garrafa PET com capacidade de 2,0 L é o modelo que tem melhor relação custo/benefício entre os diversos tamanhos de garrafa deste material presentes no mercado, por apresentar, proporcionalmente, menor massa de resina por volume de líquido envasado. Por exemplo, para a garrafa de 600 ml esta relação é de 0,046 g/ml, enquanto para a garrafa de 1,0L a relação é de 0,035 g/ml e para a garrafa de 2,0L a relação é de 0,025 g/ml (ABEPET, 2004).

As garrafas de PET são totalmente inertes, ou seja, mesmo que sejam indevidamente descartadas, não causam nenhum tipo de contaminação para o solo ou lençóis freáticos. No entanto, o descarte adequado destas embalagens e seu

encaminhamento para a reciclagem são fundamentais para que os aterros sanitários sejam poupados e para que o meio ambiente não seja prejudicado.

3.3 ALUMÍNIO

Acredita-se que o alumínio tenha se formado através de sucessivas colisões de átomos de hidrogênio em altas temperaturas e fortes pressões durante o nascimento do sistema solar. Há mais de sete mil anos, os ceramistas da Pérsia faziam seus vasos de um tipo de barro contendo óxido de alumínio, o que hoje conhecemos como alumina (ALCOA, 2003).

O Alumínio é um metal branco, brilhante, leve, dúctil e maleável. É abundante na natureza principalmente na forma de silicatos, correspondendo a 7,3% em massa da crosta terrestre (HELDING, 2004). Embora seja muito oxidável, não se altera em contato com água ou ar, pois sua superfície é protegida por uma fina camada de alumina (THE MERCK INDEX, 1989).

A existência do alumínio foi provada somente em 1808 por Humphrey Davy. Em 1825 o físico alemão Hans Christian Oersted isolou pela primeira vez o metal, e a primeira obtenção industrial do alumínio por via química foi realizada por Sainte-Claire Deville em 1854. Já nesse período, percebeu-se a grande possibilidade de aplicação que o metal teria em diversos setores da indústria, como transporte, embalagens, construção, elétrico e farmacêutico (MARTIRES, 2001).

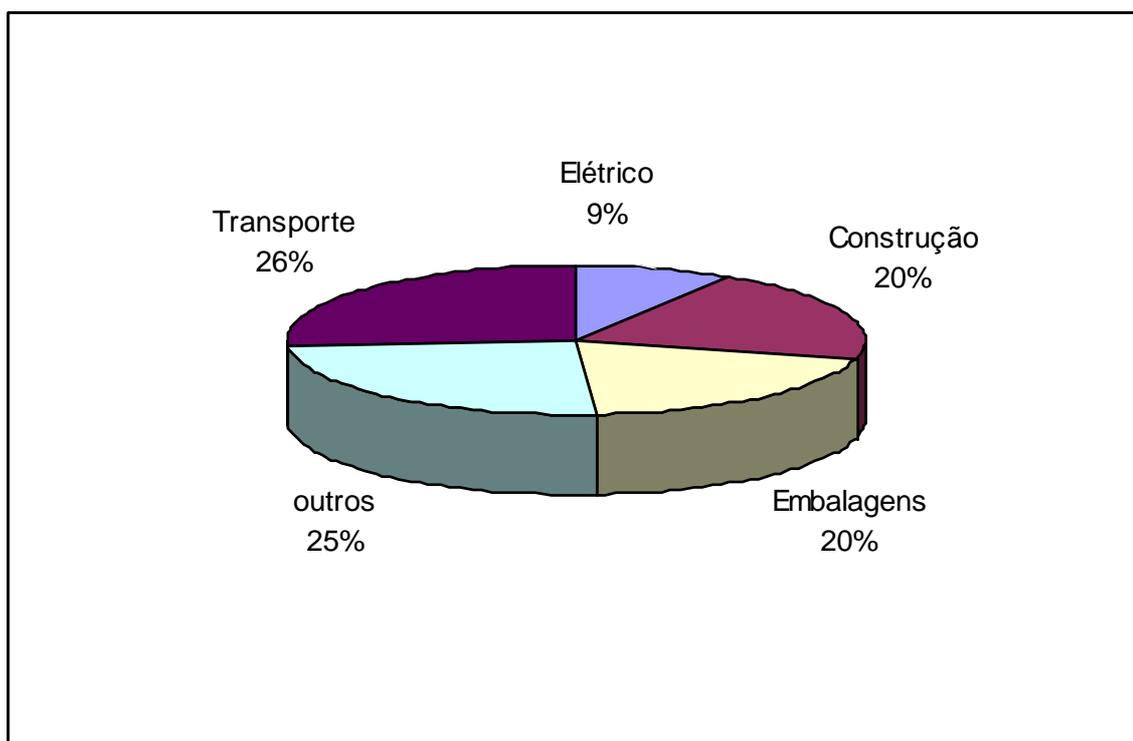
Atualmente o alumínio primário é produzido em escala industrial através do processamento da bauxita, obtendo-se a alumina e depois o alumínio de alta pureza. A bauxita é uma rocha constituída de minerais hidratados de alumínio. Cerca de 95% da produção mundial de bauxita são utilizados na produção de alumina, sendo o restante empregado nas indústrias químicas, de abrasivos e de cimento.

O Brasil é o terceiro maior detentor de reservas de bauxita do mundo, com aproximadamente 3,52 bilhões de toneladas, distribuídas entre os estados de São

Paulo (0,7%), Pará (90,8%), Santa Catarina (0,3%), Minas Gerais (7,5%) e Maranhão (0,7%) (MARTIRES, 2001).

A produção mundial de alumínio primário em 2000 foi de 23,9 milhões de toneladas, dos quais 3,45% correspondem à produção brasileira destinada a vários setores, conforme se verifica na Figura 4 (MARTIRES, 2001).

FIGURA 4 – UTILIZAÇÃO DO ALUMÍNIO NO BRASIL



FONTE: MARTIRES, 2001

Observa-se através dos dados da Figura 4 que o setor de transportes foi o que mais utilizou o alumínio no Brasil em 2000, seguido pelos setores de construção civil e embalagens, na forma de latas para bebidas.

A lata de alumínio com volume de 350 ml, mostrada na Figura 5, vem se tornando uma das embalagens mais populares em todo o mundo, sendo empregada no acondicionamento de refrigerantes, cervejas, sucos, chás e outras bebidas.

FIGURA 5 – LATA DE ALUMÍNIO DE 350 ML PARA ENVASE DE REFRIGERANTE



FONTE: REXAN, 2004

O mercado mundial de latas para bebidas atinge hoje cerca de 210 bilhões de unidades anuais. Desse total, os Estados Unidos respondem por aproximadamente 110 bilhões de latas e a Europa e Ásia respondem por cerca de 40 bilhões de latas cada uma. No mercado sul-americano, o Brasil é responsável por 11 das quase 15 bilhões de latas de alumínio consumidas (REXAN, 2004).

As latas de alumínio só começaram a ser produzidas no País há 14 anos e a grande aceitação do mercado por esse novo conceito de embalagem tem gerado, desde então, taxas de crescimento acima de 30% ao ano (REXAN, 2004).

Isto se deve às várias vantagens apresentadas pela lata de alumínio, como sua conveniência, praticidade e inviolabilidade. Além disso, ela protege seu conteúdo por mais tempo e utiliza menor quantidade de energia para atingir a temperatura ideal de consumo que os outros tipos de embalagem.

3.4 VIDRO

O vidro é uma substância inorgânica, amorfa e fisicamente homogênea. Pode ser obtido por resfriamento de uma massa em fusão que endurece pelo aumento contínuo de viscosidade até atingir a condição de rigidez, sem sofrer cristalização. O vidro não é um material biodegradável ou combustível, fundindo-se à temperatura de 1200°C e transformando-se em cinzas em temperaturas mais elevadas (SANTOS, 2003).

Do ponto de vista físico, o vidro pode ser definido como um líquido sub-resfriado, rígido, sem ponto de fusão definido e com uma viscosidade suficientemente elevada, para impedir a cristalização. Do ponto de vista químico, o vidro é a união de óxidos inorgânicos não voláteis resultantes da decomposição e da fusão principalmente de compostos alcalinos, alcalino-terrosos e de areia, formando um produto final com estrutura atômica desorganizada (SHEREVE, 1997).

Com relação à composição da massa vítrea, apesar das várias formulações desenvolvidas nos últimos anos, a cal, a sílica e a soda constituem cerca de 90% de todo o material utilizado na fabricação do vidro (SHEREVE, 1997). Na Tabela 8 são apresentadas as composições químicas de diversos vidros.

TABELA 8 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE DIVERSOS TIPOS DE VIDROS (% MASSA)

Tipo	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	As ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
Vidro de Janela	69,4	-	3,5	1,6	-	8,2	-	17,3	-	-
Vidro Laminado	72,8	-	0,8	0,8	-	12,7	0,2	12,7	-	-
Chapa Polida	72,7	-	0,7	0,1	-	12,9	-	13,2	-	0,4
Cristal	74,2	0,4	-	-	0,2	4,3	3,2	17,7	-	-
Vidro de Óculos	69,3	0,3	-	-	-	12,4	-	6,2	11,8	-
Vidro de Garrafa	70,5	-	1,5	-	-	13,0	1,0	14,0	-	-

FONTE: SHEREVE, 1997.

Conforme mostram os dados da Tabela 8, a sílica (SiO₂), obtida através da areia, é o principal componente usado na fabricação do vidro e por isso, em muitos

casos, é a jazida de areia que determina a localização da fábrica de vidro. Para a fabricação de vidros de garrafa e de mesa, o teor de ferro não deve exceder a 0,45% e para vidros óticos este teor não deve ser superior a 0,015%, de modo a não interferir na coloração do produto (SHEREVE, 1997).

O óxido de sódio (Na_2O) provém principalmente da barrilha, podendo também ser obtido através do bicarbonato de sódio, do sulfato de sódio e do nitrato de sódio. O nitrato de sódio também auxilia na oxidação do ferro e acelera a fusão (SHEREVE, 1997).

A cal pode ser obtida através do calcário e da dolomita calcinada ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), que tem a vantagem de introduzir o MgO ao material. Os feldspatos têm a fórmula geral $\text{R}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$, sendo que R_2O representa o Na_2O , o K_2O ou uma mistura dos dois. Por serem baratos, puros e de fácil capacidade de fusão, são bastante utilizados na fabricação do vidro. O teor de alumina presente em sua fórmula abaixa o ponto de fusão do vidro e retarda sua desvitrificação (SHEREVE, 1997).

A história mais popular da origem do vidro diz que ele foi descoberto ocasionalmente há mais de 4 mil anos por navegadores fenícios. Ao fazerem uma fogueira na praia, o calor fez com que a areia, o salitre e o calcário das rochas reagissem formando o vidro (CEMPRE, 2003).

No Brasil, a indústria do vidro teve início no século XVII com as invasões holandesas em Olinda e Recife, em Pernambuco. Em 1810, foi instalada a primeira indústria de vidro no Brasil, com produção através de processos de sopro e de prensagem. A fábrica, localizada na Bahia, produzia vidros lisos, frascos, garrafões e garrafas, mas devido a dificuldades financeiras e a concorrência com produtos estrangeiros foi fechada em 1825 (DUDAS, 2003).

No início do século XX foram desenvolvidos fornos contínuos que, além de propiciarem a recuperação de calor, eram equipados com máquinas semi ou totalmente automáticas para produção em série (DUDAS, 2003).

O alto processo de industrialização do Brasil na década de 50 atraiu investimentos do exterior para o setor de produção de vidros, aumentando o número de empresas instaladas e a capacidade produtiva do país nos anos subseqüentes, atingindo em 2002 um total de 200 empresas dedicadas à produção de vidro (DUDAS, 2003). Um dos tipos de garrafa de vidro utilizada para envase de refrigerante pode ser observado na Figura 6.

FIGURA 6 – GARRAFA DE VIDRO INCOLOR DE 290 ML PARA ENVASE DE REFRIGERANTE



A garrafa de vidro incolor com capacidade para 290 ml, conforme Figura 6, tem sido o modelo deste material mais utilizado para o envase de refrigerantes desde a década de 80, devido à grande competição existente entre as embalagens de vidro de maior volume e as garrafas PET de 2,0 L, com predominância desta última.

No entanto, a indústria do vidro tem reconquistado nos últimos anos seu espaço no mercado de embalagens, demonstrando que o vidro preserva as características da bebida por mais tempo e possui preço competitivo e estável, além de deixar a embalagem mais sofisticada e ser fabricado a partir de matéria-prima renovável (CANÇADO, 2003).

O Brasil produziu 890 mil toneladas de embalagens de vidro em 2003, divididas entre embalagens para bebidas, produtos alimentícios, medicamentos, perfumes e cosméticos. A metade dos recipientes de vidros fabricados atualmente no Brasil é retornável e por ser durável e inerte, tem alta taxa de reaproveitamento nas residências e indústrias. (CEMPRE, 2003).

3.5 RECICLAGEM

A seguir são apresentados a definição de reciclagem, seus tipos principais e dados nacionais de reciclagem de garrafas PET, latas de alumínio e garrafas de vidro.

3.5.1 Definição

Segundo ADAMS (2001), reciclar é economizar energia, poupar recursos naturais e trazer de volta ao ciclo produtivo o resíduo que seria jogado fora, para que o mesmo seja usado novamente como matéria-prima.

A reciclagem, portanto, é um processo de transformação de materiais previamente separados para posterior utilização. Desta forma, os resíduos são recuperados através de uma série de operações que permitem que materiais já processados sejam aproveitados como matéria-prima no processo gerador ou em outros processos.

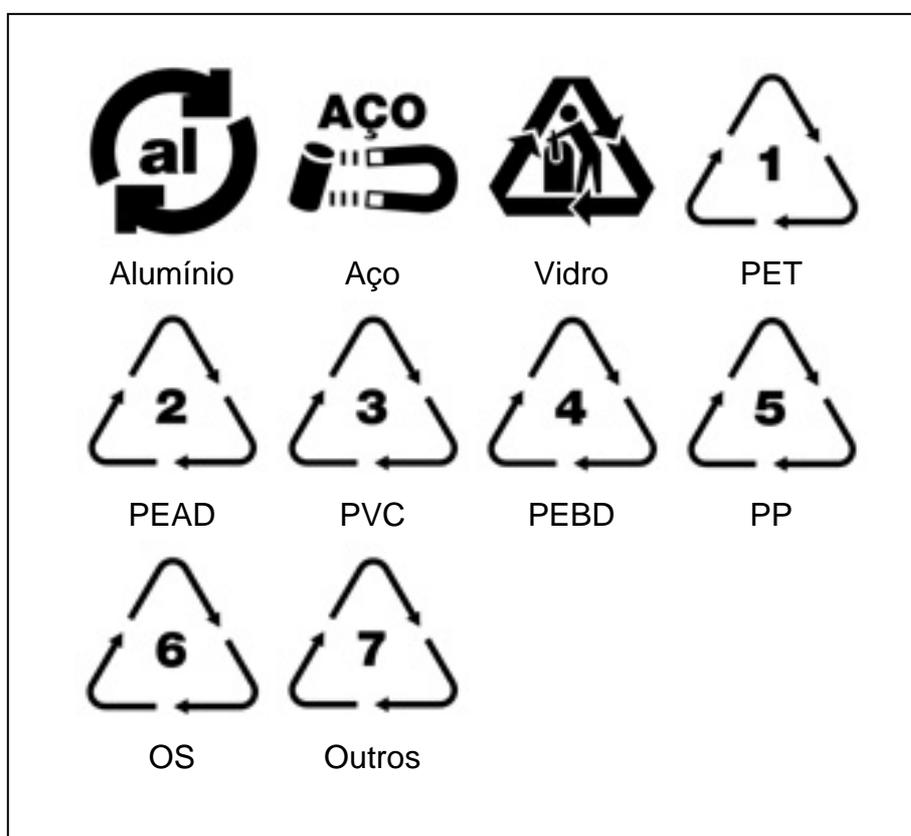
Basicamente, a reciclagem inclui as etapas de separação, revalorização e transformação do material coletado (ABRE, 2004). A coleta e separação são atividades iniciais de triagem por tipo de material como papel, metal, plásticos e madeiras. A revalorização é uma etapa intermediária que prepara os materiais separados para a etapa de transformação, responsável pelo processamento industrial dos materiais para a fabricação de novos produtos.

Entre todas as etapas do processo de reciclagem, a que exige maior atenção é a etapa de coleta e separação de resíduos, pois dela depende todo o restante do

processo. Ela pode ser efetuada em vários locais, tais como nos pontos de geração, em domicílios, em usinas de triagem, no processamento industrial e em lixões.

Com o objetivo de facilitar a separação e coleta de embalagens, foram criadas várias simbologias para a identificação de diversos materiais, apresentadas na Figura 7.

FIGURA 7 – SIMBOLOGIA BRASILEIRA DE IDENTIFICAÇÃO DE MATERIAIS RECICLÁVEIS

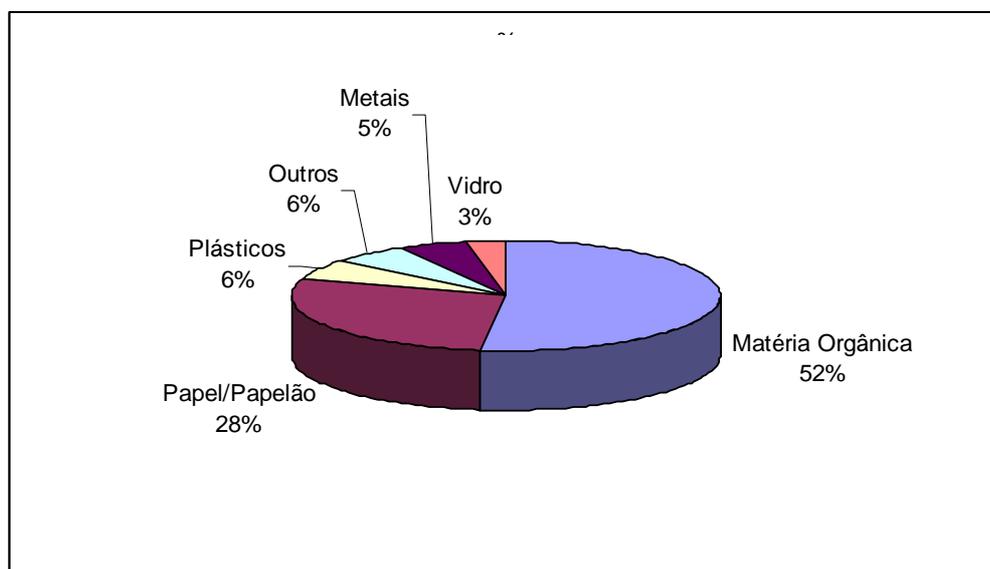


FONTE: ABRE, 2004

A simbologia mostrada na Figura 7, reproduzida em todas as embalagens, facilita o processo de separação e coleta, evitando que a mistura de materiais comprometa o processo de reciclagem.

Algumas informações sobre a composição média em 2002 de um lixo urbano no Brasil sem a utilização da coleta seletiva podem ser observadas na Figura 8.

FIGURA 8 – COMPOSIÇÃO MÉDIA DO LIXO URBANO NO BRASIL SEM A UTILIZAÇÃO DA COLETA SELETIVA



FONTE: ABEPET, 2004

Como mostram os dados da Figura 8, a maior parte do lixo urbano é composta de material orgânico, seguido pelo papel e papelão. Observa-se que a presença de metais, principalmente do alumínio, no lixo urbano é reduzida devido ao alto valor agregado às latas descartadas, favorecendo sua separação para venda.

Os programas oficiais de coleta seletiva existem em mais de 135 cidades do Brasil e atingem cerca de 6 milhões de pessoas, sendo responsáveis por 4,5% do total de material reciclado (CEMPRE,2004). A composição média dos materiais recolhidos através da coleta seletiva pode ser observada na Tabela 9.

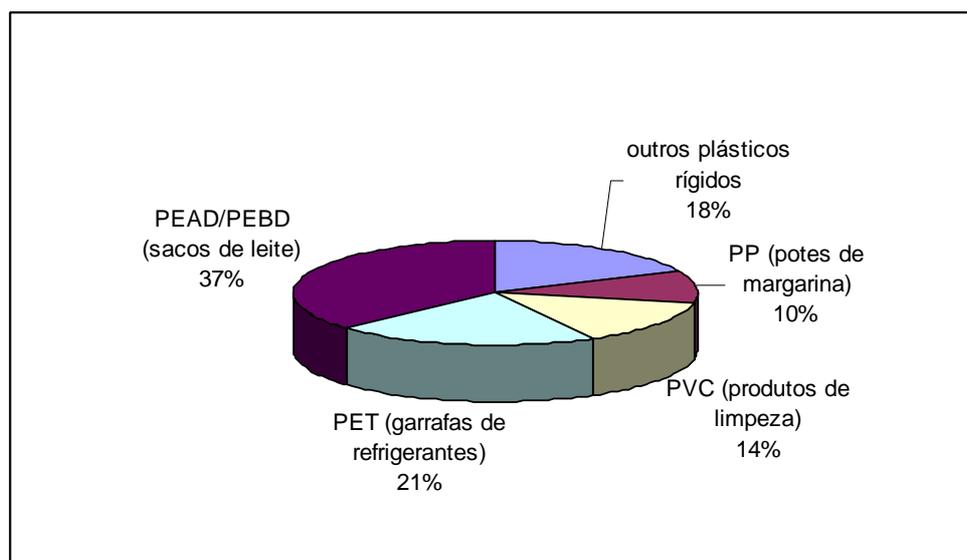
TABELA 9 – COMPOSIÇÃO MÉDIA DA COLETA SELETIVA EM 2002 NO BRASIL

Tipo de Material	(%)
Papel e papelão	39,0
Plásticos	15,0
Vidro	15,0
Metais	15,0
Diversos	14,0
Embalagem encartonada (TetraPak)	2,0

FONTE: CEMPRE, 2004

Verifica-se através dos dados da Tabela 9 que papel e papelão são os materiais mais separados, seguidos pelo vidro, metais e plásticos com a mesma participação no total coletado. Entre a porcentagem de plásticos coletados nos resíduos urbanos através dos programas de coleta seletiva, encontram-se o PEAD, PEBD, PET, PVC e PP, conforme se observa na Figura 9.

FIGURA 9 – RESÍDUOS PLÁSTICOS SEPARADOS EM PROGRAMAS DE COLETA SELETIVA



FONTE: CEMPRE, 2004

Observa-se pelos dados da Figura 9 que o PEAD e o PEBD são os resíduos plásticos separados em maior quantidade durante a coleta seletiva, e junto com o PET somam mais da metade de todo resíduo plástico coletado.

Cabe salientar que o local de coleta do material define o tipo de processamento a ser realizado. Observa-se que o material coletado em lixões apresenta um alto grau de contaminação, como vestígios de gorduras, tintas, metais pesados e sujeira de modo geral. A embalagem assim poluída exigirá um dispendioso processo de limpeza, desvalorizando-a.

Deste modo, a prática da coleta seletiva permite que o material tenha um valor de mercado mais elevado. O preço de venda da embalagem coletada também

está associado a outros fatores como: o fardo deve conter somente um tipo de material, cada fardo deve ter uma única cor de produto, a embalagem deve estar limpa e rótulos, tampas e anéis de vedação devem ter sido retirados.

3.5.2 Tipos de Reciclagem

Os principais tipos de reciclagem são as reciclagens química, mecânica e térmica. A seguir é apresentada uma descrição mais detalhada destes tipos de reciclagem.

3.5.2.1 Reciclagem Química

A reciclagem química reprocessa plásticos transformando-os em monômeros ou misturas de hidrocarbonetos que servem como matéria-prima para a obtenção de novos produtos. A reciclagem química também permite tratar misturas de plásticos, reduzindo custos de pré-tratamento, custos de coleta e seleção. Além disso, a reciclagem química permite produzir plásticos novos com a mesma qualidade de um polímero original (PLATIVIDA, 2004).

Um dos principais processos de reciclagem química consiste na quebra das cadeias mediante o tratamento com hidrogênio e calor, gerando produtos capazes de serem processados em refinarias. Os plásticos também podem ser quebrados parcialmente ou totalmente em monômeros na presença de água, glicol ou metanol.

Outra alternativa de reciclagem química é o aquecimento dos plásticos com ar ou oxigênio puro, gerando-se um gás de síntese contendo monóxido de carbono e hidrogênio, que podem ser usados como matéria-prima em outros processos (PLASTIVIDA, 2004).

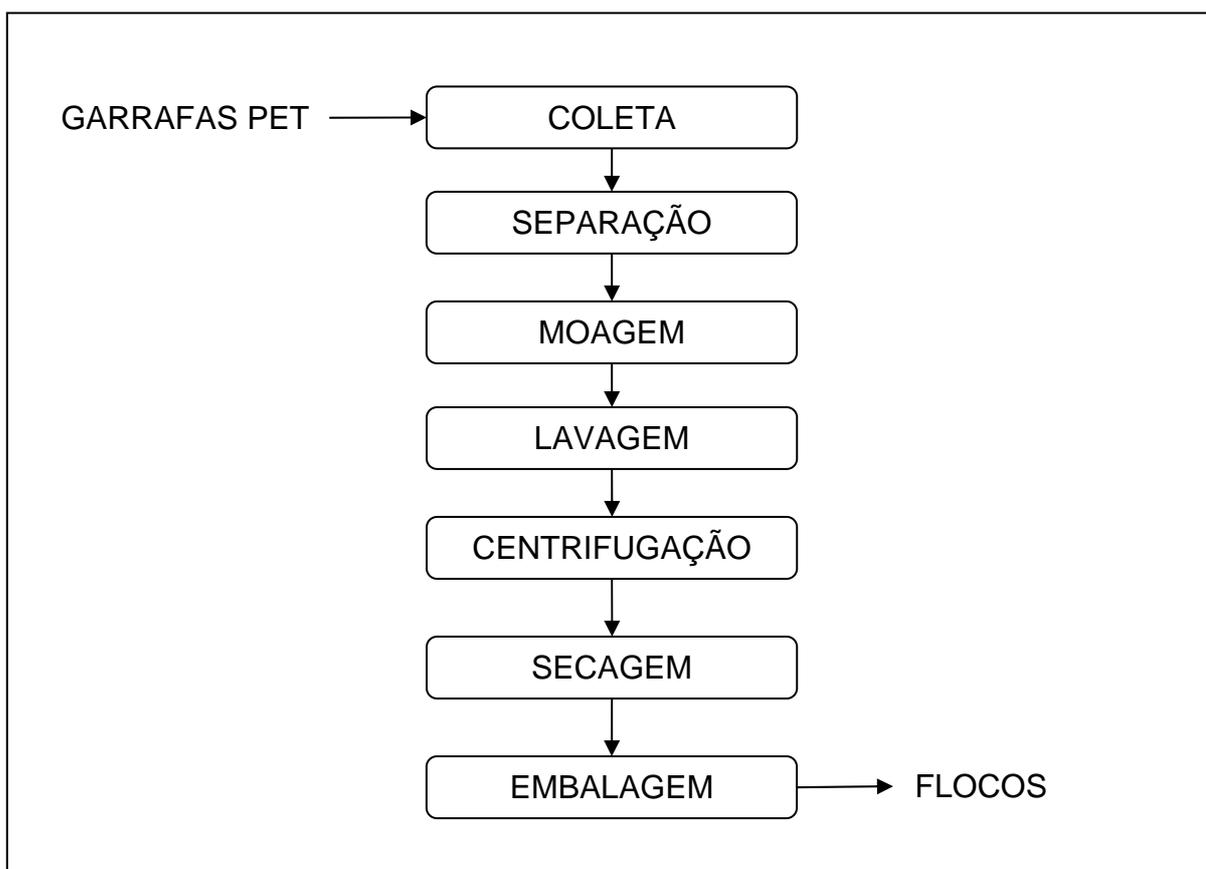
Finalmente, a reciclagem química também pode ser realizada através da quebra das moléculas pela ação do calor na ausência de oxigênio, gerando frações de hidrocarbonetos. Com relação ao vidro e ao alumínio, devido às suas estruturas químicas, a reciclagem química não é realizada.

3.5.2.2 Reciclagem Mecânica

Os três materiais objetos deste estudo sofrem reciclagem mecânica, como é mostrado a seguir.

A reciclagem mecânica do PET consiste na transformação dos materiais descartados pela indústria e após o consumo em partículas, chamadas de flocos, que podem ser reutilizados na produção de outros produtos como sacos de lixo, solados, pisos, filmes plásticos, mangueiras, varais, cordas, fibras, outras embalagens (PLATIVIDA, 2004). O diagrama mostrado na Figura 10 ilustra o processo de reciclagem de PET, conforme informado por empresa recicladora.

FIGURA 10 – DIAGRAMA DA RECICLAGEM DE GARRAFAS PET



Os descartes plásticos industriais se originam principalmente de refugos de processos de produção e transformação, tais como aparas e rebarbas. Os descartes plásticos após o consumo são os materiais já utilizados pela população, na sua maioria embalagens de refrigerantes e óleos comestíveis.

Como se observa na Figura 10, a primeira etapa do processo de reciclagem é a coleta de material. Após a coleta, o material é separado de acordo com o tipo de plástico e encaminhado para a etapa de moagem, onde ocorre a fragmentação do produto em flocos. Os flocos são lavados com água para remoção dos contaminantes e seguem para centrifugação e secagem. O material seco é então embalado e enviado para a fabricação de novos produtos.

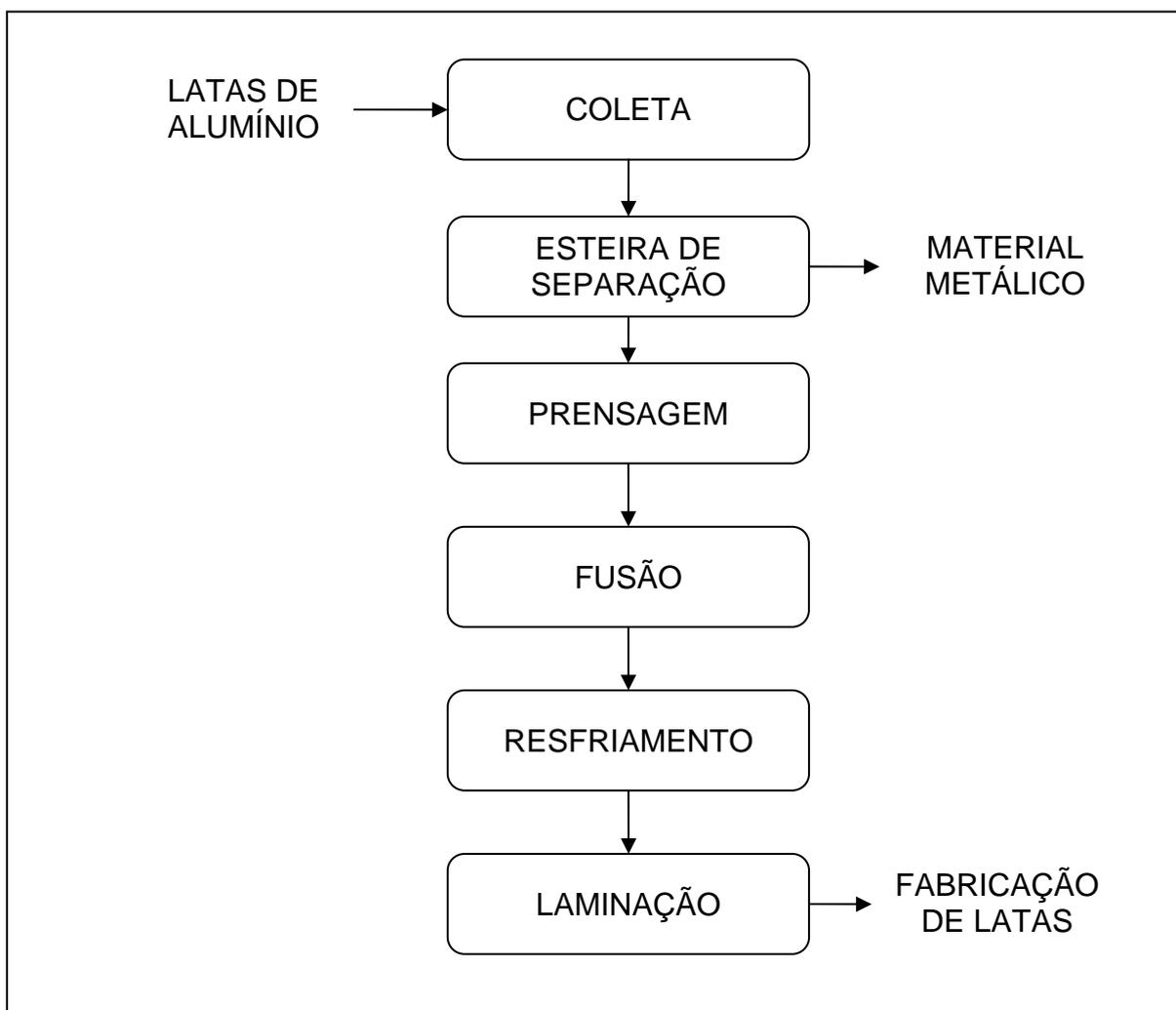
Estudos mostram que existem limitações quanto ao número de reciclagens do PET. Segundo MANCINI (1999), após o quinto ciclo de reciclagem do PET ocorre a quebra de sua cadeia cumulativa, causando a degradação da estrutura macromolecular do polímero.

Com relação ao uso de PET reciclado para fabricação de novas embalagens, órgãos de controle como o *Food and Drug Administration* (FDA) nos Estados Unidos e o *International Life Sciences Institute* (ILSI) na União Européia liberaram o uso da embalagem de PET reciclado em contato direto com alimentos e bebidas. A tecnologia é conhecida como processo monocamada ou URRC, sendo capaz de descontaminar o PET após o consumo através de um sistema de lavagem que assegura ao reciclado o mesmo nível de limpeza da matéria prima virgem.

O processo tradicional de utilização de PET reciclado é realizado através de multicamada, composta por três camadas, sendo as duas de fora de material virgem e a camada de dentro de material reciclado, num máximo de 48% do total de material (CEMPRE, 2004). No Brasil, até o momento, apenas a embalagem multicamada destinada ao acondicionamento de bebidas carbonatadas não alcoólicas foi liberada pela Portaria Nº 987, de 8 de dezembro de 1998, da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde (LIMA,2001).

Em relação ao alumínio, sua estrutura química permite que ele seja reciclado em novas latas sem perder suas características originais. O diagrama de reciclagem de latas de alumínio pode ser observado na Figura 11, conforme indicado por empresa recicladora.

FIGURA 11 – DIAGRAMA DA RECICLAGEM DE LATAS DE ALUMÍNIO

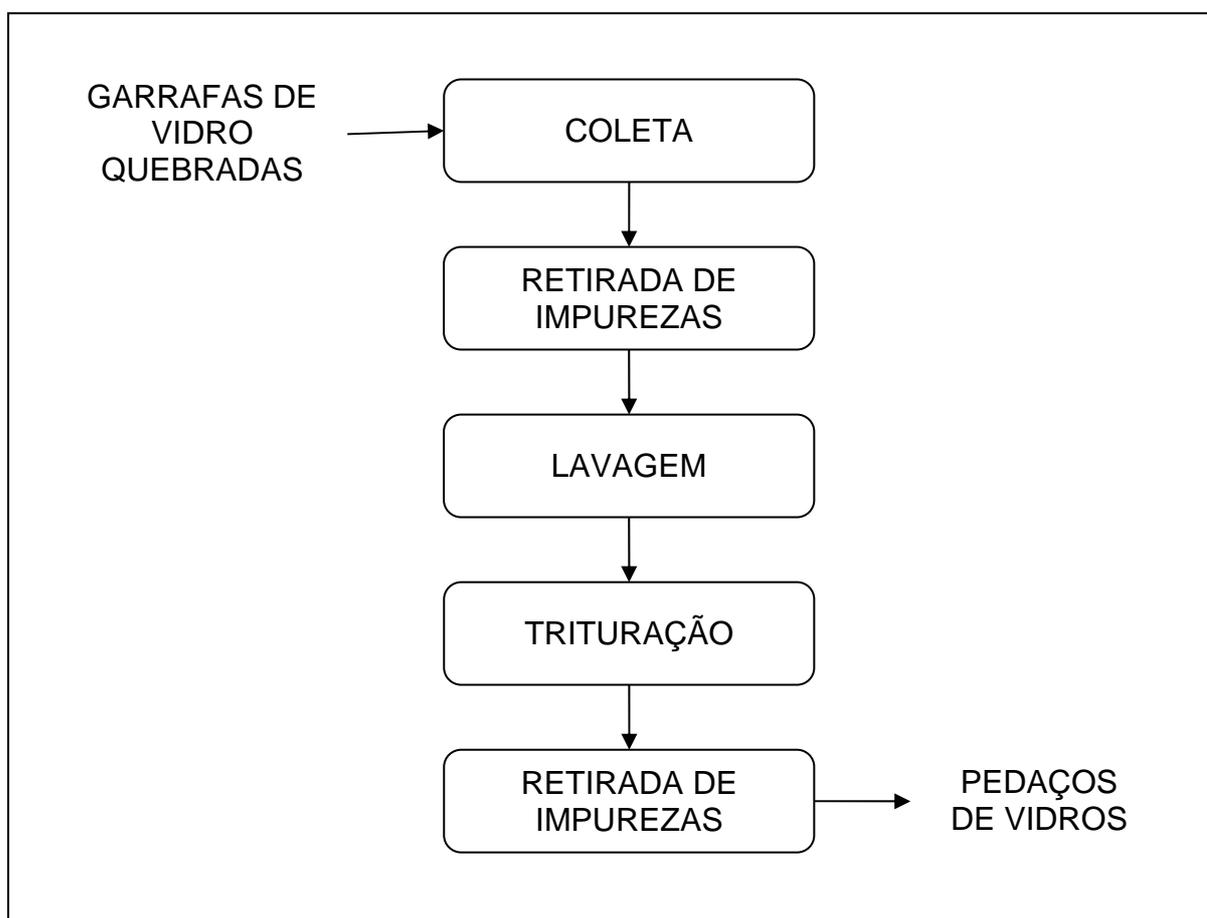


Observa-se no diagrama da Figura 11 que depois de coletadas as latas passam em esteira imantada para a remoção de materiais metálicos, garantindo assim a pureza do material quando fundido. As latas seguem então para a prensagem e o bloco formado é transportado para a usina de fusão, onde é cortado e colocado em um forno aquecido.

O alumínio fundido é posteriormente colocado em formas e resfriado formando lingotes que são então encaminhados para a laminação e posteriormente para a unidade de fabricação de latas (REXAN, 2004).

Na reciclagem do vidro, o material coletado é submetido a um eletroímã para a separação dos metais contaminantes, como pode ser observado na Figura 12.

FIGURA 12 – DIAGRAMA DA RECICLAGEM DE GARRAFAS DE VIDRO



Após a etapa inicial de retirada de impurezas, o material é lavado em tanques com água e encaminhado para um triturador, que transforma as garrafas em pedaços de vidro de tamanho homogêneo. Os pedaços de vidro são enviados para uma peneira vibratória de classificação e passam por um segundo eletroímã, que

separa metais que ainda estão misturados aos pedaços de vidro. Os pedaços de vidro classificados são então armazenado em silos ou tambores para posterior utilização (CEMPRE, 2003).

Com relação às limitações da reciclagem do vidro, o material enviado para processamento não pode conter pedaços de cristais, espelhos, lâmpadas e vidro plano usado em automóveis e na construção civil. Por terem composição química diferente, estes tipos de vidros causam trincas e defeitos nas embalagens. Além disso, se os pedaços de vidro forem misturados com terra ou cerâmica, formam-se pedras no produto final, provocando quebra espontânea do vidro. A presença de plástico e metais em excesso pode gerar bolhas e alterar a cor da embalagem.

O vidro deve ser separado por cor para evitar alterações de padrão visual do produto final e reações que formam espumas indesejáveis no forno. Frascos de remédios só podem ser reciclados se coletados separadamente do lixo hospitalar. O vidro pode ser reciclado inúmeras vezes, sem que haja prejuízo em sua qualidade (SAINT GOBAIN, 2003)

3.5.2.3 Reciclagem Energética

A reciclagem energética consiste na recuperação da energia contida nos materiais através de processos térmicos. Neste processo o plástico funciona como combustível auxiliar para a geração de energia elétrica e aquecimento de caldeiras, reduzindo mais o uso de recursos naturais. A energia contida em 1 kg de plásticos é equivalente à contida em 1 kg de óleo combustível, que é da ordem de 10.000 kcal (PLASTIVIDA, 2004).

Esta é uma alternativa fácil e de rápida implementação se for considerada a disponibilidade de tecnologias limpas para queima de resíduos sólidos e o co-processamento com outros combustíveis. Deve-se ressaltar, no entanto, que para plásticos contendo cloro não se recomenda a reciclagem energética, uma vez que existe a possibilidade da formação de compostos tóxicos na fase gás (FUJII, 1994).

Com relação ao vidro e ao alumínio, estes são materiais não combustíveis e a altas temperaturas se fundem, não tendo capacidade de liberação de energia. (CEMPRE, 2004).

3.5.3 Mercado da Reciclagem

O Brasil produziu 300 mil toneladas de plástico PET em 2002, reciclando 35% deste montante, num total de 105 mil toneladas de resina. Desta quantidade, cerca de 41% foi utilizado pela indústria têxtil. O mercado para embalagens PET vem crescendo durante os últimos anos, atingindo taxas de 24% ao ano, o mesmo ocorrendo com o número de recicladores deste material, que vem aumentando a uma taxa de 30% ao ano (CEMPRE, 2004).

O crescimento acentuado do consumo de PET está relacionado ao mercado de embalagens, principalmente para bebidas como refrigerantes, água e sucos. Os óleos vegetais também têm sido embalados em PET em substituição aos tradicionais recipientes de metal. A Tabela 10 reúne dados de consumo e reciclagem de resina PET no Brasil nos últimos anos.

TABELA 10 – PRODUÇÃO, CONSUMO E RECICLAGEM DE PET NO BRASIL

Ano	Quantidade de PET Produzida (t)	Quantidade de PET Reciclada (t)	Reciclagem (%)
1994	69,2	13,0	18,8
1995	70,9	18,0	25,4
1996	104,8	22,0	21,0
1997	185,2	30,0	16,2
1998	223,5	40,0	17,9
1999	245,1	50,0	20,4
2000	254,8	67,0	26,3
2001	270,5	89,0	32,9
2002	300,0	120,0	40,0

FONTE: ABRE, 2003

Observa-se na Tabela 10 que, no período entre 1994 e 2002, o consumo de PET no Brasil teve um aumento de quatro vezes enquanto a quantidade reciclada aumentou cerca de nove vezes.

Com relação à lata de alumínio, o Brasil recicla atualmente 80% do total de latas produzidas (CEMPRE, 2004), devido principalmente ao seu valor econômico que permite a reciclagem sem necessidade de subsídios governamentais. Algumas informações sobre as taxas de reciclagem de alumínio no mundo nos últimos anos podem ser observadas na Tabela 11.

TABELA 11 – TAXAS MUNDIAIS DE RECICLAGEM DE LATAS DE ALUMÍNIO

Ano	Taxa de reciclagem por país (%)				
	Argentina	Brasil	Europa	EUA	Japão
1995	25,0	63,0	35,0	62,0	66,0
1996	41,0	61,0	37,0	64,0	70,0
1997	48,0	64,0	40,0	67,0	73,0
1998	50,0	65,0	41,0	63,0	74,0
1999	51,0	70,0	41,0	63,0	79,0
2000	50,0	72,0	43,0	62,0	81,0
2001	52,0	78,0	45,0	55,0	83,0
2002	72,0	82,0	46,0	53,0	83,0

FONTE: ABAL, 2004

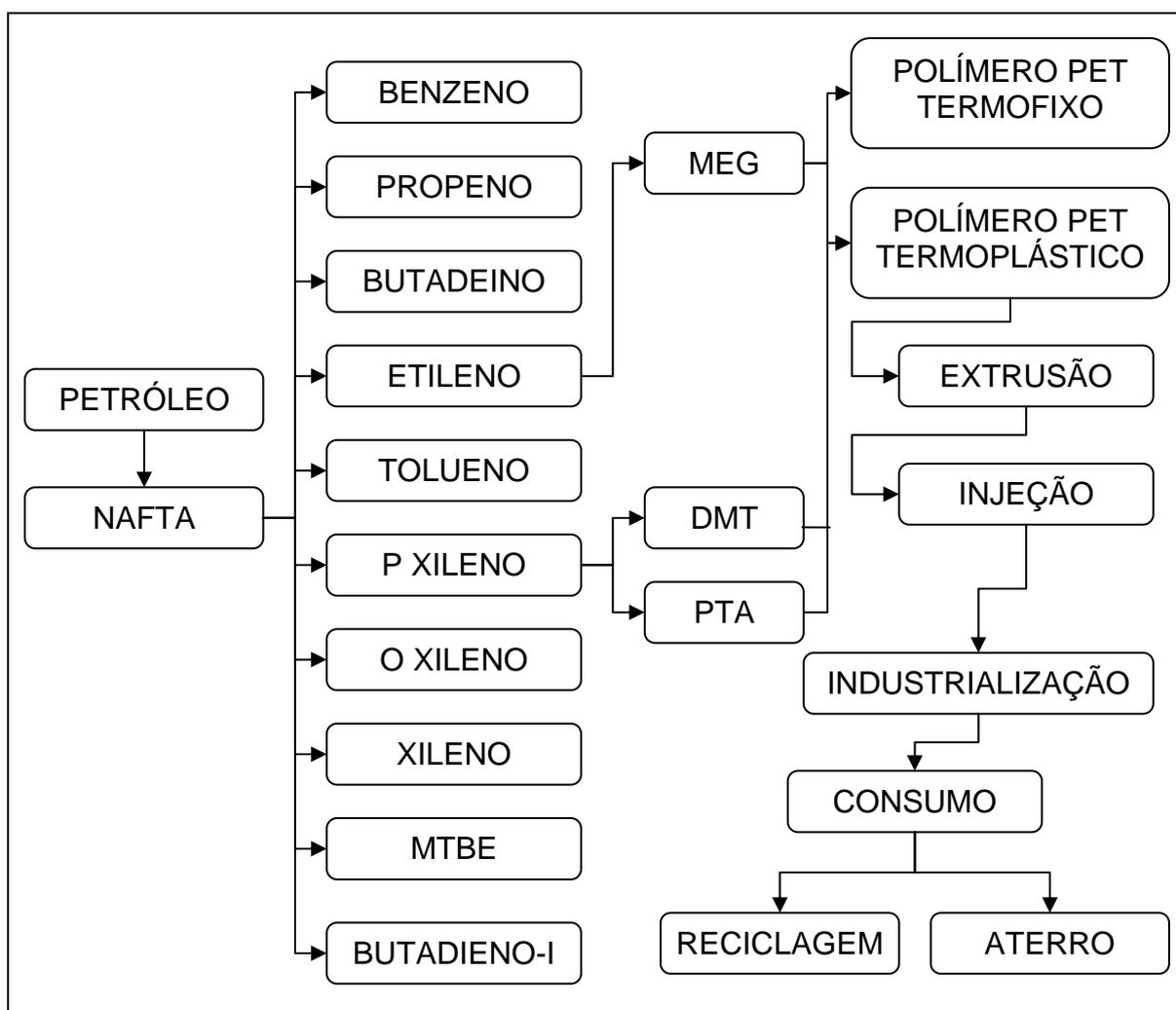
Observa-se na Tabela 11 que existe uma tendência ao aumento da reciclagem de latas de alumínio em todos os países, à exceção dos Estados Unidos. Os dados também indicam que Japão e Brasil são os países com as maiores taxas de reciclagem deste material.

No que diz respeito às embalagens de vidro, das 890 mil toneladas produzidas por ano no Brasil, cerca de um quarto é reciclada na forma de pedaços. Deste total, 40% é oriundo da indústria de envase, 40% do mercado difuso, 10% de bares, restaurantes e hotéis e 10% do refugo da indústria (CEMPRE, 2004).

3.6 ANÁLISE DA CADEIA DE PRODUÇÃO DE PET

O ciclo de vida do PET para a fabricação de garrafas envolve etapas que vão desde a extração do petróleo até a reciclagem das garrafas após o consumo, conforme pode ser observado no diagrama de blocos da Figura 13.

FIGURA 13 – DIAGRAMA DE PRODUÇÃO DO POLÍMERO PET



Verifica-se na Figura 13 que o ciclo de vida das garrafas PET tem início na extração do petróleo que após ser processado se separa em vários compostos, entre os quais a nafta. A partir da destilação da nafta, são obtidos outros produtos como o etileno e o p-xileno, que são matérias-primas para a fabricação de monoetilenoglicol (MEG) e dimetiltereftalato (DMT), respectivamente.

A partir destes dois materiais obtém-se o polímero PET para garrafa na forma de flocos. Os flocos são então transformados em preformas que seguem para o engarrafador, onde ocorrem as etapas de sopro para a formação das garrafas e o envase do refrigerante.

As garrafas de refrigerante seguem então para os centros consumidores e, após serem usadas, são descartadas. Parte das garrafas descartadas é recolhida e encaminhada para a reciclagem e o restante segue para disposição em aterros. A seguir são descritas as etapas do ciclo de vida das garrafas PET.

3.6.1 Extração do Petróleo

O petróleo é formado a partir do processo de decomposição de matéria orgânica, como restos vegetais e restos de animais marinhos, ocorrido durante centenas de milhões de anos da história geológica da Terra. Este material é oleoso, inflamável, quimicamente apolar, menos denso que a água e com cheiro característico (CAMPOS, 1999).

O petróleo é uma mistura de hidrocarbonetos composta de diversos tipos de moléculas, formadas principalmente por átomos de hidrogênio e carbono e, em menor parte, de oxigênio, nitrogênio, hidrogênio e enxofre, combinados de forma variável. Estas várias combinações conferem características diferenciadas aos diversos tipos de óleo crus encontrados na natureza (SHREVE, 1997).

A extração do petróleo ocorre através da perfuração de um poço que atinge o lençol petrolífero, que jorra espontaneamente. Esse tipo de extração é conhecido como primeira recuperação, tem baixo custo, e extrai 5% da reserva total.

Com o tempo, a pressão no subsolo diminui e o petróleo não jorra mais espontaneamente. A partir deste ponto outro poço é perfurado e, através da injeção de água sob alta pressão, outra parte da reserva é extraída. O custo desta segunda recuperação é maior, sendo capaz de extrair 30% da reserva restante. Como o custo

da extração do petróleo restante no subsolo é bastante alto, ela somente é realizada quando se torna viável economicamente (SOKA, 2001).

3.6.2 Refino do Petróleo

A etapa de refino do petróleo dentro do ciclo de vida da garrafa PET tem como objetivo transformá-lo em seus derivados. A seguir são apresentadas as etapas de obtenção de nafta, etileno, p-xileno, MEG e DMT.

3.6.2.1 Obtenção da Nafta

Inicialmente o petróleo é enviado à etapa de dessalga para a remoção de água, sais e partículas sólidas em suspensão que podem prejudicar a qualidade do produto final (LIMA, 2001). Através da passagem por um campo elétrico de alta voltagem, o petróleo é separado das impurezas que constituem a salmoura.

O petróleo segue então para a etapa de destilação, que consiste em um processo físico de separação baseado na diferença de pontos de ebulição entre compostos coexistentes numa mistura líquida (LIMA, 2001).

O processo de destilação tem início com o bombeamento contínuo de petróleo através de trocadores de calor que aquecem o material antes de ser encaminhado a torre de pré-fracionamento.

No ponto de entrada da torre, conhecido como zona de vaporização, ocorre a separação do petróleo em duas frações. A primeira fração, que encontra-se no estado vaporizado, é encaminhada para um tanque de estabilização onde se separa em GLP e nafta leve.

A segunda fração, no estado líquido, é encaminhada para uma torre de destilação atmosférica que promove a separação da mistura em outras três correntes. A primeira corrente segue para uma torre de destilação a vácuo, sendo separada em gasóleo leve, gasóleo pesado e resíduo de vácuo. A segunda corrente

segue para torres retificadoras, onde é separada em querosene, diesel pesado e diesel leve.

Finalmente, a terceira corrente, constituída por nafta pesada, é enviada juntamente com a nafta leve para indústrias petroquímicas para a obtenção de compostos como o etileno e o p-xileno.

3.6.2.2 Obtenção do Etileno

A nafta bruta resultante da destilação do petróleo é aquecida e alimentada junto com vapor d'água nos fornos de craqueamento, onde ocorre a pirólise. Nesta etapa obtém-se o gás combustível, que é recolhido. O material restante segue então para a etapa de fracionamento primário, sendo separado em três frações. A primeira fração é composta pelo resíduo de pirólise, onde se concentram os compostos mais pesados e polímeros formados no craqueamento (LIMA, 2001).

A segunda fração é composta por vapor d'água e gásóleo, que é incorporado a outras correntes para a formação de subprodutos. Finalmente, na terceira fração encontram-se gasolina, uma fração rica em aromáticos e uma fração leve composta por uma mistura de hidrocarbonetos, onde se encontra o etileno.

Esta mistura de hidrocarbonetos leves é separada dos outros compostos através de compressão e segue para uma torre fracionadora onde ocorre a retirada do hidrogênio e metano presentes na corrente. O material remanescente segue para a fracionadora seguinte, sendo separado em duas correntes. A primeira corrente é composta por substâncias mais pesadas que o etileno, como o propileno, o propano e o butano.

A segunda corrente, composta por etileno, etano e traços de acetileno, é encaminhada para a etapa de purificação, onde o acetileno presente na mistura é convertido a etileno.

Finalmente, a corrente final passa por uma última fracionadora onde são separados o etano, que retorna para o processo, e o etileno, que segue para a produção de MEG (LIMA, 2001).

3.6.2.3 Obtenção do p-xileno

A fração rica em aromáticos separada dos hidrocarbonetos leves por compressão é processada em uma unidade de reforma catalítica com o objetivo de aumentar a concentração dos compostos aromáticos. Após uma separação por destilação extrativa, obtém-se uma corrente rica em benzeno, tolueno, xilenos e etilbenzeno.

Essa corrente segue para uma torre de destilação, sendo separada em duas frações. A primeira fração é rica em p-xileno, m-xileno e etilbenzeno. A segunda fração é composta por o-xileno e substâncias mais pesadas.

A mistura de p-xileno, m-xileno e etilbenzeno é encaminhada para um processo de adsorção, ocorrendo então a separação do p-xileno dos demais componentes.

3.6.2.4 Obtenção do Monoetilenoglicol

A partir da reação de etileno com oxigênio, pelo processo de oxidação catalítica, obtém-se o óxido de etileno. Através da reação deste óxido de etileno com água obtém-se o MEG, o mais simples dos etilenoglicóis. As reações de processo do MEG são fortemente exotérmicas, sendo realizadas na fase líquida sem a presença de catalisadores (BRASKEM, 2003). O MEG fabricado segue então para a etapa de fabricação de resina PET.

3.6.2.5 Obtenção do Dimetiltereftalato

O processo de fabricação do DMT é dividido em quatro etapas, oxidação, esterificação, cristalização e destilação. Na primeira etapa, ocorre a oxidação do p-

xileno pelo metanol formando o p-toluato de metila. A mistura de p-toluato de metila com o p-xileno remanescente é recirculada no processo na presença de ar e catalisadores, formando os ácidos tereftálico e monometilester tereftálico.

Na segunda etapa, os ácidos tereftálico e monometilester tereftálico passam pela etapa de esterificação a partir da reação com metanol, formando o DMT. A terceira etapa de produção é responsável pela purificação do DMT através do processo de cristalização.

Nesta fase, o DMT é dissolvido em metanol juntamente com os isômeros e as impurezas formados durante o processo. Por ser menos solúvel em metanol que as duas outras substâncias, o DMT é separado da solução através da diminuição da temperatura, sendo obtidos desta maneira cristais puros de DMT.

Finalmente, na quarta etapa de produção é realizada a destilação do DMT cristalizado, resultando em DMT de elevada pureza que é enviado para a fabricação da resina PET juntamente com o MEG (BRASKEM, 2003).

3.6.3 Fabricação da Resina

O PET para garrafa é produzido através do processo de transesterificação, a partir da reação entre MEG e DMT, com liberação de metanol. O produto formado nesta transesterificação é o dihidroxetileno tereftalato (DHET).

A reação continua até que o peso molecular ideal seja alcançado e o polímero PET seja totalmente formado. Após sua fabricação, o polímero é extrusado, resfriado e enviado para produção de grãos. Os grãos são então alimentados a um secador para reduzir o teor de umidade e ensacados.

3.6.4 Fabricação da Preforma

Os grãos secos provenientes da etapa de fabricação de resina são encaminhados para a etapa de plastificação, que provoca o amolecimento do

material necessário para a etapa de moldagem. O material é então injetado no molde, com altas pressão, temperatura e velocidade, tomando sua forma e sendo resfriado por troca térmica em seguida. Com este resfriamento a preforma solta do molde e é desprendida por força mecânica. Durante a extração da preforma outra quantidade de resina é injetada no molde dando continuidade à produção.

3.6.5 Produção da garrafa e lavagem

As preformas são então enviadas para o engarrafador e seguem para a etapa de sopro com ar quente. Tendo em vista que esta resina pode ser termo-moldada, o sopro a quente expande a preforma, preenchendo os espaços do molde que a envolve. A garrafa pronta passa então pela etapa de lavagem para a retirada de pó e segue para a etapa de envase de refrigerante.

3.6.6 Fabricação do rótulo e da tampa

Os rótulos empregados nas garrafas PET são fabricados a partir de PEBD. Da mesma maneira, as tampas são fabricadas a partir de PP, com retentores de PVC termoencolhível.

O PEBD é um termoplástico flexível e tenaz, apresentando pouca tendência a se arranjar em estrutura cristalina, apresentando então pouca resistência mecânica. O PEBD é obtido pela polimerização do etileno sob alta pressão e altas temperaturas (BLASS, 2001).

O PP apresenta baixa densidade e alta resistência ao calor. É obtido pela polimerização do propileno sob condições controladas. Sua alta cristalinidade lhe confere elevada resistência mecânica, rigidez e dureza (BLASS, 2001).

Finalmente, o PVC termoencolhível é obtido a partir da polimerização do cloreto de vinila a altas temperaturas. A introdução de modificadores permite o amolecimento da resina pura, que originalmente é dura e rígida. Desta maneira obtém-se materiais de cores variadas e mais flexíveis (BLASS, 2000).

3.6.7 Reciclagem

O processamento básico de reciclagem de garrafas PET compreende as seguintes etapas: aquisição de matéria-prima, classificação, moagem, lavagem, enxágüe, descontaminação, pré-secagem, secagem, eliminação de pó e embalagem.

As principais fontes de matéria-prima para a reciclagem de PET são as embalagens após o consumo, distribuídas entre garrafas de bebidas como refrigerante, água e suco e embalagens de óleo comestível.

Após a coleta do material é realizada a etapa de classificação, que consiste na separação dos possíveis contaminantes presentes na sucata de PET. A separação pode ser feita manualmente ou automaticamente, através de equipamentos com sensores óticos.

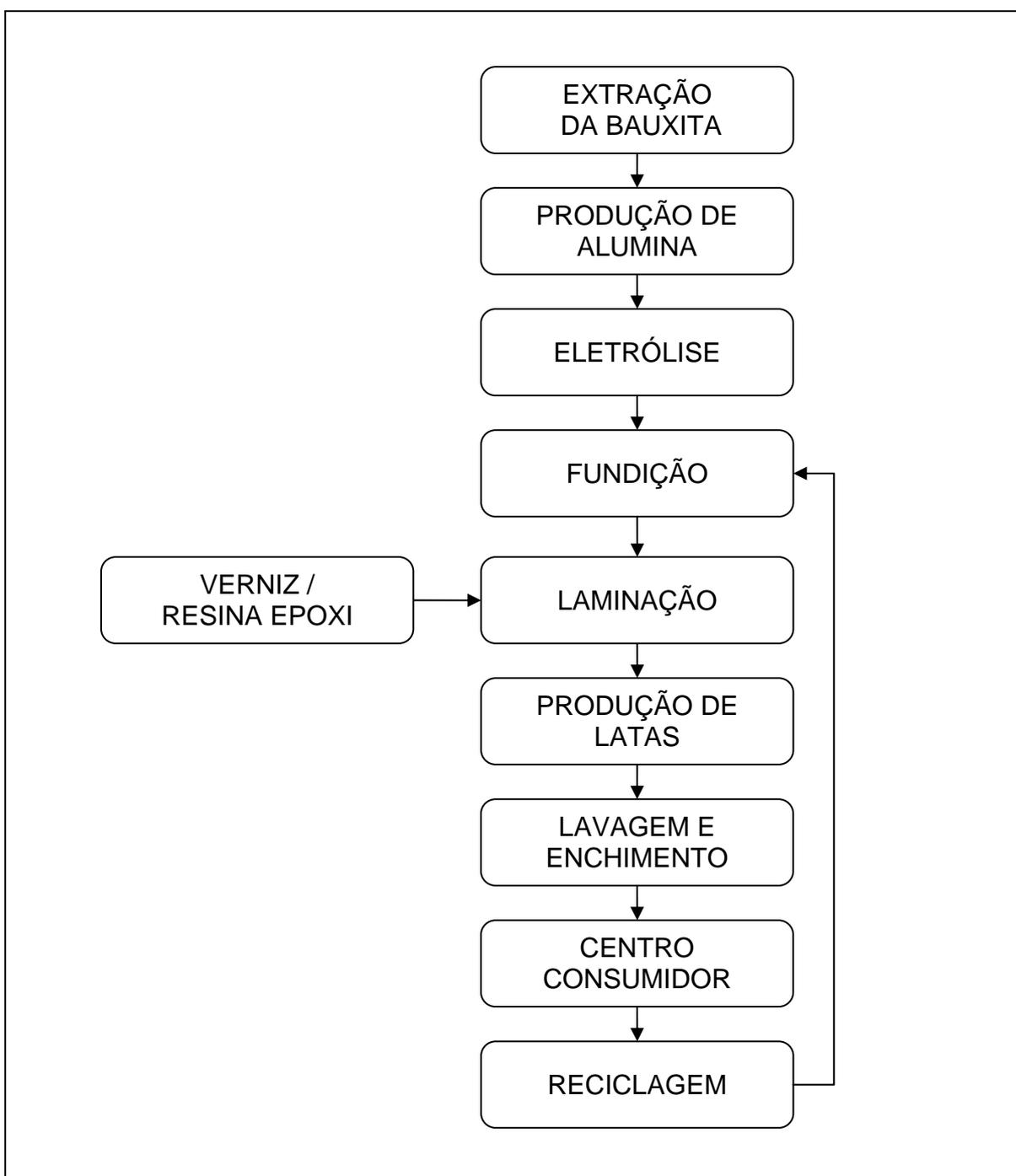
O material separado é então encaminhado para a etapa de moagem e classificação, de acordo com o tamanho alcançado. Os grãos classificados seguem para a etapa de enxágüe através de roscas sem fim para a retirada de possíveis contaminantes, como restos gordurosos de alimentos e bebidas.

O material segue então para um tanque de separação e descontaminação para drenagem da água de enxágüe. Um pré-secador é utilizado para a retirada da água superficial do material e a secagem total é realizada com ar quente em um secador contínuo. A última etapa da reciclagem é a remoção do pó aderido aos grãos através da passagem de ar quente com ventilador e de um sistema para exaustão do pó. O material seco e isento de pó é enviado para um ensacador que faz a embalagem do produto e completa o processo.

3.7 ANÁLISE DA CADEIA DE PRODUÇÃO DO ALUMÍNIO

O ciclo de vida do alumínio para a fabricação de latas envolve etapas que vão desde a extração da bauxita até a reciclagem das latas após o consumo, conforme se observa no diagrama de blocos da Figura 14.

FIGURA 14 – DIAGRAMA DE PRODUÇÃO DO ALUMÍNIO



Verifica-se através do diagrama de blocos indicado na Figura 14, que inicialmente a bauxita é extraída e encaminhada para processamento, obtendo-se a alumina. A alumina é então submetida ao processo de eletrólise, transformando-se em alumínio. Este material, produzido na forma de pó, é enviado para as etapas de fundição e produção de lingotes, que após laminados passam pelo processo de estampagem e envernizamento antes de seguirem para a etapa de produção de latas.

Finalmente as latas são lavadas, envasadas e encaminhadas para os centros consumidores. Após o consumo, as latas são recolhidas e encaminhadas para a fundição. A seguir são descritas de forma detalhada as etapas do ciclo de vida da produção de alumínio para a fabricação de latas.

3.7.1 Extração da Bauxita e Produção da Alumina

A extração da bauxita é realizada com o auxílio de retroescavadeiras e o minério é transportado para o beneficiamento em seu estado natural sem a eliminação das impurezas. Na primeira etapa do beneficiamento da bauxita é realizada a trituração do minério. Em seguida ocorre a adição de soda cáustica ao material e o aquecimento da solução através da injeção de vapor (FORTLAR, 2004).

A solução é então encaminhada para os processos de sedimentação e filtragem eliminando-se as impurezas presentes na bauxita. Esta solução, livre de todas as impurezas, segue para a fase de precipitação, etapa em que ocorre a precipitação da alumina contida na solução através do processo de cristalização por semente. O material segue então para lavagem e secagem através de aquecimento, obtendo-se a alumina em forma de pó (FORTLAR, 2004).

3.7.2 Eletrólise e Fundição

A fabricação do alumínio é realizada através da eletrólise da alumina. A alumina dissolvida em criolita fundida é submetida à ação de uma corrente elétrica contínua, se decompondo em alumínio e oxigênio. O alumínio metálico deposita-se

sobre o cátodo e o oxigênio sobre o ânodo, com combustão deste último. Os gases liberados no processo são constituídos por gás carbônico e monóxido de carbono (BAEK, 2002).

A extração do alumínio no cadinho catódico é feita através de um sifão em ferro fundido, ligado a uma panela de aço que é revestida de tijolos aluminosos. O pó branco de alumínio segue para a etapa de fundição, sendo derretido e colocado em formas para a formação de lingotes.

Vale ressaltar o alto consumo de energia necessário para a fabricação do alumínio primário, observando-se também que os gastos com energia correspondem a aproximadamente 25% do custo total do alumínio (BAEK, 2002).

3.7.3 Laminação

Na etapa de laminação os lingotes fabricados passam através de rolos de aberturas variadas para afinamento das chapas e formação das lâminas que são enroladas em formas de bobinas..

3.7.4 Produção da Lata

Na etapa de produção de lata a bobina é desenrolada e colocada em processo de estamparia. As lâminas são cortadas do tamanho adequado e o pescoço e o fundo da lata são formados, enquanto em outra máquina é realizada a confecção da tampa (REXAN,2004).

3.7.5 Verniz e Resina Epoxi

O interior da lata recebe um spray de proteção extra, que evita o contato direto do alumínio com o líquido. A tinta da estampa, o verniz externo e o revestimento de proteção interno, representam cerca de 2% do peso total de uma lata pronta vazia (REXAN, 2004).

3.7.6 Lavagem

A lata de alumínio pronta passa então por uma lavagem para a retirada de pó e segue para a etapa de envase, quando se junta ao refrigerante já pronto.

3.7.7 Reciclagem

Após serem coletadas, as latas são encaminhadas através de esteira para a etapa de prensagem onde são compactadas. A esteira é imantada de modo a reter as latas de aço, garantindo assim a pureza do material depois de derretido.

Após a etapa de prensagem, o bloco é transportado para a usina de refusão, sendo cortado e transferido para um forno aquecido para a evaporação da tinta da estampa e fusão do material. O alumínio fundido é colocado em formas e os lingotes resultantes seguem novamente para a etapa de laminação e fabricação de novas latas (REXAN, 2004).

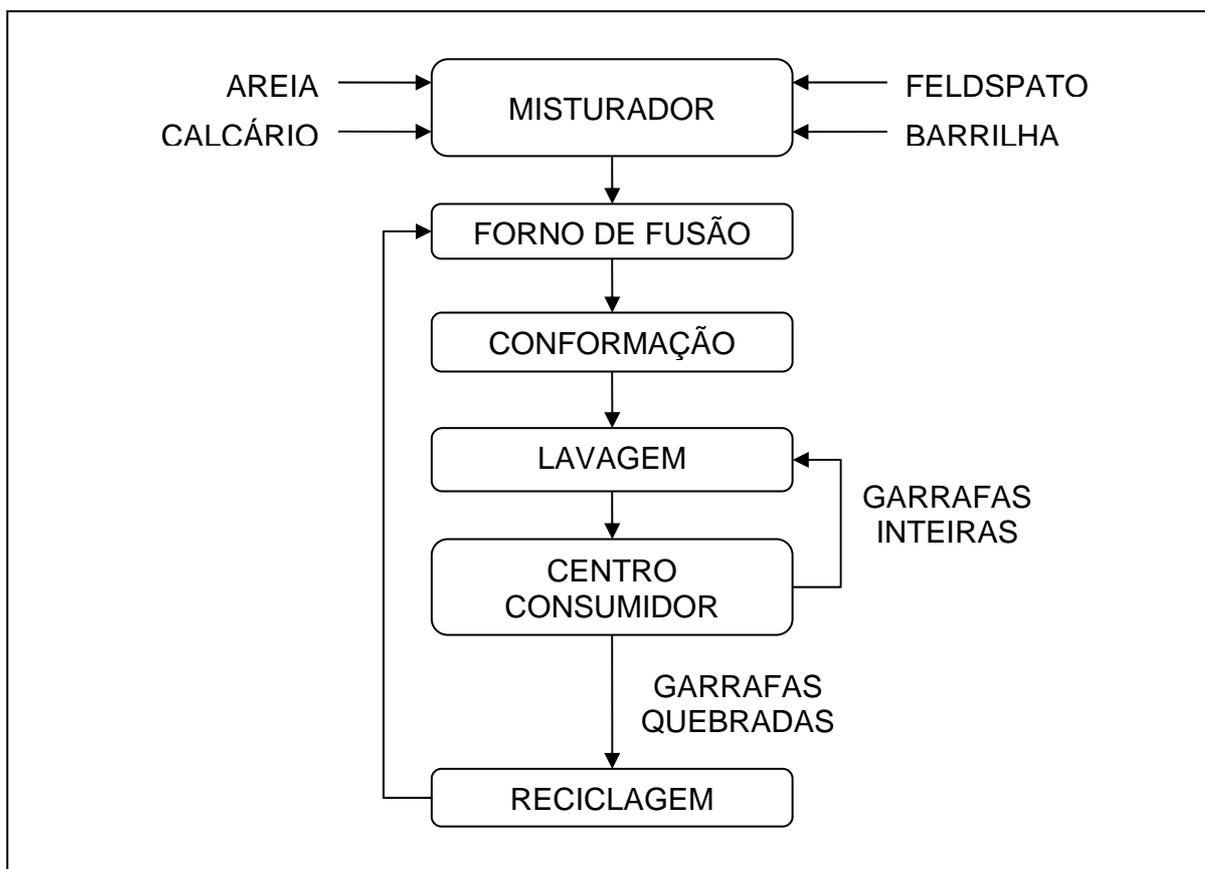
3.8 ANÁLISE DA CADEIA DE PRODUÇÃO DO VIDRO

O ciclo de vida do vidro para a fabricação de garrafas envolve etapas que vão desde a extração das matérias-primas até a reciclagem das garrafas após o consumo, conforme observado no diagrama de blocos da Figura 15.

Verifica-se neste diagrama de blocos que as matérias-primas para a fabricação do vidro são a areia, o calcário, o feldspato e a barrilha. Estes materiais são misturados e seguem para as etapas de fusão e conformação para a fabricação das garrafas.

Na próxima etapa as garrafas são lavadas, envasadas e tampadas, seguindo para o centro consumidor. As garrafas quebradas são encaminhadas para a reciclagem e as garrafas inteiras voltam para as engarrafadoras para reutilização. A seguir são descritas as várias etapas de fabricação de garrafas de vidro abrangidas pelo estudo.

FIGURA 15 – DIAGRAMA DE PRODUÇÃO DO VIDRO



3.8.1 Fabricação do vidro

A fabricação do vidro pode ser dividida em duas fases, a preparação da composição e a fusão (SAINT GOBAIN, 2003). Na primeira fase as matérias-primas, extraídas da natureza, são pesadas e enviadas ao misturador para a homogeneização da massa, que passa a ser chamada de composição ou mistura vitrificável.

Na segunda etapa a composição é conduzida ao forno de fusão, transformando-se em vidro, que após elaborado é conduzido às máquinas de conformação.

3.8.2 Produção da garrafa

A fase inicial de produção de garrafas é a conformação. Nesta fase a massa de vidro fundido é soprada contra moldes de ferro, tomando a forma de garrafa. O método de conformação depende do tipo de produto, da quantidade que se pretende produzir e dos recursos disponíveis.

A fase final de produção de garrafas é o recozimento. Nesta fase as garrafas percorrem fornos tipo túnel onde ocorre o resfriamento gradual da garrafa até a temperatura ambiente, com o objetivo de aliviar as tensões que normalmente surgem durante a conformação e que podem quebrar ou fragilizar a peça (SAINT GOBAIN, 2003).

3.8.3 Lavagem

A garrafa de vidro pronta segue então para o engarrafador, passando por uma etapa de lavagem para a retirada de pó, sendo encaminhada a seguir para a etapa de envase.

3.8.4 Tampa

As folhas utilizadas para a fabricação das rolhas metálicas das garrafas de vidro são fabricadas a partir de aço e têm um revestimento de óxido de cromo para proteção (IBS, 2004). O disco de vedação da rolha é composto de PVC termoencolhível que impede a saída de gás do refrigerante.

O aço é uma liga de ferro e carvão produzido a partir da redução de minério de ferro em alto forno. No final do processo de redução o ferro produzido e o carvão se fundem, sendo chamados então de ferro gussa ou ferro de primeira fusão. Na etapa seguinte o ferro gussa é encaminhado para a etapa de refino para a queima de impurezas, sendo transformado em aço.

Em seguida o aço em processo de solidificação é encaminhado para a etapa de laminação, sendo deformado mecanicamente e transformado em chapa. As chapas são então revestidas com o cromo e óxido de cromo, pintadas, envernizadas e cortadas no tamanho adequado da rolha metálica. O vedante de PVC é corretamente fixado e as tampas enviadas ao engarrafador.

3.8.5 Reciclagem

Na etapa de reciclagem, o vidro bruto estocado em tambores é submetido a um eletroímã para a separação dos metais contaminantes. O material é lavado em tanques com água para a remoção de impurezas e depois passa por uma esteira destinada à separação de impurezas como restos de metais, pedras, plásticos e vidros indesejáveis que não tenham sido removidos anteriormente.

Um triturador transforma as embalagens em pedaços de tamanho homogêneo que são encaminhados para um segundo eletroímã, que separa os metais ainda existentes nos cacos. Os pedaços de vidro são então armazenado em silos ou tambores para posterior utilização.

4 METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento do trabalho consiste nas seguintes etapas. Inicialmente foram definidas as fronteiras do estudo para cada embalagem. Em seguida foram definidos os aspectos e impactos ambientais do estudo. Na seqüência foram determinados os procedimentos para coleta de dados e a unidade funcional do sistema. Em seguida, foram utilizadas as taxas atuais de reciclagem e as taxas de reciclagem a serem investigadas e finalmente foi realizado o tratamento dos dados através de balanços de massa e aplicação de método de valoração.

As embalagens consideradas neste estudo são as garrafas PET cristal com capacidade de 2,0 L e massa de 50 g, as latas de alumínio com capacidade de 350 ml e massa de 14,9 g e as garrafas de vidro incolor com capacidade de 290 ml e massa de 386,2 g.

Para o desenvolvimento deste trabalho para as garrafas PET, foram selecionadas as etapas de extração e refino do petróleo, produção de resina, produção de preformas, produção e lavagem de garrafas, produção de tampas e rótulos e reciclagem das garrafas descartadas.

Os dados de processo referentes a estas etapas foram coletados através de entrevistas e formulários específicos conforme modelo do ANEXO I. Os responsáveis pelo preenchimento dos formulários são colaboradores das empresas selecionadas para o estudo e exercem os cargos de supervisão de processo e coordenação de meio ambiente.

Em cada formulário foram solicitados dados sobre consumo de recursos naturais e materiais secundários, consumo energético (elétrico e combustível) e dados sobre a geração de efluentes líquidos e resíduos sólidos. Os dados de emissões atmosféricas foram coletados nos trabalhos de ERIKSSON (1996), ECONOMY (2001) e PERSON (1998). Os dados coletados de acordo com as fontes de informação e capacidade de produção são mostrados na Tabela 12.

TABELA 1 – FONTES DE DADOS COLETADOS PARA A ACV DAS GARRAFAS PET

Etapa da ACV	Fonte de Informação	Capacidade de Produção
Extração do petróleo	Empresa estatal de extração de petróleo localizada em São Francisco do Conde, BA	110.000 barris por dia de petróleo
Refino do petróleo	Empresa estatal e empresa multinacional de refino de petróleo localizadas em Camaçari, BA	16.000 t/dia de nafta, 3.500 t/dia de eteno, 3.200 t/dia de p-xileno, 400 t/dia de MEG, 220 t/dia de DMT
Fabricação de resina PET e preforma	Empresa multinacional de fabricação de preformas localizada em Camaçari, BA	178 t/dia de resina PET 100.000 preformas/dia
Produção de rótulos	Empresa multinacional de fabricação de rótulos localizada em São Paulo, SP	2 milhões rótulos/dia
Produção de tampas	Empresa multinacional de fabricação de tampas localizada em São Paulo, SP	1,5 milhão tampas/dia
Produção e lavagem de garrafas	Empresa multinacional de fabricação de refrigerante localizada em Curitiba, PR	7.000 garrafas/dia
Reciclagem	Empresa de reciclagem localizada em Feira de Santana, BA	1 t/dia

Para a ACV do alumínio foram consideradas as etapas de extração de bauxita e produção da alumina, eletrólise e fundição do alumínio, laminação, produção de latas, produção de verniz e resina epóxi e reciclagem das latas utilizadas. Os formulários utilizados para o alumínio são os mesmos utilizados para o PET e o vidro, da mesma forma que os cargos dos responsáveis pelo seu preenchimento. Os dados de emissões atmosféricas foram coletados nos trabalhos de ERIKSSON (1996), ECONOMY (2001) e RYBERG (1998). Os dados coletados de acordo com as fontes de informação são mostrados na Tabela 13.

No estudo da ACV do vidro foram selecionadas as etapas de extração de recursos naturais, fabricação do vidro e da garrafa, produção de rótulos, produção das tampas, lavagem das garrafas e reciclagem das garrafas quebradas. Os dados de emissões atmosféricas foram coletados nos trabalhos de ERIKSSON (1996) (2000), ECONOMY (2001) e WIDHEDEN (1998). Os dados coletados de acordo com as fontes de informação são mostrados na Tabela 14.

A coleta de dados foi realizada no período de 2003 a 2004. Com relação aos dados referentes ao consumo de recursos naturais e materiais secundários, as medições foram realizadas através da pesagem dos produtos em balança analítica antes do processamento. O consumo de água foi mensurado através de medidor de vazão presente nas linhas de abastecimento para processo. O consumo de energia foi calculado mediante as especificações de cada equipamento.

As categorias de impacto ambientais consideradas no estudo foram o aquecimento global, a acidificação, a eutrofização e o efeito fotoquímico, por se entender que estes são os efeitos que mais afetam os sistemas estudados.

A avaliação e a comparação do total de aspectos e impactos ambientais gerados pelas etapas de produção foram baseadas na unidade funcional de 1.000 L de capacidade de envase de refrigerante para todos os tipos de embalagens utilizadas. Esta unidade funcional corresponde a 500 garrafas PET, 2857 latas de alumínio e 3448 garrafas de vidro.

As taxas atuais de reciclagem adotadas no estudo foram de 40% para a garrafa PET, 80% para a lata de alumínio e 25% para a garrafa de vidro, conforme informação das empresas consultadas. Foi considerado neste estudo que a garrafa de vidro tem taxa de reuso de 20 vezes, de acordo com a empresa engarrafadora de refrigerantes. Para se determinar a influência da taxa de reciclagem sobre o ciclo de vida dos produtos, foram utilizadas as taxas de reciclagem de 0%, 10%, 50%, 85% e 100% para todas as embalagens.

As taxas de reciclagem e reuso utilizadas no estudo foram relacionadas com os dados coletados através dos fatores de produção calculados nas equações de (1) a (12). Estas taxas foram utilizadas de forma simplificada, sem considerar uma projeção geométrica a que poderiam ser submetidas.

Os dados foram coletados de acordo com a capacidade produtiva de cada empresa e para o tratamento destes dados foram utilizados balanços de massa em uma base comum de 1000 kg de cada embalagem, de tal forma que a soma das entradas do sistema (recursos naturais e materiais auxiliares) é igual à soma das saídas do sistema (emissões atmosféricas, efluentes líquidos, resíduos sólidos e produtos).

Os balanços de massa, bem como os demais cálculos envolvidos no estudo, foram realizados em três fases através do uso de planilha Excel. Na primeira fase foram determinados os fatores de correção para o transporte (F_c^T) dos materiais entre as etapas de produção e as emissões atmosféricas correspondentes.

Na segunda fase as emissões calculadas para o transporte foram somadas às emissões atmosféricas inerentes aos processos produtivos, considerando sempre a etapa inicial do percurso. Deste modo foram obtidos os dados de quantificação dos aspectos ambientais indicados nas Tabelas 22, 23 e 24 para a produção de 1000 kg de cada produto.

TABELA 2 – FONTES DE DADOS COLETADOS PARA A ACV DAS LATAS DE ALUMÍNIO

Etapa da ACV	Fonte de Informação	Capacidade de Produção
Extração de bauxita e produção de alumina	Empresa estatal de extração de bauxita e produção de alumina localizada em Poços de Caldas, MG	2.000 t/dia de bauxita
		800 t/dia de alumina
Eletrólise e fundição	Empresa multinacional de fabricação de alumínio localizada em Poços de Caldas, MG	260 t/dia de alumínio
Laminação	Empresa multinacional de fabricação de alumínio localizada em Poços de Caldas, MG	200 t/dia de lâminas
Produção de latas	Empresa multinacional de produção de latas localizada em Cabreúva, SP	300.000 latas/dia
Produção de verniz e resina epóxi	Empresa multinacional de fabricação de verniz e resina localizada em Diadema, SP	20 t/dia de verniz
		12 t/dia de resina
Lavagem das latas	Empresa multinacional de fabricação de refrigerante localizada em Curitiba, PR	5000 latas/dia.
Reciclagem	Empresa multinacional de fabricação de latas localizada em Cabreúva, SP	160 t/dia.

TABELA 3 – FONTES DE DADOS COLETADOS PARA A ACV DAS GARRAFAS DE VIDRO

Etapa da ACV	Fonte de Informação	Capacidade de Produção
Fabricação do Vidro (extração dos recursos naturais areia, calcário, feldspato e dolomita e produção da massa de vidro)	Empresa multinacional de extração localizada em Descalvado, SP, Bonsucesso de Itararé, SP, São Paulo, SP e São João Del Rey/MG e fabricação de garrafas em Porto Ferreira, SP	250 m ³ /dia de areia, 180 m ³ /dia de calcário, 120 m ³ /dia de feldspato, 190 m ³ /dia de dolomita 100.000 garrafas/dia
Produção de garrafas	Empresa multinacional de fabricação de garrafas localizada em Porto Ferreira, SP	100.000 garrafas/dia
Lavagem das garrafas	Empresa multinacional de fabricação de refrigerantes localizada em Curitiba, PR	10.000 garrafas/dia
Fabricação de tampas	Empresa multinacional de fabricação de tampas localizada em Belém, PA	10.000 unidades/dia
Reciclagem	Empresa de reciclagem localizada em Rio Claro, SP	1 t/dia.

Finalmente, na terceira fase foram calculados os fatores de correção de produção (Fc^P) para os ciclos de vida das embalagens estudadas, de modo a adequar os dados coletados à unidade funcional e à variação das taxas de reciclagem.

Os cálculos dos fatores de correção para o transporte foram realizados utilizando as distâncias percorridas entre as etapas de produção de garrafas PET, de latas de alumínio e de garrafas de vidro. Estas distâncias, bem como os respectivos fatores de correção para o transporte, encontram-se nas Tabelas 35, 36 e 37 do ANEXO II. Nas Figuras 30, 31 e 32, do ANEXO II, também são mostradas as distâncias percorridas entre as fases de produção das três embalagens. Neste estudo não foram consideradas as distâncias percorridas dentro de cada etapa.

Para o cálculo dos fatores de correção referentes ao transporte foi considerada a seguinte relação, segundo ASSUNÇÃO (2003) e ERIKSSON (1996):

$$Fc^T = A \times B \div C \quad (1)$$

sendo,

1) - transporte por tubovia:

A = valor de emissão para o produto (Tabela 17)

B = quantidade de produto transportado (1000 kg)

C = densidade do produto (Tabela 17)

2) - transporte rodoviário:

A = distância entre locais de produção

B = quantidade de produto transportado (1000 kg)

C = capacidade de transporte rodoviário (27200 kg)

3) - transporte ferroviário:

A = distância entre locais de produção

B = quantidade de produto transportado (1000 kg)

C = capacidade de transporte ferroviário (300000 kg)

O total de poluentes atmosféricos emitidos pelo transporte entre as etapas foi calculado através da multiplicação dos fatores de correção calculados pelos valores de emissão atmosférica correspondentes, de acordo com o tipo de transporte.

Para os valores de emissões de material particulado (MP) e SO₂ associadas ao transporte rodoviário foram usados os dados de ERIKSSON (1996), e para os valores de emissões de CO, CO₂, NO_x e HC foram usados dados de ECONOMY (2001), conforme se observa na Tabela 15. O transporte é realizado por meio rodoviário em caminhões com 27,2 toneladas de capacidade de carga cada um e desempenho de 2,2 km/L de óleo diesel.

TABELA 4 – VALORES DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS PARA TRANSPORTE RODOVIÁRIO EM CAMINHÃO COM ÓLEO DIESEL

Emissão Atmosférica	Quantidade (kg/km)
CO	0,0250
CO ₂	1,2100
HC	0,0060
SO ₂	0,0030
NO _x	0,0330
MP	0,0160

FONTE: ERIKSSON (1996), ECONOMY AND ENERGY (2001)

Para as emissões atmosféricas associadas ao transporte ferroviário foram utilizados dados de MOURA (1999), informados na Tabela 16. O transporte é realizado por meio ferroviário em vagões com capacidade total de 300 toneladas de capacidade de carga e desempenho de 1,5 km/L.

TABELA 5 – VALORES DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS PARA TRANSPORTE FERROVIÁRIO EM TREM COM ÓLEO DIESEL

Emissão Atmosférica	Quantidade (kg/km)
CO	0,0689
CO ₂	3,3400
HC	0,0165
SO ₂	0,0083
NO _x	0,0910
MP	0,0440

FONTE: MOURA (1999)

As emissões atmosféricas, especialmente VOC's, relacionadas ao transporte de petróleo e seus derivados por tubovias ocorrem durante as operações de carga e descarga do produto. Neste estudo foram utilizados os dados de ASSUNÇÃO (2003) para o cálculo do total de emissões do VOC's relacionadas ao transporte por tubovias, informados na Tabela 17.

TABELA 6 – VALORES DE EMISSÕES DE VOC'S PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO E DERIVADOS POR TUBOVIAS E DENSIDADE DOS MATERIAIS

Produto	Quantidade Emitida (kg/m ³)	Massa Específica (kg/m ³)
Petróleo	0,0700	843
Nafta	0,0770	712
Derivados da Nafta	0,0890	

FONTE: ASSUNÇÃO (2003)

O total de emissões atmosféricas referentes às etapas de transporte para 1000 kg de produto são reunidos na Tabela 21, no capítulo de resultados.

O cálculo dos fatores de produção foram baseados em RYBERG (1998), PERSON (1998) e WIDHEDEN (1998). Para o cálculo dos fatores de correção de produção associados a cada etapa de fabricação das garrafas PET, com exceção da reciclagem e da fabricação de rótulos e tampas, foi utilizada a seguinte relação:

$$Fc^P = (D \times E - D \times E \times TR) \div F \quad (2)$$

sendo,

D = quantidade de resina PET associada à unidade funcional adotada (25 kg)

E = relação entre a necessidade de recurso natural e a produção de resina PET (1,65 para extração e refino de petróleo e 1,00 para fabricação de resina)

TR = taxa de reciclagem

F = base do balanço de massa (1000 kg)

Para o cálculo dos fatores de correção de produção associados à etapa de reciclagem utilizou-se:

$$Fc^P = D \times TR \div F \quad (3)$$

e, finalmente, para o cálculo dos fatores de correção de produção associados à fabricação de rótulos e tampas foi utilizada a seguinte relação:

$$Fc^P = G \times H \div F \quad (4)$$

sendo,

G = número de rótulos e tampas associados à unidade funcional adotada (500)

H = massa de um rótulo ou tampa (0,002 kg e 0,00286 kg, respectivamente)

Com relação às latas de alumínio, os fatores de correção de produção associados às etapas de extração de bauxita/produção de alumina e de eletrólise/fundição foram calculados através da relação:

$$Fc^P = (I \times J - I \times J \times TR) \div F \quad (5)$$

sendo,

I = quantidade de alumínio associada à unidade funcional adotada (40,83 kg)

J = relação entre a necessidade de recurso natural e a produção de alumínio (1,908 e 1,00, respectivamente)

O cálculo do Fc^P para as etapas de laminação, produção de latas e lavagem foi realizado pela equação:

$$Fc^P = I \div F \quad (6)$$

e para a etapa de reciclagem a relação utilizada foi:

$$Fc^P = I \times TR \div F \quad (7)$$

Para a determinação dos fatores de correção de produção das etapas referentes ao ciclo de vida do vidro foi utilizado o mesmo procedimento. Desta forma, para a etapa de fabricação de vidro a relação utilizada foi:

$$Fc^P = (K \div L - K \times TR \div L) \div F \quad (8)$$

sendo,

K = quantidade de vidro associada à unidade funcional adotada (1331,70 kg)

L = taxa de reuso das garrafas (20)

Para a etapa de produção de garrafas foi utilizado:

$$Fc^P = K \div (L \times F) \quad (9)$$

Com relação à etapa de lavagem tem-se:

$$Fc^P = K \div F \quad (10)$$

Para a fabricação de tampas a relação utilizada foi:

$$Fc^P = M \div F \quad (11)$$

sendo M igual à massa de tampas associada à unidade funcional adotada (8,21 kg).

Finalmente, para a etapa de reciclagem de garrafas de vidro a relação utilizada para o cálculo do fator de correção de produção foi:

$$Fc^P = (K \div L \times TR) \div F \quad (12)$$

Os fatores de correção de produção adotados para adequação dos dados coletados para todas as embalagens encontram-se nas Tabelas 38, 39, e 40, no ANEXO II.

O método Eco Indicador 95, mais representativo para os materiais em estudo, foi adotado neste trabalho para a análise dos impactos ambientais associados ao ciclo de vida das embalagens. Devido à falta de um inventário nacional de dados para consulta, os fatores de normalização utilizados foram os europeus, conforme mostrado na Tabela 2.

O valor do Eco Indicador total para cada embalagem foi calculado através da soma dos valores de Eco Indicador para cada categoria de impacto ambiental analisada. Deste modo, o valor Eco Indicador para as garrafas PET é calculado através da soma dos valores parciais para efeito fotoquímico, acidificação, eutrofização e aquecimento global referentes ao seu ciclo de vida.

Considerando o grande número de matérias-primas utilizadas e de resíduos gerados no processo, foram utilizados neste trabalho aqueles que são mais significativos em termos de massa.

Não foram considerados neste estudo os filmes plásticos e engradados utilizados no transporte e venda, o descarte dos materiais em aterros e a etapa de

enchimento das embalagens. Estas etapas não foram consideradas por se entender que o objetivo do estudo foi a comparação das embalagens para envase de refrigerante e não do envase propriamente dito ou do modo de distribuição e venda. Deste modo, entende-se que estas etapas não são fundamentais na execução do estudo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos pela ACV das embalagens estudadas considerando as taxas atuais de reciclagem. Os resultados da influência das taxas de reciclagem das embalagens sobre os aspectos ambientais também são apresentados.

Inicialmente são apresentados os resultados qualitativos dos aspectos ambientais da ACV das embalagens estudadas. Em seguida são apresentados os resultados quantitativos. Finalmente, os resultados sobre as categorias de impacto são apresentados e discutidos.

5.1 IDENTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS

Esta etapa do estudo foi responsável pela identificação qualitativa dos aspectos ambientais associados às embalagens. Os principais aspectos ambientais da fabricação das garrafas PET, latas de alumínio e garrafas de vidro podem ser observados nas Tabelas 18, 19 e 20.

Pode-se observar na Tabela 18 que, na fabricação do PET, oito etapas principais de produção foram consideradas. Para todas as etapas foram determinadas as atividades relacionadas com os seis aspectos ambientais considerados neste estudo. Observa-se através dos resultados obtidos que as principais atividades relacionadas ao consumo de energia elétrica são para o funcionamento de equipamentos e na manutenção das temperaturas destes.

Com relação ao consumo de energia associado ao combustível, os principais responsáveis são o transporte rodoviário e a geração de vapor nas caldeiras. As atividades de lavagem de equipamentos e resfriamento são os principais responsáveis pelo consumo de água nas sete etapas consideradas. Com relação às emissões atmosféricas, os resultados mostram que os poluentes CO, CO₂, NO_x, SO₂, HCl e MP são gerados pela queima de combustível.

TABELA 7 – IDENTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS DA FABRICAÇÃO DE GARRAFAS PET

Aspectos Ambientais		Etapas do Ciclo de Vida							
		Extração de Petróleo	Refino de Petróleo	Fabricação de Resina	Fabricação Preforma	Produção de Garrafa e Lavagem	Produção de Rótulo	Produção de Tampa	Reciclagem
Recurso Natural e Matéria-Prima Secundária		Petróleo bruto, óleo	Petróleo, metanol, óleo	MEG, DMT, óleo	Resina PET, óleo	Preforma, óleo	PEBD, óleo	PP e PVC, óleo	Garrafas descartadas, óleo'
Recursos Energéticos	Energia elétrica	Perfuração e Injeção de água	Destilação e Caldeira	Manutenção da temperatura, equipamentos	Equipamentos	Equipamentos	Manutenção da temperatura, equipamentos	Manutenção da temperatura, equipamentos	Equipamentos
	combustível	Transporte	Transporte, caldeira	Transporte, caldeira	Transporte, caldeira	Transporte, caldeira	Transporte, caldeira	Transporte, caldeira	Transporte
Consumo de Água		Extração de petróleo	Caldeira e resfriamento	Resfriamento e lavagem	Resfriamento	Lavagem	Resfriamento e lavagem	Lavagem	Moagem, lavagem e enxágüe
Emissão Atmosférica		Gases combustão, VOC's de processo e transporte	Gases combustão, VOC's de processo e transporte	Gases e material particulado de combustão, gases da polimerização	Gases de combustão	Gases de combustão	Gases de combustão, gases da polimerização	Gases de combustão, gases da polimerização	Gases e material particulado de combustão
Efluente Líquido		Água de extração	Água de aquecimento e resfriamento	Água de lavagem e de reação	Água de Lavagem e resfriamento	Água de Lavagem	Água de Lavagem e resfriamento	Água de Lavagem	Água de Lavagem
Resíduo Sólido									
-Mineral		Solo	Resíduo destilação	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza, solo	Cinza
-Industrial		Óleo/solo	Perda de produto	Perda de produto	Perda de produto	Perda de produto	Perda produto, lama	Perda de produto, lama	Perda produto e pó
-Inerte		Plástico, papelão	Plástico, papelão	Plástico, papelão	Plástico, papelão	Plástico, papelão	Plástico, papelão	Plástico, papelão	Tampas, rótulos, material estranho

Observa-se também que em quase todas as etapas são produzidos resíduos sólidos na forma de perdas de produto, de material inerte, como plástico e papelão remanescentes de embalagens de insumos, e de cinzas residuais da queima de combustível.

A fabricação das latas de alumínio foi dividida em seis etapas principais de produção e seis classes de aspectos ambientais. Pode-se observar através dos resultados, indicados na Tabela 19, que as principais atividades relacionadas ao consumo de energia elétrica e combustível são o funcionamento de equipamentos e o transporte rodoviário, respectivamente.

As atividades de lavagem dos materiais são as principais responsáveis pelo consumo de água e geração de efluente líquido nas sete etapas consideradas. Com relação às emissões atmosféricas, os resultados mostram que os poluentes CO, CO₂, NO_x, SO₂, HCl e MP são gerados pela queima de combustível e VOC's são emitidos em todas as etapas consideradas. Os principais resíduos sólidos gerados nas etapas consideradas são resíduos de processo e plástico e papelão utilizados com embalagens de insumos.

Observa-se na Tabela 20 que para a fabricação do vidro foram consideradas cinco etapas principais de produção, e as seis classes de aspecto adotadas para os outros materiais foram mantidas. Verifica-se também na Tabela 20 que as principais atividades relacionadas ao consumo de energia elétrica são para o funcionamento dos diversos equipamentos utilizados, como o misturador, a prensa e as esteiras.

Com relação ao consumo de energia associado ao combustível, os principais responsáveis são o transporte rodoviário e o transporte ferroviário. As atividades de lavagem de equipamentos e produtos são os principais responsáveis pelo consumo de água e geração de efluente líquido nas cinco etapas consideradas. Com relação às emissões atmosféricas, os resultados mostram que os poluentes CO, CO₂, NO_x, SO₂, HCl e MP são gerados pela queima de combustível. Como na fabricação do PET, os principais resíduos sólidos são as perdas de processo e plástico e papelão utilizados como embalagens dos insumos.

TABELA 8 – IDENTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS DA FABRICAÇÃO DE LATAS DE ALUMÍNIO

Aspectos Ambientais		Etapas do Ciclo de Vida					
		Extração Bauxita/ Produção Alumina	Eletrólise/ Fundição	Laminação	Produção de Latas	Lavagem	Reciclagem
Recurso Natural e Matéria-Prima Secundária		Bauxita, sal, NaOH, óleo, floculante	Alumina, óleo, aço, Al(OH) ₃ , AlF ₃ , H ₂ SO ₄ , coque	Lingotes de alumínio, óleo, cloreto	Lâminas de alumínio, óleo, produtos químicos de lavagem, resina,tinta,verniz	Latas de alumínio, óleo	Latas descartadas, óleo
Recursos Energéticos	Energia elétrica	Máquinas de moagem, filtração, precipitadores	Corrente de eletrólise, picador	Máquina de laminação	Máquina de corte e fixação da tampa	Lavador	Prensa, esteira
	Energia combustível	Transporte, escavadeiras, caldeira	Transporte	Transporte	Transporte	Transporte	Transporte, forno de fusão
Consumo de Água		Lavagem bauxita	Lavagem equipamentos	Lavagem placas		Lavagem latas	
Emissão Atmosférica		Gases e MP de combustão, VOC's	Gases e MP de combustão, VOC's, gases de evaporação do banho, CO e CO ₂ da eletrólise	Gases e MP de combustão, VOC's	Gases e MP de combustão, VOC's, solventes	Gases e MP de combustão, VOC's	Gases e MP de combustão, VOC's
Efluente Líquido		Água de lavagem	Água lavagem das cubas	Água lavagem das placas	Água de lavagem e solventes	Água de lavagem	Água de lavagem
Resíduo Sólido							
-Mineral		Óleo misturado ao solo			Cinzas		
-Industrial		Lama da lavagem de bauxita,	Carbono dos eletrodos, limpeza das cubas	Óleo de corte misturado a perdas de processo resíduo lavagem	óleo de corte e tinta misturado a material		
-Inerte		Plástico, papelão	Plástico, papelão	Plástico, papelão	Madeira		Plástico, metais

TABELA 9 – IDENTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS DA FABRICAÇÃO DE GARRAFAS DE VIDRO

Aspectos Ambientais		Etapas do Ciclo de Vida				
		Fabricação de Vidro	Produção garrafa	Lavagem	Tampa	Reciclagem
Recurso Natural e Matéria-Prima Secundária		Areia, calcário, dolomita, feldspato, barrilha, GLP, metais, óleo, NaCl, NaOH	Vidro fundido, GLP, óleo	Garrafas, óleo	Chapa metálica, PVC, cromo, óxido de cromo, tinta, verniz, óleo	pedaços de vidro, óleo, NaCl
Recursos Energéticos	Energia elétrica	misturador	Soprador, resfriador	Lavador, esteiras	Moedor, filtração misturador, laminador máquina de corte	Prensa, esteira
	Energia combustível	Transporte, tratores, retroescavadeiras	Transporte	Transporte	Transporte	Transporte
Consumo de Água		Lavagem, resfriamento	Lavagem de equipamentos	Lavagem de garrafas	Lavagem minério, lâminas e equipamentos	Lavagem do vidro
Emissão Atmosférica		Gases e MP de combustão, HCl, N ₂ O, NH ₃ , VOC's	Gases e MP de combustão	Gases e MP de combustão	Gases e MP, butanol, butilglicol, CF ₄ , C ₂ F ₆ , HF, VOC's	Gases e MP de combustão, HCl, N ₂ O, NH ₃ , VOC's
Efluente Líquido		Água de lavagem	Água de lavagem, HC, óleo	Água de lavagem	Água de lavagem	Água de lavagem
Resíduo Sólido						
-Mineral		CaCO ₃			Cinzas	Lama de lavagem, perda processo
-Industrial		Lama, perda processo	Perda processo		Perda processo, escória	
-Inerte		Plástico, papelão			Plástico, papelão	Plástico, papelão

5.2 QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS E ESTUDO DAS TAXAS DE RECICLAGEM

Os dados de quantificação referentes às etapas de transporte da ACV para 1000 kg de garrafas PET, latas de alumínio e garrafas de vidro são apresentados na Tabela 21.

A normalização dos dados coletados dos aspectos ambientais, para a unidade funcional adotada, foi obtida pela multiplicação dos balanços de massa para 1000 kg de embalagem pelos fatores de correção de produção (F_c^P) associados ao ciclo de vida de cada embalagem.

Os balanços de massa para 1000 kg para garrafas PET, latas de alumínio e garrafas de vidro são mostrados nas tabelas 22, 23 e 24, respectivamente. Os fatores de correção de produção associados ao ciclo de vida de cada embalagem de acordo com a taxa de reciclagem são mostrados nas Tabelas 38, 39 e 40, do ANEXO II.

Os dados normalizados associados à ACV da garrafa PET, para uma taxa de reciclagem de 40%, à ACV das latas de alumínio, para uma taxa de reciclagem de 80%, e à ACV das garrafas de vidro, para uma taxa de reciclagem de 25% e taxa de reuso de 20 vezes, são apresentados nas Tabelas 25, 27 e 29, respectivamente.

Os dados de quantificação dos aspectos ambientais associados aos produtos para as taxas de reciclagem de 0%, 10%, 50%, 85% e 100% são disponibilizados no ANEXO IV.

TABELA 10 – QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS PARA O TRANSPORTE DE 1000 KG DE EMBALAGENS

Material	Etapas de Produção	Emissões Atmosféricas (Kg)							Total
		CO	CO ₂	HC	SO ₂	NO _x	MP	VOC	
PET	Extração petróleo ⇒ refino petróleo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0830	0,0830
	Refino petróleo ⇒ fabricação resina	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0830	0,0830
	Fabricação resina ⇒ fabricação preforma	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Fabricação preforma ⇒ produção garrafa e lavagem	1,6691	80,4515	0,4006	0,2003	2,2032	1,0682	0,0000	85,9929
	Lavagem ⇒ consumo ⇒ reciclagem	0,0919	4,4301	0,0221	0,0110	0,1213	0,0	0,0	4,6765
	Fabricação rótulo ⇒ lavagem	0,3676	17,7206	0,0882	0,0441	0,4853	0,2353	0,0	18,9412
	Fabricação tampa ⇒ lavagem	0,3676	17,7206	0,0882	0,0441	0,4853	0,2353	0,0	18,9412
	Reciclagem ⇒ fabricação de novo produto	0,0919	4,4301	0,0221	0,0110	0,1213	0,0588	0,0	4,7353
	Total	2,5882	124,7529	0,6212	0,3106	3,4165	1,5976	0,1661	133,4531
Alumínio	Extração bauxita e produção alumina ⇒ Eletrólise e fundição	0,0184	0,8860	0,0044	0,0022	0,0243	0,0118	0,0	0,9471
	Eletrólise e fundição ⇒ laminação	0,0092	0,4430	0,0022	0,0022	0,0243	0,0118	0,0	0,4926
	Laminação ⇒ produção latas	0,3217	15,5055	0,0772	0,0386	0,4246	0,2059	0,0	16,5735
	Produção latas ⇒ lavagem	0,3676	17,7206	0,0882	0,0441	0,4853	0,2353	0,0	18,9412
	Lavagem ⇒ consumo ⇒ reciclagem	0,0919	4,4301	0,0221	0,0110	0,1213	0,0588	0,0	4,7353
	Reciclagem ⇒ fundição	0,3676	17,7206	0,0882	0,0441	0,4853	0,2353	0,0	18,9412
	Total	1,1765	56,7059	0,2824	0,1423	1,5651	0,7589	0,0	60,6309
Vidro	Fabricação de Vidro ⇒ produção garrafas	0,0919	4,4533	0,0220	0,0110	0,1213	0,0587	0,0	4,7582
	Produção garrafas ⇒ lavagem	0,5515	26,5809	0,1324	0,0000	0,0000	0,0000	0,0	27,2647
	Produção tampas ⇒ lavagem	3,2169	155,0551	0,7721	0,3860	4,2463	2,0588	0,0	165,7353
	Lavagem ⇒ consumo ⇒ reciclagem	0,3676	17,7206	0,0882	0,0441	0,4853	0,2353	0,0	18,9412
	Reciclagem ⇒ fabricação de novo produto	0,0919	4,4301	0,0221	0,0110	0,1213	0,0588	0,0	4,7353
	Total	4,3198	208,2401	1,0367	0,4522	4,9743	2,1763	0,0	221,4347

Verifica-se na Tabela 21 que para a fabricação de PET o percurso responsável pela emissão de maior quantidade de poluentes atmosféricos é entre a fabricação de preformas e a produção de garrafas e lavagem.

Pode ser observado que na fabricação do alumínio as maiores emissões estão entre as etapas de produção de latas e lavagem e entre a etapas de reciclagem e fundição. Com relação à fabricação do vidro, o percurso entre a produção de tampas e a lavagem é o responsável pela maior emissão de poluentes atmosféricos.

A maior quantidade de emissões atmosféricas produzidas durante o transporte está relacionada à fabricação do vidro, responsável por 53,3% do total emitido. A fabricação do PET é responsável por 32,1% das emissões atmosféricas e a fabricação do alumínio emite 14,6% do total de poluentes.

Os resultados mostram que o maior poluente emitido durante o transporte é o CO_2 , que representa 93,9% do total de emissões atmosféricas. Com relação ao tipo de transporte utilizado, observa-se na Tabela 21 que, para distâncias semelhantes como entre as etapas de reciclagem e fundição para o ciclo de vida do alumínio, e entre a extração de matéria-prima e fabricação de vidro para o ciclo de vida do vidro, ambas com 400 km, o transporte rodoviário emite 4 vezes mais poluentes que o transporte ferroviário.

TABELA 11 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA 1000 KG DE GARRAFAS PET

Aspecto Ambiental	Material	Extração Petróleo (kg)	Refino Petróleo (kg)	Fabricação Resina (kg)	Fabricação Preformas (kg)	Produção Garrafa e Lavagem (kg)	Reciclagem (kg)	Rótulo (kg)	Tampa (kg)
RN	água	2300,0000	1050,0000	221,6000	78,4000	1800,0000	1500,0000	280,0000	320,0000
	petróleo bruto	1388,9000							
	energia*	41000,0000	55000,0000	7562,0000	588,0000	6400,0000	10180,0000	481,7000	1689,2000
MPS	petróleo		1809,4200						
	DMT			891,2000					
	MEG			423,9100					
	metanol		252,0000						
	óleo diesel	276,8000	242,0000	104,9000	40,0000	9,3651	9,6151	39,1805	75,1000
	flocos resina garrafa				1040,0000	1155,2700		1024,1000	1233,0400
						1140,0000			
EA	MP	2,3900	7,9700	0,5500	1,1200	0,1730	0,0670	0,2380	0,7080
	CO ₂	9,9800	28,7100	12,2300	68,9000	80,6500	4,8800	18,3500	17,9000
	CO	6,3300	12,3000	0,6000	1,7000	1,8200	0,0927	1,0180	0,7590
	SO ₂	5,4400	14,6000	0,2880	0,2030	0,3500	0,0160	0,0531	0,1430
	NO _x	4,0700	13,6800	0,5800	2,2500	2,3500	0,1350	0,4970	1,0100
	HCl			0,0020		0,0048		0,0001	0,0001
	HC	14,9900	28,7000	0,3330	0,4700	0,5510	0,0320	0,0972	0,2780
	VOC	2,6000	44,1800						70,7100
EL	metanol			252,0000					
	NH ₃	0,6230	1,7950	0,1377	0,1250			0,0045	0,0006
	DQO	11,6000	2,4400	0,0399	0,0012	0,1800	0,4500	0,0002	0,0001
	água efluente	2318,8000	1224,8000	221,6000	78,4000	1800,0000	1500,0000	292,0000	328,2000
	água reação			102,0000					
RS	cinzas industrial	100,8400	450,5800	22,9300	1,3200	46,7700	14,1400	11,2800	135,8300
	mineral	448,4400	492,1050						
	inerte	51,2000	34,0000	24,6600	4,8000	31,0300	129,3530	18,4400	56,8000

* unidade de energia em MJ RN – recurso natural, MPS – matéria-prima secundária, EA – emissão Atmosférica, EL – efluente líquido, RS – resíduo sólido

TABELA 12 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA 1000 KG DE LATAS DE ALUMÍNIO

							continua
Aspecto Ambiental	Material	Extração Bauxita/ Produção Alumina (kg)	Eletrólise/ Fundição (kg)	Laminação (kg)	Produção de Latas (kg)	Lavagem (kg)	Reciclagem (kg)
RN	água	216,1700	123,1400	2,7400		3000,0000	
	vapor	127,0000					
	bauxita	2500,0000					
	carbono (eletrodo)		268,5900				
	carvão (cuba)		2,4000				
	Mg		1,5000				
	sal	2,3900					
	criolita		126,0000				
	energia*	125700,0000	147000,0000	10500,0000	6000,0000	1248,0000	13650,0000
MPS	alumina		1910,0000				
	NaOH	140,0000					
	lingotes			1100,0000			
	lâminas				1152,1800		
	latas					1032,0000	1122,9500
	óleo combustível	130,0000	228,0000	3,2200	1,6700		
	floculante	1,0000					
	óleo diesel	5,8251	28,9047	21,3351	37,4000	10,2951	26,8400
	aço (cuba)		0,9840				
	Al(OH) ₃		1,8880				
	AlF ₃		30,0000				
	H ₂ SO ₄		4,7440				
	Coque		132,0000				
	produtos químicos de lavagem					0,1480	
	cloreto				0,0040		
	resina					10,0000	
	tinta					4,5000	
	verniz					5,5000	
EA	butanol				0,0070		

TABELA 23 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA 1000 KG DE LATAS DE ALUMÍNIO

Aspecto Ambiental	Material	Extração Bauxita/ Produção Alumina (kg)	Eletrólise/ Fundição (kg)	Laminação (kg)	Produção de Latas (kg)	Lavagem (kg)	conclusão
							Reciclagem (kg)
EA	butilglicol				0,0090		
	C ₂ F ₆		0,0070				
	CF ₄		0,0580				
	CO	0,3500	10,2314	0,1830	1,1600	0,2530	0,6380
	CO ₂	1,6500	825,0000	16,3000	32,7000	5,2000	19,0000
	HC	0,0100	0,0249	0,0810	0,1620	0,0259	0,0946
	HF		0,1550		0,2870		
	NO _x	0,0043	0,0235	0,4270	0,5220	0,1230	0,4880
	MP	15,8000	0,0627	0,2150	0,4200	0,0683	0,2510
	SO ₂	0,0041	0,0125	0,0405	0,0811	0,0129	0,0473
	tinta pintura				0,0370		
VOC	0,0266	0,0033	0,0074	0,0040		0,0200	
EL	água efluente	343,1700	123,1400	2,7400	0,0000	3000,0000	
	DBO	0,0058			0,0100		0,0020
	NH ₃	0,1480	0,1023		0,0530		
	DQO	1,7200	0,9600		0,0171	0,9000	
RS	cinzas		82,0000				29,0500
	inerte mineral	51,0000		23,0000	54,0000		42,5000
	industrial	12,0000	128,0000				
		1690,0000	678,0000	84,3100	121,9300	36,6100	57,7000

* unidade de energia em MJ RN – recurso natural, MPS – matéria-prima secundária, EA – emissão Atmosférica, EL – efluente líquido, RS – resíduo sólido

TABELA 13 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA 1000 KG DE GARRAFAS DE VIDRO

continua

Aspecto Ambiental	Material	Fabricação Vidro (kg)	Produção Garrafa (kg)	Lavagem (kg)	Tampa (kg)	Reciclagem (kg)
RN	água	101,0000	89,4000	420,0000	47,8700	294,8000
	areia	712,0500				
	barrilha	82,0000				
	calcário	70,7000				
	minério				1050,0000	
	dolomita	85,8500				
	lenha		10,4000			27,7600
	feldspato	141,4000				
	energia*	38000,0000	820,0000	1524,0000	1220,0000	17100,0000
MPS	PVC				131,0000	
	barrilha/calcário/dolomita/ feldspato extraídos		1100,0000			
	garrafa			1000,0000		
	GLP	2,3900	5,2000			
	metais	0,0030				
	óleo cru	10,1000				2,4900
	óxido de cromo				12,5700	
	verniz/tinta				20,3200	
	óleo diesel	23,6600	37,7500	9,4600	222,8200	10,4400
	garrafa e vidro quebrado					1052,0000
	NaCl	45,7500				9,6900
NaOH	219,2000					
EA	CO	0,8980	0,8690	0,8980	5,1500	0,2860
	CO ₂	8,2700	28,1000	18,0200	157,0000	5,3600

TABELA 24 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA 1000 KG DE GARRAFAS DE VIDRO

Aspecto Ambiental	Material	Fabricação Vidro (kg)	Produção Garrafa (kg)	Lavagem (kg)	Tampa (kg)	conclusão
						Reciclagem (kg)
EA	HCl	0,0100				0,0008
	N ₂ O	0,0005				0,0001
	NH ₃	0,0313				0,0066
	VOC	0,0704			0,0600	0,0342
	NO ₂		0,0765			0,0180
	NO _x	0,7553	0,2426	0,4923	4,2700	0,1230
	MP	20,1500	0,1176	0,1060	6,6459	1,0700
	SO ₂	0,1300	0,0803	0,0205	1,2900	0,0133
	HC	0,0411	0,1390	0,0421	0,8170	0,0267
EL	água efluente	101,0000	89,4000	420,0000	47,8700	294,8000
	NaOH	0,5500				
	NH ₃	10,8000				4,3700
	DQO	3,7180	0,0002		0,5610	0,7881
RS	cinzas	47,6500				0,4900
	industrial	254,0000	123,2900		184,0000	86,7300
	mineral	10,2000				
	inerte	33,6000			75,0000	3,0700

* unidade de energia em MJ RN – recurso natural, MPS – matéria-prima secundária, EA – emissão Atmosférica, EL – efluente líquido, RS – resíduo sólido

TABELA 14 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS DE PET COM TAXA DE RECICLAGEM DE 40% E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L

Aspecto Ambiental	Material	Extração Petróleo (kg)	Refino Petróleo (kg)	Fabricação Resina (kg)	Fabricação Preformas (kg)	Produção Garrafa e Lavagem (kg)	Reciclagem (kg)	Rótulo (kg)	Tampa (kg)
RN	água	56,9250	25,9875	3,3240	1,9600	45,0000	15,0000	0,2800	0,4560
	petróleo bruto	34,3753							
	energia*	1014,7500	1361,2500	113,4300	14,7000	160,0000	101,8000	0,4817	2,4071
MPS	petróleo		44,7831						
	DMT			13,3680					
	MEG			6,3587					
	etanol		6,2370						
	óleo diesel	6,8508	5,9895	1,5735	1,0000	0,2341	0,0962	0,0392	0,1070
	flocos resina garrafa				26,0000	28,8818	11,4000	1,0241	1,7571
EA	MP	0,0592	0,1973	0,0083	0,0280	0,0043	0,0007	0,0002	0,0010
	CO ₂	0,2470	0,7106	0,1835	1,7225	2,0163	0,0488	0,0184	0,0255
	CO	0,1567	0,3044	0,0090	0,0425	0,0455	0,0009	0,0010	0,0011
	SO ₂	0,1346	0,3614	0,0043	0,0051	0,0088	0,0002	0,0001	0,0002
	NO _x	0,1007	0,3386	0,0087	0,0563	0,0588	0,0014	0,0005	0,0014
	HCl			0,0000		0,0001		0,0000	0,0000
	HC	0,3710	0,7103	0,0050	0,0118	0,0138	0,0003	0,0001	0,0004
	VOC	0,0644	1,0935						0,1008
EL	metanol			3,7800					
	NH ₃	0,0154	0,0444	0,0021	0,0031			0,0000	0,0000
	DQO	0,2871	0,0604	0,0006	0,0000	0,0045	0,0045	0,0000	0,0000
	água efluente	57,3903	30,3138	3,3240	1,9600	45,0000	15,0000	0,2920	0,4677
	água reação			1,5300					
RS	cinzas industrial	2,4958	11,1519	0,3440	0,0330	1,1693	0,1414	0,0113	0,1936
	mineral	11,0989	12,1796						
	inerte	1,2672	0,8415	0,3699	0,1200	0,7758	1,2935	0,0184	0,0809

* unidade de energia em MJ RN – recurso natural, MPS – matéria-prima secundária, EA – emissão Atmosférica, EL – efluente líquido, RS – resíduo sólido

Um resumo dos resultados de quantificação para garrafas PET com taxa de reciclagem de 40%, de acordo com os aspectos ambientais selecionados, é apresentado na Tabela 26.

Observa-se através dos dados da Tabela 26 que a extração do petróleo é a única etapa que consome recursos naturais no ciclo de vida do PET, sendo também responsável por 38,2% do total de água consumida.

Com relação ao consumo de energia, o refino de petróleo é responsável por 49% do total consumido, enquanto a etapa de extração do petróleo utiliza 36,6% da energia total consumida.

A etapa de refino de petróleo emite 40,0% do total de poluentes atmosféricos, enquanto a etapa de produção de garrafa e lavagem emite 23,2% e a produção de rótulos é responsável por apenas 0,20% do total emitido.

Com relação aos efluentes líquidos gerados durante o processo de fabricação do PET, a etapa com maior contribuição é a extração de petróleo, correspondendo a 35,9% do total emitido, enquanto a etapa de produção de garrafas contribui com 28,4%, e a etapa de refino de petróleo contribui com 19,2%.

A etapa de refino do petróleo é responsável pela maior quantidade de resíduos sólidos produzidos, correspondendo a 55,3% do total, enquanto a etapa de extração do petróleo corresponde a 34,0% do total emitido.

Entre o total de resíduos produzidos, verifica-se que 75,0% correspondem aos efluentes líquidos, 20,6% correspondem aos resíduos sólidos e 4,4% correspondem às emissões atmosféricas.

TABELA 15 – RESUMO DA QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS PET COM TAXA DE RECICLAGEM DE 40% E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L

Aspecto Ambiental		Extração Petróleo	Refino Petróleo	Fabricação Resina	Fabricação Preforma	Produção Garrafa e Lavagem	Reciclagem	Rótulo	Tampa	Total
Recurso Natural	(kg)	34,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34,38
	(%)	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Consumo de água	(kg)	56,93	25,99	3,32	1,96	45,00	15,00	0,28	0,46	148,93
	(%)	38,2	17,5	2,2	1,3	30,2	10,1	0,2	0,3	
Energia	(MJ)	1014,75	1361,25	113,43	14,70	160,00	101,80	0,48	2,41	2768,82
	(%)	36,6	49,2	4,1	0,5	5,8	3,7	0,02	0,09	
Emissão Atmosférica	(kg)	1,13	3,72	0,22	1,87	2,15	0,05	0,02	0,13	9,28
	(%)	12,2	40,0	2,4	20,1	23,2	0,5	0,2	1,4	
Efluente Líquido	(kg)	56,93	30,42	8,64	1,96	45,00	15,00	0,28	0,46	158,69
	(%)	35,9	19,2	5,4	1,2	28,4	9,4	0,2	0,3	
Resíduo Sólido	(kg)	14,86	24,17	0,77	0,15	1,97	1,44	0,03	0,30	43,70
	(%)	34,0	55,3	1,8	0,3	4,5	3,3	0,1	0,7	

TABELA 16 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA LATAS DE ALUMÍNIO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 80% E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L

continua

Aspecto Ambiental	Material	Extração Bauxita/ Produção Alumina (kg)	Eletrólise/ Fundição (kg)	Laminação (kg)	Produção de Latas (kg)	Lavagem (kg)	Reciclagem (kg)
RN	água	3,3688	1,0056	0,1119		122,4900	
	vapor	1,9792					
	bauxita	38,9600					
	carbono (eletrodo)		2,1933				
	carvão (cuba)		0,0196				
	Mg		0,0122				
	Sal	0,0372					
	criolita		1,0289				
	energia*	1958,9088	1200,4020	428,7150	244,9800	50,9558	445,8636
	alumina		15,5971				
MPS	NaOH	2,1818					
	lingotes			44,9130			
	lâminas				47,0435		
	latas					42,1366	36,6800
	óleo combustível	2,0259	1,8618	0,1315	0,0682		
	floculante	0,0156					
	óleo diesel	0,0908	0,2360	0,8711	1,5270	0,4203	0,8767
	aço (cuba)		0,0080				
	AlOH ₃		0,0154				
	AlF ₂		0,2450				
	H ₂ SO ₄		0,0387				
	coque		1,0779				
	químicos lavagem					0,0060	
	cloreto				0,0002		
	resina					0,4083	
	tinta					0,1837	
	verniz					0,2246	

TABELA 27 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAL PARA LATAS DE ALUMÍNIO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 80% E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L

Aspecto Ambiental	Material	Extração Bauxita/ Produção Alumina (kg)	Eletrólise/ Fundição (kg)	Laminação (kg)	Produção de Latas (kg)	Lavagem (kg)	conclusão
							Reciclagem (kg)
EA	butanol				0,0003		
	butilglicol				0,0004		
	C ₂ F ₆		0,0001				
	CF ₄		0,0005				
	CO	0,0055	0,0835	0,0075	0,0474	0,0103	0,0208
	CO ₂	0,0257	6,7370	0,6655	1,3351	0,2123	0,6206
	HC	0,0002	0,0002	0,0033	0,0066	0,0011	0,0031
	HF		0,0013		0,0117		
	NO _x	0,0001	0,0002	0,0174	0,0213	0,0050	0,0159
	MP	0,2462	0,0005	0,0088	0,0171	0,0028	0,0082
	SO ₂	0,0001	0,0001	0,0017	0,0033	0,0005	0,0015
	tinta pintura				0,0015		
	VOC	0,0004	0,0000	0,0003	0,0002		0,0007
	EL	água efluente	5,3480	1,0056	0,1119		122,4900
DBO		0,0001			0,0004		0,0001
NH ₃		0,0023	0,0008		0,0022		
DQO		0,0268	0,0078		0,0007	0,0367	
RS	cinzas		0,6696				0,9489
	inerte	0,7948		0,9391	2,2048		1,3882
	mineral industrial	0,1870	1,0452	3,4424	4,9784	1,4948	1,8847

* unidade de energia em MJ RN – recurso natural, MPS – matéria-prima secundária, EA – emissão Atmosférica,
EL – efluente líquido, RS – resíduo sólido

Na Tabela 28 são reunidos os dados simplificados de quantificação para lata de alumínio com taxa de reciclagem de 80% de acordo com os aspectos ambientais selecionados.

Observa-se na Tabela 28 que a extração de bauxita e produção de alumina e também a eletrólise e fundição são as etapas que consomem recursos naturais dentro do ciclo de vida do alumínio.

A etapa que mais consome recursos naturais e energia é a extração da bauxita e produção de alumina, sendo responsável por 92,3% e 45,2% do total consumido, respectivamente.

Com relação ao consumo de água, 95% do total é utilizado na etapa de lavagem, enquanto a etapa de extração de bauxita e produção de alumina é responsável por 4,1% do total consumido de água.

A etapa de eletrólise e fundição emite 67,2% do total de poluentes atmosféricos, enquanto as etapas de produção de latas e de lavagem são responsáveis por 14,2% e 2,3% do total emitido, respectivamente.

Com relação aos efluentes líquidos gerados durante o processo de fabricação das latas de alumínio, a etapa de maior contribuição é a de lavagem, correspondendo a 95% do total emitido, enquanto a etapa de extração de bauxita e produção de alumina emite 4,1% do total de efluente líquido.

A etapa de extração de bauxita e produção de alumina é responsável pela maior quantidade de resíduos sólidos produzidos, correspondendo a 52,7% do total, enquanto a etapa de eletrólise e fundição corresponde a 14,0% do total emitido.

TABELA 17 – RESUMO DA QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA LATAS DE ALUMÍNIO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 80% E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L

Aspecto Ambiental		Extração Bauxita e Produção Alumina	Eletrólise e Fundição	Laminação	Produção Latas	Lavagem	Reciclagem	Total
Recurso Natural	(kg)	39,00	3,25	0,00	0,00	0,00	0,00	42,25
	(%)	92,3	7,7	0,0	0,0	0,0	0,0	
Consumo de água	(kg)	5,35	1,01	0,11	0,00	122,49	0,00	128,96
	(%)	4,1	0,8	0,1	0,0	95,0	0,0	
Energia	(MJ)	1958,91	1200,40	428,72	244,98	50,96	445,86	4329,83
	(%)	45,2	27,7	9,9	5,7	1,2	10,3	
Emissão Atmosférica	(kg)	0,28	6,82	0,70	1,44	0,23	0,67	10,15
	(%)	2,8	67,2	6,9	14,2	2,3	6,6	
Efluente Líquido	(kg)	5,35	1,01	0,11	0,00	122,49	0,00	128,96
	(%)	4,1	0,8	0,1	0,0	95,0	0,0	
Resíduo Sólido	(kg)	27,32	7,25	4,38	7,18	1,49	4,22	51,85
	(%)	52,7	14,0	8,4	13,8	2,9	8,2	

TABELA 18 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAL PARA GARRAFAS DE VIDRO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 25% E TAXA DE REUSO DE 20 VEZES E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L

continua

Aspecto Ambiental	Material	Fabricação Vidro (kg)	Produção Garrafa (kg)	Lavagem (kg)	Tampa (kg)	Reciclagem (kg)
RN	água	5,0438	5,9527	559,3140	0,3930	4,9073
	areia	35,5589				
	barrilha	4,0950				
	calcário	3,5307				
	minério				8,6205	
	dolomita	4,2872				
	lenha		0,6925			0,4621
	feldspato	7,0613				
energia*	1897,6725	54,5997	2029,5108	10,0162	284,6509	
MPS	PVC				1,0755	
	barrilha/calcário/dolomita/ feldspato		73,2435			
	garrafa			1331,7000		
	GLP	0,1194	0,3462			
	Metais	0,0001				
	oleo cru	0,5044				0,0414
	oxido de cromo				0,1032	
	verniz/tinta				0,1668	
	óleo diesel	1,1816	2,5136	12,5979	1,8294	0,1738
	garrafa e vidro quebrado					17,5119
	NaCl	2,2847				0,1613
	NaOH	10,9466				
	CO	0,0448	0,0579	1,1959	0,0423	0,0048
	EA	CO ₂	0,4130	1,8710	23,9972	1,2890
HCl		0,0005				0,0000
N ₂ O		0,0000				0,0000
NH ₃		0,0016				0,0001
VOC		0,0035			0,0005	0,0006
NO ₂			0,0051			0,0003

TABELA 29 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAL PARA GARRAFAS DE VIDRO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 25% E TAXA DE REUSO DE 20 VEZES E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L

Aspecto Ambiental	Material	Extração Recursos Naturais (kg)	Produção Garrafa (kg)	Lavagem (kg)	Tampa (kg)	conclusão
						Reciclagem (kg)
EA	NO _x	0,0377	0,0162	0,6556	0,0351	0,0020
	MP	1,0063	0,0078	0,1412	0,0546	0,0178
	SO ₂	0,0065	0,0053	0,0273	0,0106	0,0002
	HC	0,0021	0,0093	0,0561	0,0067	0,0004
EL	água efluente	5,0438	5,9527	559,3140	0,3930	4,9073
	NaOH	0,0275				
	NH ₃	0,5393				0,0727
	DBO	0,1857	0,0000		0,0046	0,0131
RS	cinzas industrial	2,3796				0,0082
	mineral	12,6844	8,2093		1,5106	1,4437
	inerte	0,5094			0,6158	0,0511
		1,6779				

* unidade de energia em MJ RN – recurso natural, MPS – matéria-prima secundária, EA – emissão Atmosférica, EL – efluente líquido, RS – resíduo sólido

A Tabela 30 resume os resultados de quantificação para garrafas de vidro com taxa de reciclagem de 25% e taxa de reuso de 20 vezes de acordo com os aspectos ambientais selecionados.

Observa-se através da Tabela 30 que todas as etapas consideradas, com exceção da etapa de lavagem, consomem recursos naturais durante a produção dos materiais. A produção de vidro garrafas é a etapa que mais consome recursos naturais, cerca de 84,8% do total, enquanto a fabricação de tampas é responsável por 13,4% do total consumido.

Com relação ao uso de energia, as etapas de fabricação de vidro e lavagem são responsáveis por 91,8% do total consumido. A etapa de lavagem consome 97,2% de toda a água utilizada e emite 83,8% do total de poluentes atmosféricos, enquanto a etapa de reciclagem é responsável por apenas 0,4% do total emitido.

Com relação aos efluentes líquidos gerados durante o processo de fabricação das garrafas de vidro, a etapa de maior contribuição é a lavagem, correspondendo a 97,2% do total emitido.

A etapa de fabricação do vidro é responsável pela maior quantidade de resíduos sólidos produzidos, correspondendo a 59,3% do total, enquanto as etapas de produção de garrafa, fabricação de tampas e reciclagem correspondem a 28,2%, 7,3% e 5,2% do total emitido, respectivamente.

TABELA 19 – RESUMO DA QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS DE VIDRO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 25% E TAXA DE REUSO DE 20 VEZES E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L

Aspecto Ambiental		Fabricação Vidro	Produção Garrafa	Lavagem	Tampa	Reciclagem	Total
Recurso Natural	(kg)	54,53	0,69	0,00	8,62	0,46	64,31
	(%)	84,8	1,1	0,0	13,4	0,7	
Consumo de água	(kg)	5,04	5,95	559,31	0,39	4,91	575,61
	(%)	0,9	1,0	97,2	0,17	0,8	
Energia	(MJ)	1897,67	54,60	2029,51	10,02	284,65	4276,45
	(%)	44,3	1,3	47,5	0,2	6,7	
Emissão Atmosférica	(kg)	1,52	1,97	26,07	1,44	0,12	31,12
	(%)	4,9	6,3	83,8	4,6	0,4	
Efluente Líquido	(kg)	5,04	5,95	559,31	0,39	4,91	575,61
	(%)	0,8	1,0	97,2	0,1	0,8	
Resíduo Sólido	(kg)	17,25	8,21	0,00	2,13	1,50	29,09
	(%)	59,3	28,2	0,0	7,3	5,2	

O resultado total obtido através do levantamento dos aspectos ambientais para as embalagens estudadas é mostrado na Tabela 31.

TABELA 20 – RESUMO DA QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA AS EMBALAGENS ESTUDADAS COM AS TAXAS DE RECICLAGEM ATUAIS E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L

Aspecto Ambiental	PET	Alumínio	Vidro
Taxa de Reciclagem (%)	40	80	25
Massa de Material (kg)	25,00	40,83	1331,70
Recurso Natural (kg)	34,38	42,25	64,31
Consumo de Água (kg)	148,93	128,96	575,61
Energia (MJ)	2768,82	4329,83	4276,45
Emissão Atmosférica (kg)	9,28	10,15	31,12
Efluente Líquido (kg)	158,69	128,96	575,61
Resíduo Sólido (kg)	43,70	51,85	29,09

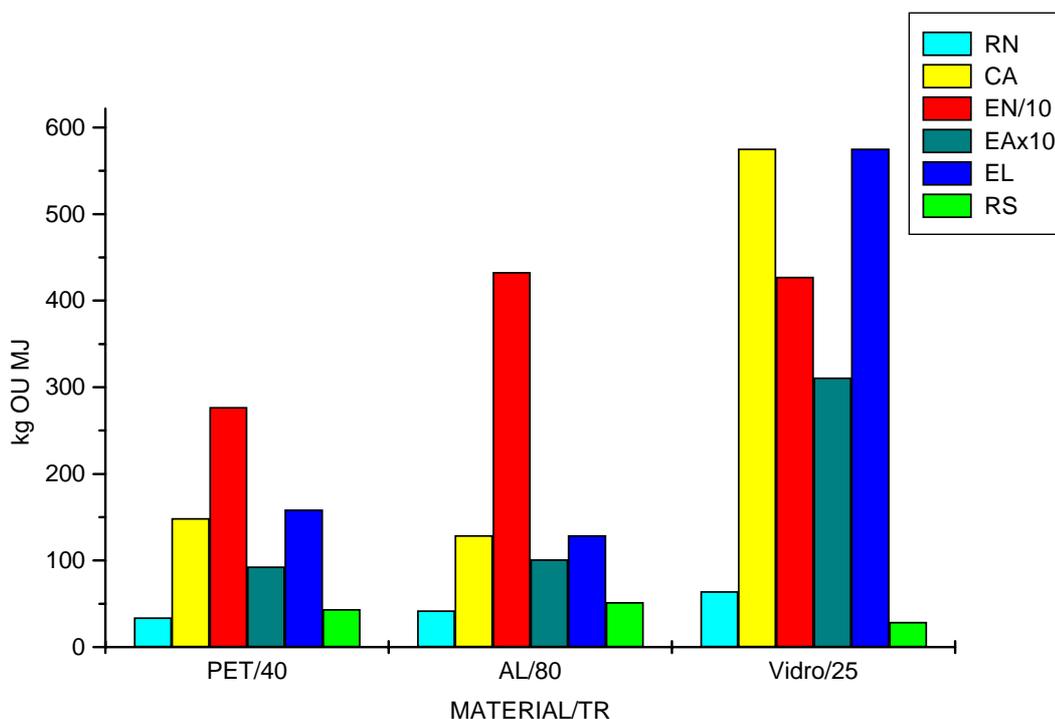
Os resultados de quantificação dos aspectos ambientais mostrados na Tabela 31 são indicados na Figura 16.

Pode-se observar através da Figura 16 que as embalagens que consomem maior quantidade de energia durante seu ciclo de vida são o alumínio e o vidro, considerando as taxas atuais de reciclagem e a unidade funcional de 1000L. Com relação ao consumo de recursos naturais, a fabricação de garrafas de vidro utiliza aproximadamente 1,9 vezes mais de recursos que a fabricação de garrafas PET e 1,5 vezes que a fabricação de latas de alumínio.

A embalagem que consome maior quantidade de água durante seu ciclo de vida é a garrafa de vidro, utilizando cerca de 3,9 vezes mais que as garrafas PET e 4,5 vezes mais que as latas de alumínio. No que diz respeito aos resíduos sólidos, a embalagem com maior formação é a lata de alumínio, emitindo 1,18 vezes mais que a garrafa PET e cerca de 1,78 vezes mais que garrafa de vidro. A maior quantidade

de efluente líquido emitida refere-se à produção da embalagem de vidro, que é 4,5 vezes superior em relação ao alumínio e 3,6 vezes superior em relação ao PET.

FIGURA 1 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA AS TAXAS ATUAIS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L



Finalmente, considerando os poluentes atmosféricos, a maior quantidade emitida é a da garrafa de vidro com 31,12 kg, seguido pela lata de alumínio com 10,15 kg e por último pela garrafa PET com 9,28 kg de emissão atmosférica, para a base de 1000 L adotada.

Realizando um balanço geral em termos de resíduos gerados, observa-se através dos dados da Tabela 31 que para cada 1331,70 kg de garrafas de vidro produzidas são gerados 635,82 kg de resíduos, ou seja, aproximadamente a metade do peso das garrafas produzidas. Com relação às latas de alumínio, para cada 40,83 kg produzidos são gerados 190,96 kg de resíduos, representando 4,7 vezes o peso total de latas.

Para as garrafas PET, a cada 25 kg produzidos são gerados 211,67 kg de resíduos, correspondendo a 8,5 vezes o peso do total de garrafas produzidas. A grande geração de resíduos para todas as embalagens ocorre principalmente devido à geração de efluente líquido proveniente das etapas de lavagem das embalagens e reciclagem. Cabe ressaltar que este total de resíduos apresentado faz uma análise apenas quantitativa dos resultados, sem levar em conta a qualidade dos resíduos.

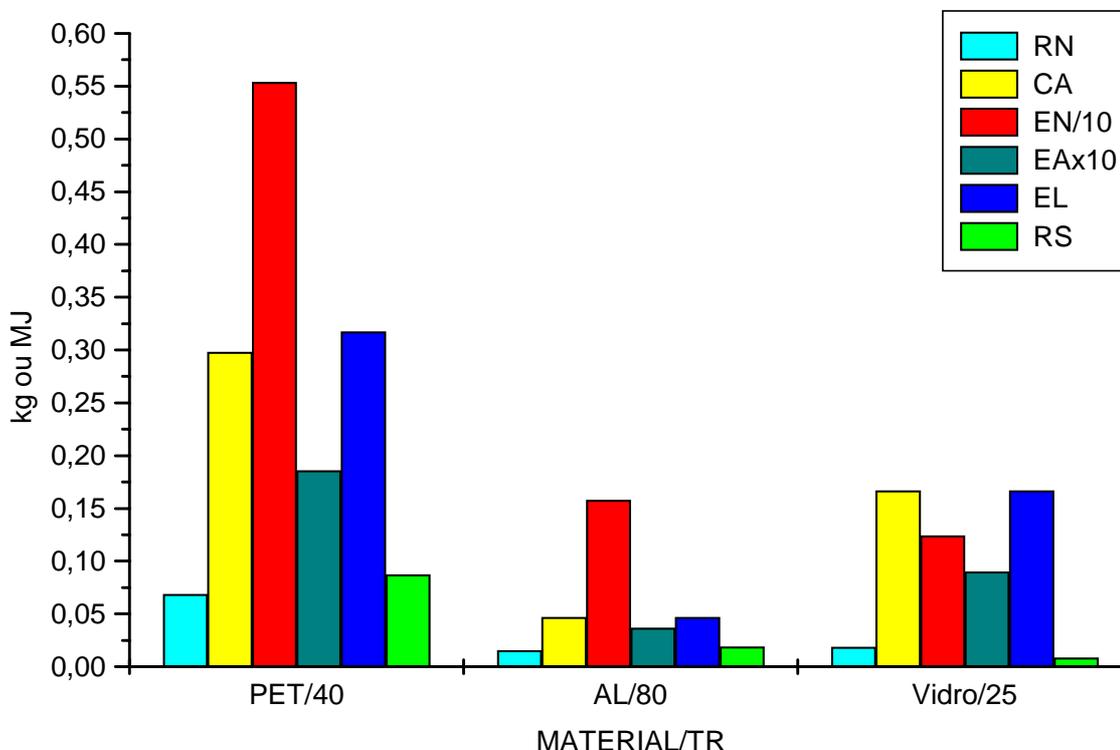
A análise dos aspectos ambientais considerados em relação a uma embalagem de cada material é apresentada na Tabela 32. Os resultados foram obtidos dividindo-se os valores indicados na Tabela 31 pelo número de embalagens de cada tipo de material.

TABELA 21 – RESUMO DA QUANTIFICAÇÃO UNITÁRIA DOS ASPECTOS AMBIENTAIS POR EMBALAGEM PARA AS TAXAS DE RECICLAGEM ATUAIS

Aspecto Ambiental	PET	Alumínio	Vidro
Taxa de Reciclagem (%)	40	80	25
Massa de Material (g)	50	14,9	386,2
Número de Embalagens	500	2740	3448
Recurso Natural (kg)	0,0688	0,0154	0,0187
Consumo de Água (kg)	0,2979	0,0471	0,1669
Energia (MJ)	5,5376	1,5801	1,2402
Emissão Atmosférica (kg)	0,0186	0,0037	0,0090
Efluente Líquido (kg)	0,3174	0,0471	0,1669
Resíduo Sólido (kg)	0,0874	0,0189	0,0084

Os resultados de quantificação dos aspectos ambientais para uma embalagem mostrados na Tabela 32 são indicados na Figura 17. Pode-se observar através da Figura 17 que o maior consumo de energia durante o ciclo de vida de uma embalagem ocorre para a garrafa PET, que consome 3,5 vezes mais que uma lata de alumínio e 4,5 vezes mais que uma garrafa de vidro, considerando as taxas atuais de reciclagem.

FIGURA 2 – QUANTIFICAÇÃO UNITÁRIA DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA AS TAXAS ATUAIS DE RECICLAGEM



Com relação ao consumo de recursos naturais, a fabricação de uma garrafa PET utiliza aproximadamente 4,5 vezes mais de recursos que a fabricação de uma lata de alumínio e 3,7 vezes mais que a fabricação de uma garrafa de vidro. A embalagem que consome maior quantidade de água durante o ciclo de vida de uma unidade é a garrafa PET, utilizando cerca de 6,3 vezes mais que uma lata de alumínio e 1,8 vezes mais que uma garrafa de vidro.

No que diz respeito à emissão de resíduos sólidos por uma embalagem, a garrafa PET emite cerca de 4,6 vezes mais que a lata de alumínio e 10,4 vezes mais que a garrafa de vidro. A maior quantidade de efluente líquido emitida também se refere à produção de uma garrafa PET, que é 6,7 vezes superior em relação ao alumínio e 1,9 vezes superior em relação ao vidro.

Finalmente, considerando os poluentes atmosféricos, a maior quantidade emitida é para uma garrafa PET com 18,6 g, seguido pela garrafa de vidro com 9,0 g

e por último pela lata de alumínio com 3,7 g de emissão atmosférica, para as taxas atuais de reciclagem.

Realizando um balanço geral em termos de resíduos gerados para uma embalagem, observa-se através dos dados da Tabela 32 que para cada garrafa PET de 50 g são gerados 423,3 g de resíduos, ou seja, 8,5 vezes o peso da própria garrafa. Com relação às latas de alumínio, para cada lata de 14,9 g produzidas são gerados 69,7 g de resíduos, representando 4,7 vezes o peso da embalagem. Para as garrafas de vidro, a cada garrafa de 386,2 g produzida são gerados 184,4 g de resíduos, correspondendo a 50 % do peso de uma embalagem produzida.

Na Tabela 33 são apresentados os resultados de quantificação dos aspectos ambientais considerando a variação da taxa de reciclagem, conforme dados obtidos nas tabelas do ANEXO IV.

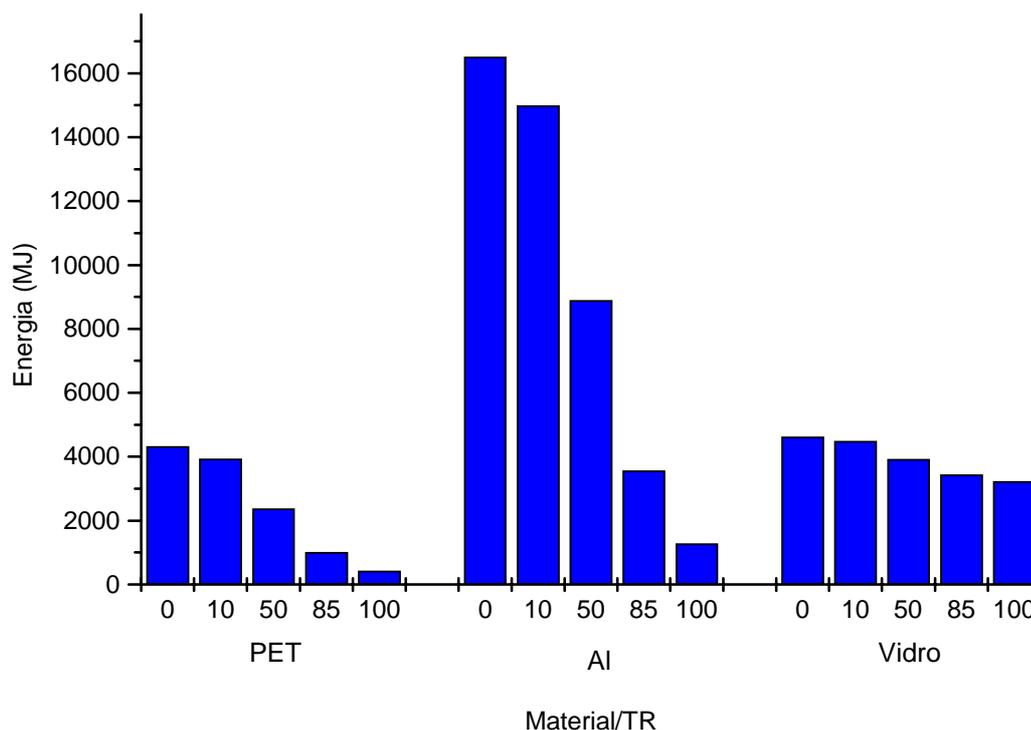
TABELA 22 – RESUMO DA QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA AS EMBALAGENS ESTUDADAS COM A VARIAÇÃO DAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L

Material	Reciclagem (%)	RN (kg)	CA (kg)	EN (MJ)	EA (kg)	EL (kg)	RS (kg)
PET	0	57,29	191,42	4326,64	12,61	202,67	68,79
	10	51,56	180,80	3937,18	11,78	190,93	62,52
	50	28,65	138,31	2379,36	8,45	143,96	37,42
	85	8,59	101,13	1016,27	5,54	102,85	15,47
	100	0,00	85,20	432,09	4,29	85,24	6,06
Alumínio	0	211,26	154,37	16521,20	37,89	154,60	185,91
	10	190,13	151,19	14997,28	34,42	151,40	169,15
	50	105,63	138,49	8901,59	20,55	138,62	102,12
	85	31,69	127,37	3567,86	8,42	127,44	43,47
	100	0,00	122,60	1281,98	3,22	122,64	18,34
Vidro	0	82,02	572,38	4624,36	31,51	573,39	33,34
	10	74,94	573,68	4485,19	31,35	574,62	31,64
	50	46,59	578,84	3928,54	30,73	579,51	24,84
	85	21,79	583,35	3441,47	30,18	583,80	18,90
	100	11,16	585,29	3232,73	29,95	585,64	16,35

RN–recurso natural; CA–consumo água; EN–energia; EA–emissão atmosférica; EL–efluente líquido; RS–resíduo sólido

Os resultados de consumo de energia para as embalagens estudadas, de acordo com a Tabela 33, podem ser observados na Figura 18.

FIGURA 3 – QUANTIFICAÇÃO DO GASTO ENERGÉTICO DA PRODUÇÃO DE EMBALGEMS CONSIDERANDO A VARIAÇÃO DAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L

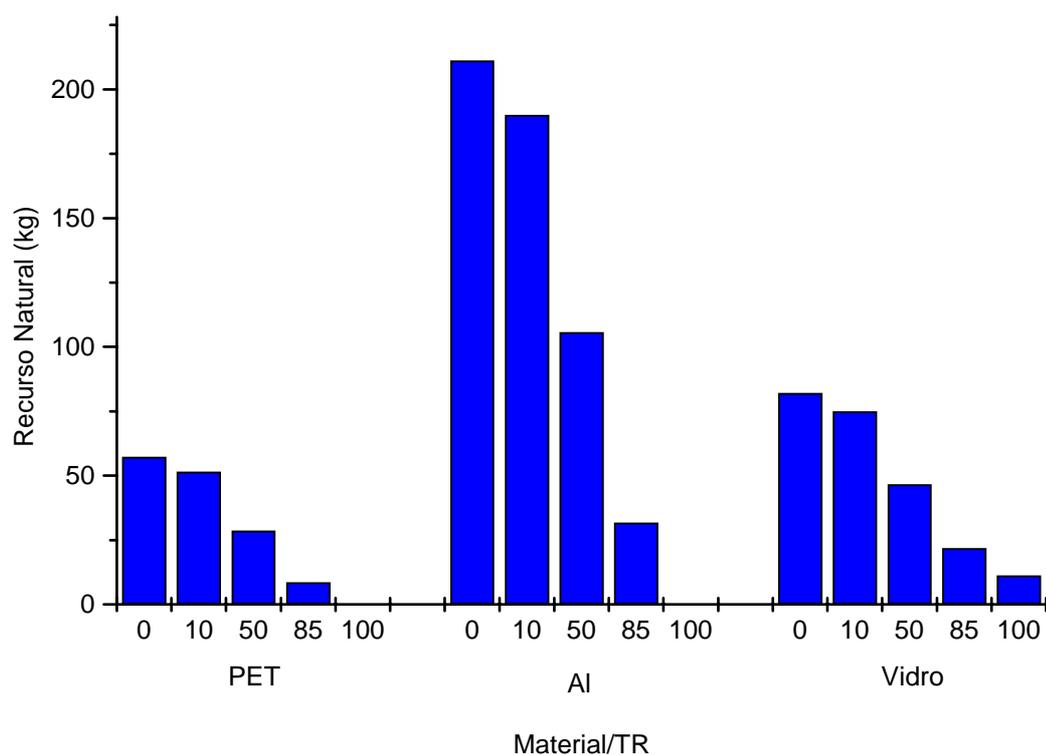


O gráfico da Figura 18 mostra que para a garrafa PET ocorre uma redução de 3.894,55 MJ do consumo de energia quando a taxa de reciclagem do material passa de 0% a 100%. Nestas mesmas condições, a quantidade de energia associada à ACV da lata de alumínio sofre uma redução de 15.239,22 MJ, ou seja, uma economia de aproximadamente 92% no consumo de energia.

Observa-se também que para uma taxa de reciclagem de 85%, o consumo de energia associado às latas de alumínio assemelha-se ao consumo de energia das garrafas de vidro com a mesma taxa de reciclagem. Da mesma maneira, para uma taxa de reciclagem de 10%, o consumo de energia associado às garrafas PET equivale ao consumo de energia das garrafas de vidro com uma taxa de reciclagem de 50% da embalagem.

Com relação ao consumo de recursos naturais, a Figura 19 mostra que a variação de 0% a 100% na taxa de reciclagem proporciona uma economia de 57,29 kg de recursos para a garrafa PET, enquanto para a lata de alumínio esta redução é de 211,26 kg de material e para a garrafa de vidro é de 70,86 kg.

FIGURA 4 – CONSUMO DE RECURSOS NATURAIS DA PRODUÇÃO DE EMBALAGENS CONSIDERANDO A VARIAÇÃO DAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L

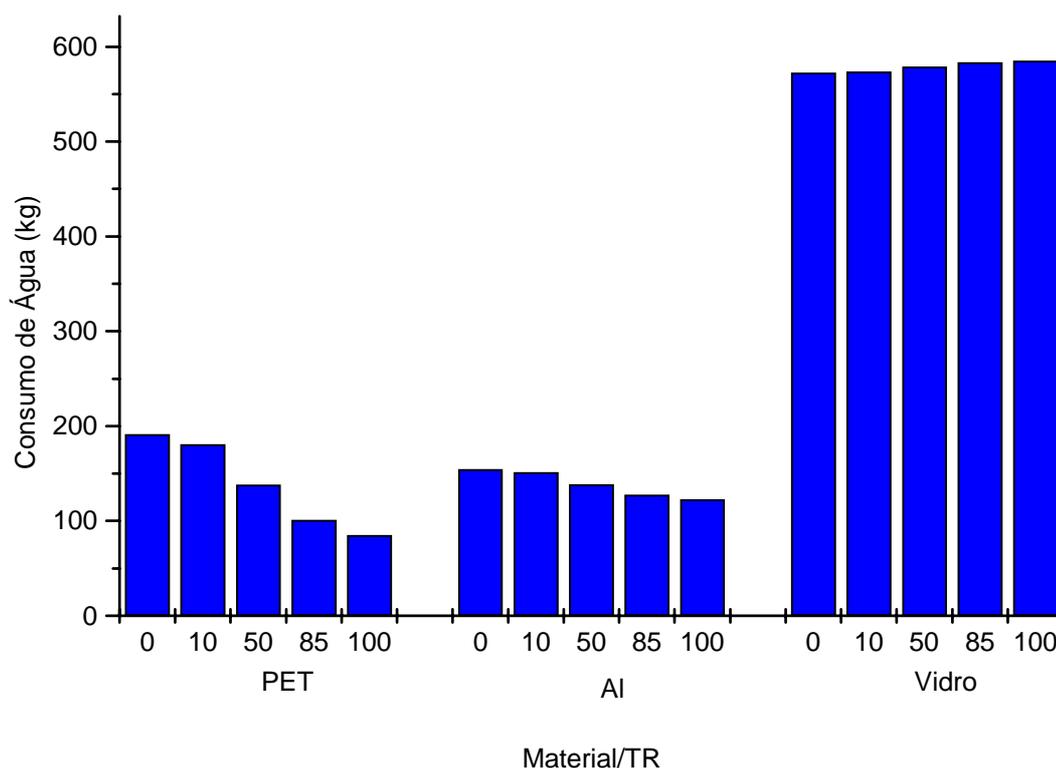


Observa-se também através da Figura 19 que para a taxa de reciclagem de 50%, o PET consome quantidade de recursos naturais aproximada a da lata de alumínio com a taxa de reciclagem de 85%. Além disso, o gráfico mostra que a variação na taxa de reciclagem de 0% a 100% no ciclo de vida das garrafas de vidro proporciona uma redução de 86% sobre o consumo de recursos naturais.

Com relação ao consumo de água, observa-se através da Figura 20 que a variação de 0% a 100% na taxa de reciclagem proporciona uma redução de 106,22 kg de consumo de água para a garrafa PET, enquanto para a lata de alumínio esta

redução é de 31,77 kg e para a garrafa de vidro ocorre um aumento no consumo de água de 12,91 kg.

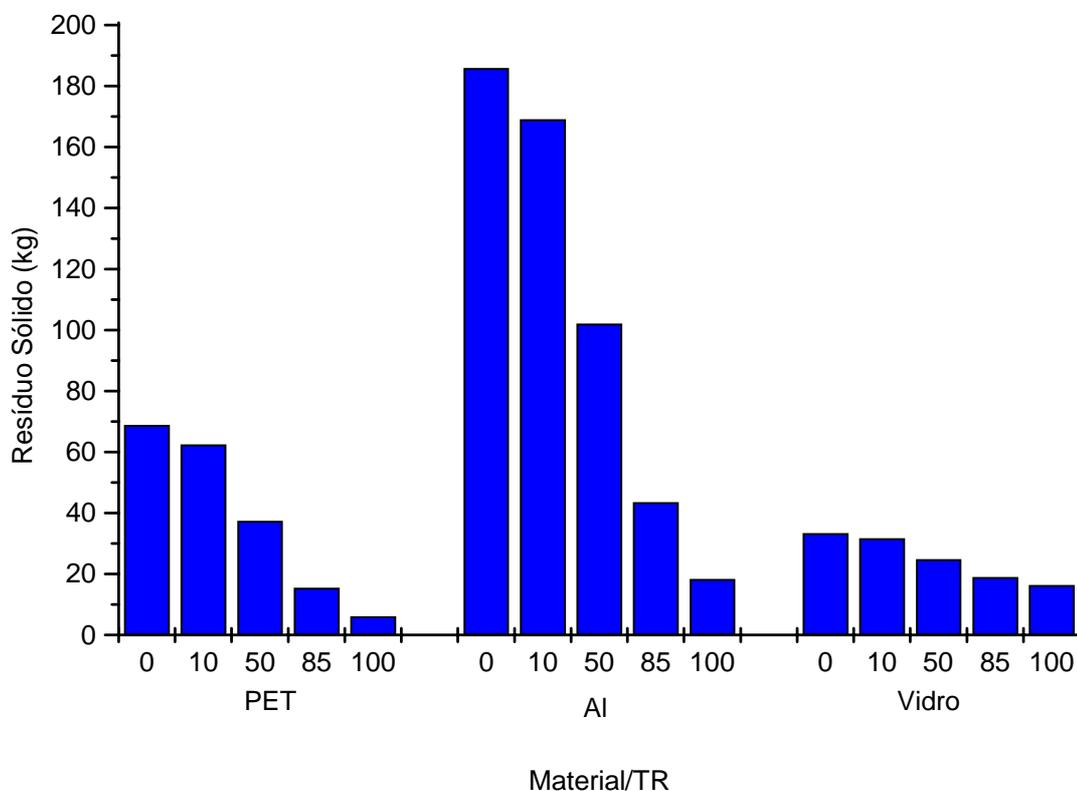
FIGURA 5 – CONSUMO DE ÁGUA NA PRODUÇÃO DE EMBALAGENS CONSIDERANDO A VARIAÇÃO DAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L



Observa-se também através da Figura 20 que para a taxa de reciclagem de 50%, os consumos de água para a garrafa PET e para a lata de alumínio são semelhantes. Além disso, verifica-se que independente da taxa de reciclagem empregada, o consumo de água para a garrafa de vidro é superior ao das demais embalagens.

A variação de resíduos sólidos emitidos com a taxa de reciclagem das embalagens é mostrada na Figura 21. Observa-se nesta figura que a variação na taxa de reciclagem de 0% a 100% proporciona uma redução de emissão de 62,73 kg para a garrafa PET, de 167,57 kg para a lata de alumínio e 16,99 kg para a garrafa de vidro, correspondendo a reduções de 91%, 90% e 51%, respectivamente.

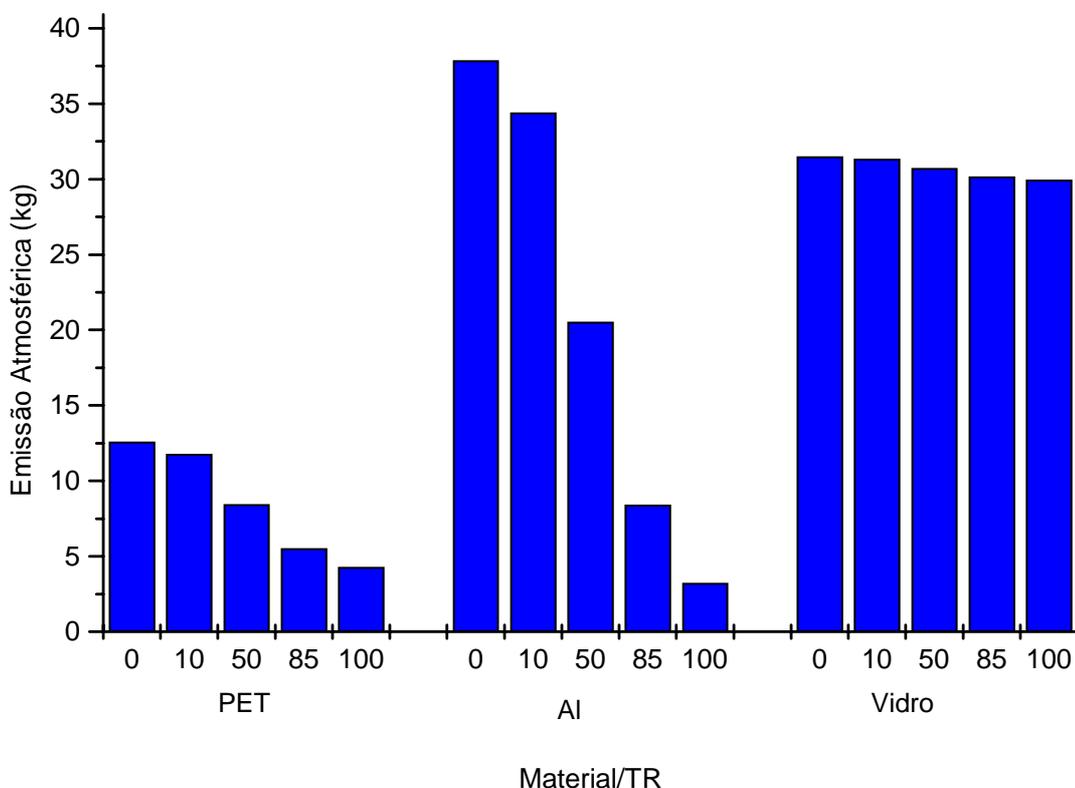
FIGURA 6 – FORMAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA PRODUÇÃO DE EMBALGENS CONSIDERANDO A VARIAÇÃO DAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L



Verifica-se também através da Figura 21 que para as taxas de reciclagem de 0%, 10% e 50% a garrafa de vidro é a embalagem que menos emite resíduos sólidos, o mesmo ocorrendo para a garrafa PET para as taxas de reciclagem de 85% e 100%.

Com relação à emissão atmosférica, pode ser observado na Figura 22 que para a variação na taxa de reciclagem estudada, ocorre uma diminuição de 66,0% das emissões atmosféricas associadas às garrafas PET, de 91,5% da quantidade emitida no ciclo de vida das latas de alumínio e de 5,0% no ciclo de vida das garrafas de vidro, correspondendo a um decréscimo de emissões de 8,32 kg, 34,67 kg e 1,56 kg respectivamente.

FIGURA 7 – GERAÇÃO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DA PRODUÇÃO DE EMBALGENS CONSIDERANDO A VARIAÇÃO DAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L

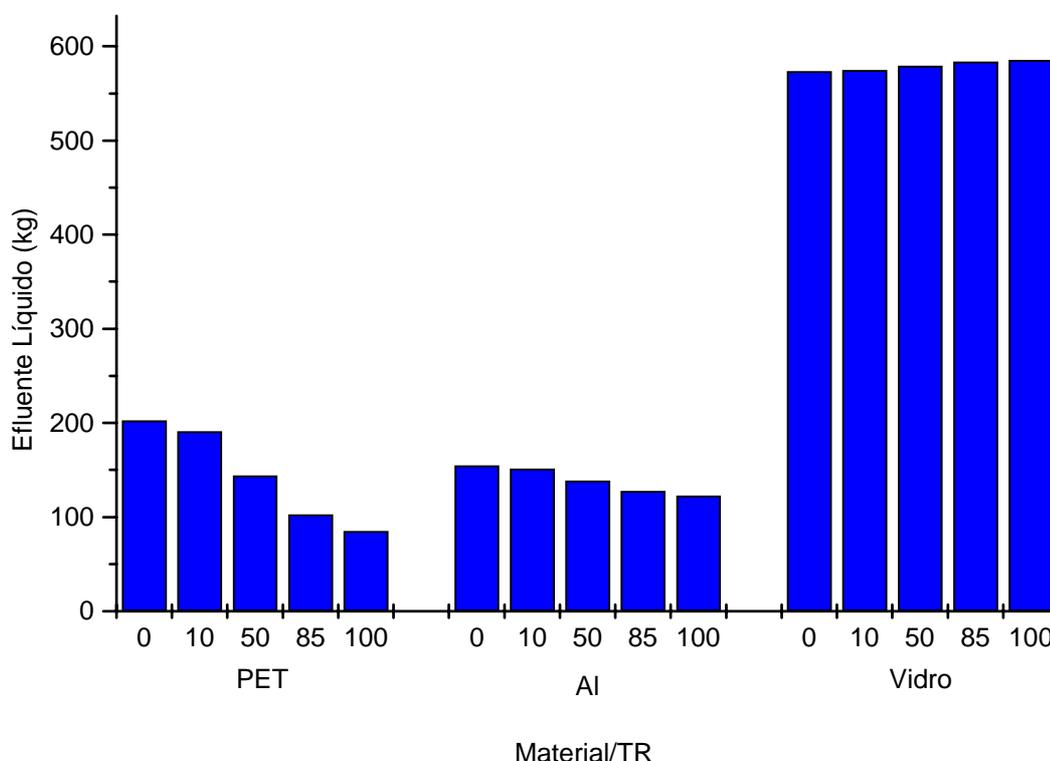


Além disso, verifica-se através da Figura 22 que para todas as taxas de reciclagem adotadas, com exceção de 100% de reciclagem, o PET é o material que menos gera emissão atmosférica e com aproximadamente 50% de reciclagem o alumínio passa a gerar menor quantidade de emissões atmosféricas que o vidro.

A emissão de efluentes líquidos considerando a variação na taxa de reciclagem dos materiais é mostrada na Figura 23. Pode-se observar nesta figura que a variação de 0% a 100% na taxa de reciclagem da lata de alumínio proporciona 20,6% de redução na emissão de efluente líquido, equivalente a 31,96 kg, enquanto para a garrafa PET a redução é de 57,9%, ou 117,43 kg.

Para a garrafa de vidro a variação na taxa de reciclagem ocasiona um aumento de 2% na geração de efluente, ocasionado pelo aumento do consumo de água para lavagem do material durante a etapa de reciclagem.

FIGURA 8 – GERAÇÃO DE EFLUENTES LÍQUIDOS DA PRODUÇÃO DE EMBALGENS CONSIDERANDO A VARIAÇÃO DAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L



Observa-se ainda na Figura 23 que para as taxas de reciclagem de 0% e 10% a lata de alumínio é a embalagem que menos produz efluente líquido e com 50% de reciclagem as garrafas PET e latas de alumínio emitem a mesma quantidade. Verifica-se também que, independente da taxa de reciclagem empregada, a garrafa de vidro emite sempre mais efluente líquido que as outras embalagens.

Verifica-se que os gráficos de consumo de água, Figura 20, e emissão de efluentes líquidos, Figura 23, são bastante parecidos, uma vez que a maior parte da água utilizada nos ciclos de vida das três embalagens serve para a lavagem de materiais e equipamentos, sendo posteriormente enviada para tratamento.

5.3 AVALIAÇÃO ATRAVÉS DO MÉTODO ECO-INDICADOR 95

A aplicação do método Eco-Indicador consistiu em três etapas, classificação, caracterização e valoração. Nas etapas de classificação e caracterização, os dados quantificados de aspectos ambientais das Tabelas 25, 27 e 29 foram multiplicados pelos fatores de equivalência apresentados na Tabela 1, indicados por BRENTROP (2001), RYBERG (1998) e SOARES (2003).

O mesmo procedimento foi aplicado às tabelas contidas no ANEXO IV. Os dados classificados e caracterizados referentes às garrafas PET, às latas de alumínio e às garrafas de vidro, para as diversas taxas de reciclagem, são apresentados nas Tabelas 41, 42 e 43, respectivamente, no ANEXO III.

Os dados caracterizados foram então normalizados através da divisão pelos coeficientes de normalização mostrados na Tabela 2, indicados por BRENTROP (2001). Os dados normalizados para as diversas taxas de reciclagem das garrafas PET, latas de alumínio e garrafas de vidro são apresentados na Tabela 44, no ANEXO III.

Finalmente, os dados normalizados da Tabela 44 foram multiplicados pelos fatores de peso mostrados na Tabela 3, indicados por BRENTROP (2001), resultando em valores de Eco Indicador, mostrados na Tabela 34. O valor de Eco Indicador total foi obtido pela soma dos valores de Eco Indicador para cada categoria de impacto analisada.

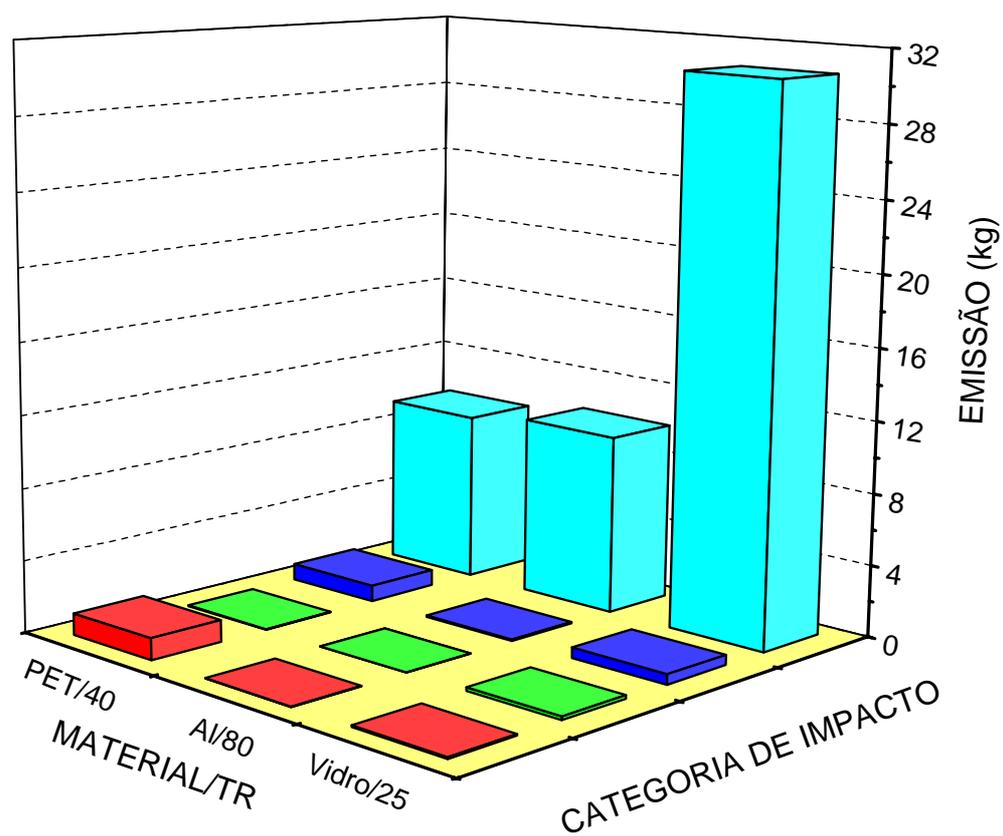
TABELA 23 – VALORES DE ECO-INDICADOR PARA DIVERSAS TAXAS DE RECICLAGEM DE GARRAFAS PET, LATAS DE ALUMÍNIO E GARRAFAS DE VIDRO E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L

Embalagem	Categoria de Impacto	Valores de Eco-Indicador					
		Taxas de Reciclagem					
		0%	10%	50%	85%	100%	taxa atual*
PET	Efeito Fotoquímico	0,2767	0,2499	0,1426	0,0488	0,0085	0,1694
	Eutrofização	0,0046	0,0041	0,0024	0,0008	0,0001	0,0028
	Acidificação	0,1286	0,1166	0,0686	0,0267	0,0087	0,0806
	Aquecimento Global	0,0025	0,0023	0,0016	0,0010	0,0008	0,0018
	Total	0,4123	0,3729	0,2152	0,0773	0,0182	0,2547
Alumínio	Efeito Fotoquímico	0,0034	0,0032	0,0020	0,0020	0,0017	0,0025
	Eutrofização	0,0008	0,0007	0,0004	0,0002	0,0001	0,0002
	Acidificação	0,0059	0,0059	0,0061	0,0062	0,0063	0,0062
	Aquecimento Global	0,0071	0,0038	0,0038	0,0016	0,0006	0,0019
	Total	0,0171	0,0137	0,0124	0,0099	0,0087	0,0108
Vidro	Efeito Fotoquímico	0,0122	0,0122	0,0121	0,0119	0,0119	0,0122
	Eutrofização	0,0311	0,0292	0,0218	0,0153	0,0126	0,0264
	Acidificação	0,0519	0,0519	0,0501	0,0488	0,0483	0,0501
	Aquecimento Global	0,0058	0,0058	0,0058	0,0058	0,0058	0,0058
	Total	0,1011	0,0992	0,0898	0,0819	0,0785	0,0945

*taxas atuais de reciclagem: PET=40%, Alumínio=80%, Vidro=25%

Os resultados de quantificação das categorias de impacto adotadas, indicados nas Tabelas 41, 42 e 43 do ANEXO III, são mostrados na Figura 24.

FIGURA 9 – QUANTIFICAÇÃO DOS EFEITOS GLOBAIS ASSOCIADOS AOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO PARA AS TAXAS ATUAIS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L



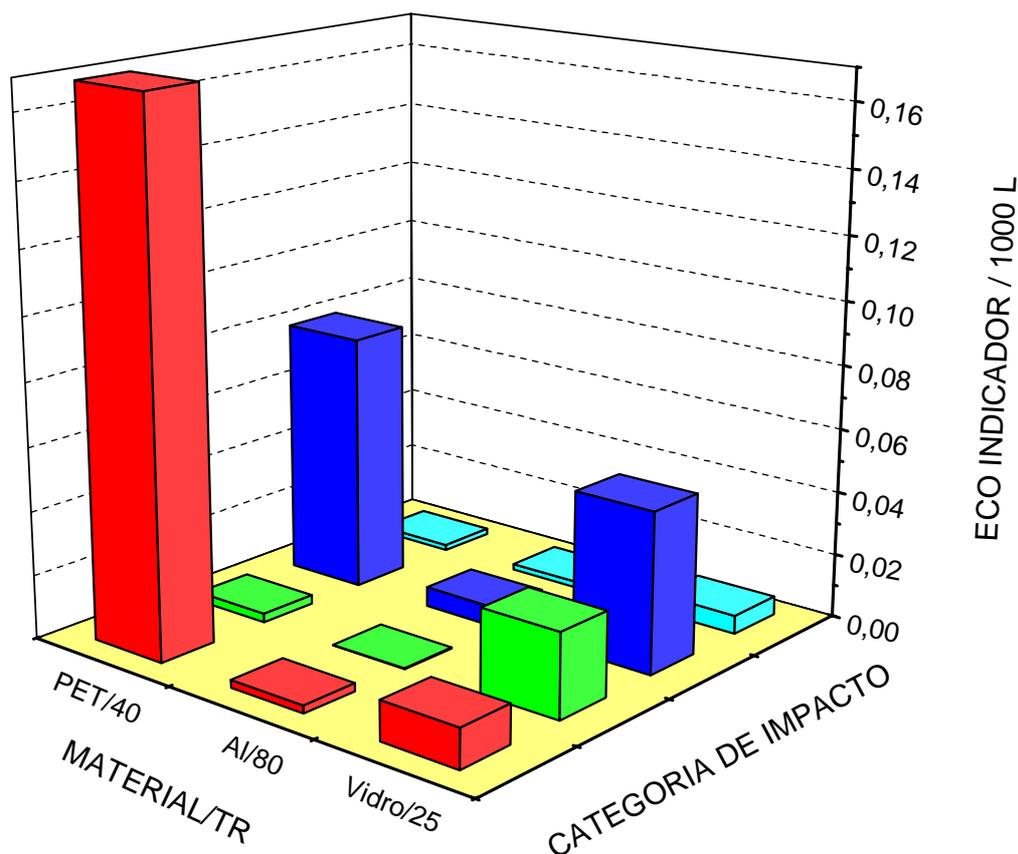
EF– efeito fotoquímico, EUT – eutrofização, AC – acidificação, AG – aquecimento global, TR – Taxa de reciclagem

O gráfico da Figura 24 mostra que, em termos de quantidade emitida, o efeito que mais se destaca é o de aquecimento global associado às embalagens, seguido pelo efeito fotoquímico. O aquecimento global associado às garrafas de vidro é aproximadamente 3 vezes superior ao do PET e ao do alumínio.

Considerando os dados normalizados através do método Eco Indicador 95, observa-se na Figura 25 que a categoria de impacto ambiental que mais se destaca

é o efeito fotoquímico associado à ACV das garrafas PET, que é 13,8 vezes maior que o efeito fotoquímico associado às garrafas de vidro.

FIGURA 10 – VALORAÇÃO DOS EFEITOS GLOBAIS ASSOCIADOS AOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO PARA AS TAXAS ATUAIS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L



EF– efeito fotoquímico, EUT – eutrofização, AC – acidificação, AG – aquecimento global, TR – Taxa de reciclagem

Verifica-se também através da Figura 25 que em relação ao ciclo de vida do PET, a categoria de impacto que tem maior participação sobre o meio ambiente é o efeito fotoquímico, com 66,5% de contribuição, seguido da acidificação, com 31,6%, da eutrofização, com 1,1% e do aquecimento global, com 0,8% de contribuição.

No ciclo de vida das latas de alumínio, a maior contribuição para os efeitos globais é a acidificação, com participação em 57,4% das emissões. A seguir

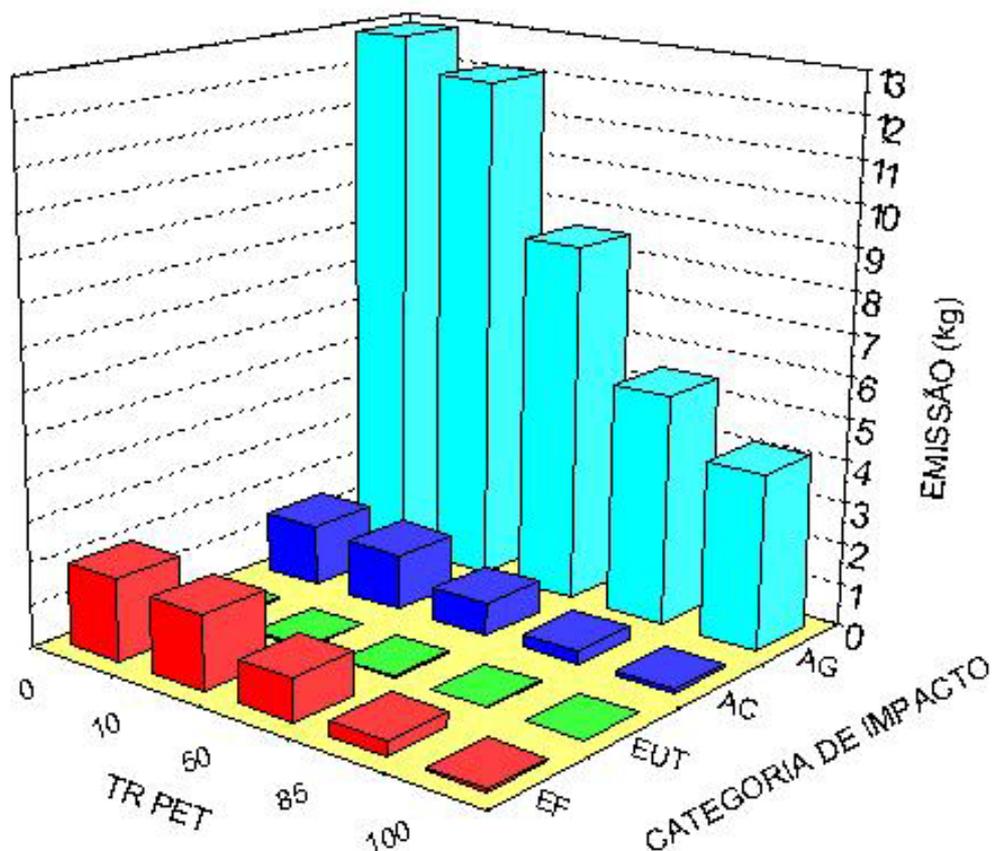
apresentam-se o efeito fotoquímico com 23,1%, o aquecimento global com 17,6% e a eutrofização com 1,9% de contribuição. Com relação à ACV das garrafas de vidro, verifica-se que 27,9% das emissões ambientais estão relacionadas à eutrofização, 53,1% à acidificação, 12,9% ao efeito fotoquímico e 6,1% ao aquecimento global, conforme mostra o gráfico da Figura 25.

O efeito fotoquímico associado à da garrafa PET é cerca de 68 vezes maior que a da lata de alumínio e 14 vezes maior que a da garrafa de vidro. No efeito de eutrofização, a maior geração é a da garrafa de vidro com 89,8% de contribuição, seguida pela garrafa PET com 9,5% e pela lata de alumínio com 0,7%. Considerando-se a acidificação sobre o meio ambiente, a garrafa de vidro contribui com 36,6% do total de material emitido, seguida pela garrafa PET com 58,9% e por último pela lata de alumínio com 4,5% de geração.

Finalmente, para o efeito de aquecimento global, o maior gerador é a garrafa de vidro, 3 vezes superior à emissão da lata de alumínio e 3,2 vezes superior à emissão da garrafa PET. O valor Eco Indicador 95 que representa a soma de todas as categorias de impacto para as embalagens estudadas, considerando as taxas atuais de reciclagem, é de 0,2547 para a garrafa PET, 0,0945 para a garrafa de vidro, e 0,0108 para a lata de alumínio, ressaltando que quanto maior o valor do Eco Indicador, mais negativo é o efeito do material sobre o meio-ambiente.

Em relação às categorias de impacto adotadas, a Figura 26 mostra a quantidade de emissões associadas ao ciclo de vida da garrafa PET considerando a variação nas taxas de reciclagem. A Figura 26 mostra que, em termos de quantidade emitida, o aumento da taxa de reciclagem provoca a diminuição das emissões analisadas.

FIGURA 11 – CATEGORIAS DE IMPACTO ASSOCIADAS AO CICLO DE VIDA DE GARRAFAS PET CONSIDERANDO A VARIAÇÃO DAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L

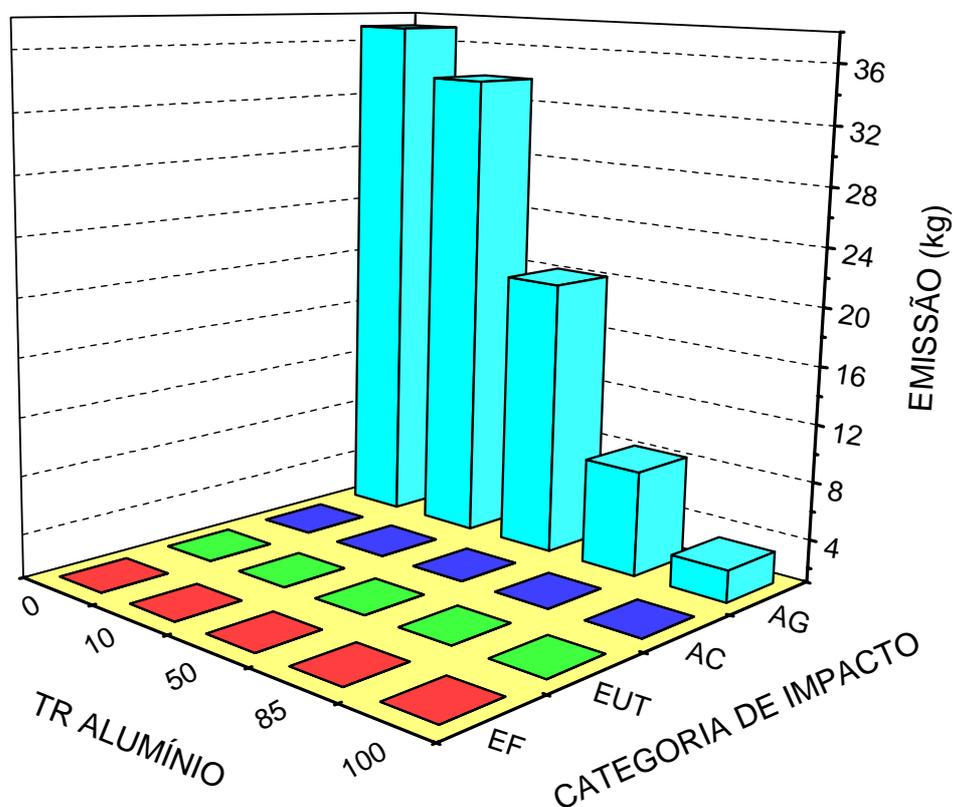


EF– efeito fotoquímico, EUT – eutrofização, AC – acidificação, AG – aquecimento global, TR – Taxa de reciclagem

O gráfico da Figura 26 mostra ainda que a categoria de impacto que apresenta maior redução quantitativa com o aumento da taxa de reciclagem é o aquecimento global, com redução aproximada de 6,15 kg ou 73,2%. O efeito fotoquímico também sofre grande variação, com redução de 4,58 kg ou 96,5% nas emissões.

Para a ACV das latas de alumínio, a Figura 27 informa a quantidade de emissões associadas às categorias de impacto adotadas no estudo.

FIGURA 12 – CATEGORIAS DE IMPACTO ASSOCIADAS AO CICLO DE VIDA DE LATAS DE ALUMÍNIO CONSIDERANDO A VARIAÇÃO DAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L

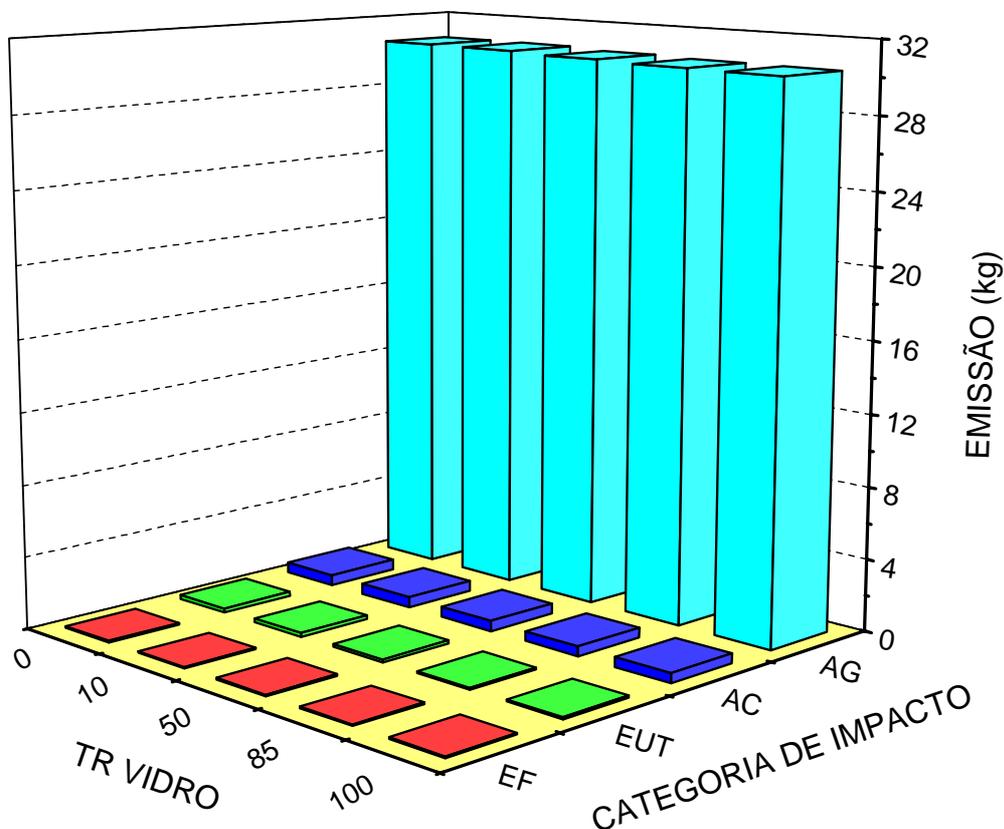


EF– efeito fotoquímico, EUT – eutrofização, AC – acidificação, AG – aquecimento global, TR – Taxa de reciclagem

Conforme mostra o gráfico da Figura 27, o efeito que mais sofre redução, em termos quantitativos, com o aumento das taxas de reciclagem é o aquecimento global, com aproximadamente 16,41 kg ou 84% de redução. A redução do efeito fotoquímico é de aproximadamente 0,42 kg ou 79,6% e o da eutrofização, 0,02 kg ou 87,9%. Para a acidificação ocorre um aumento de aproximadamente 0,02 kg ou 19 % devido ao aumento de NO_x e SO_2 emitidos durante a reciclagem das latas, conforme pode-se verificar na Tabela 42.

Para as garrafas de vidro, observa-se através da Figura 28 que as categorias de impacto sofrem pouca variação com o aumento das taxas de reciclagem, com redução de 0,0433 kg para o efeito fotoquímico a 0,2409 kg para a eutrofização.

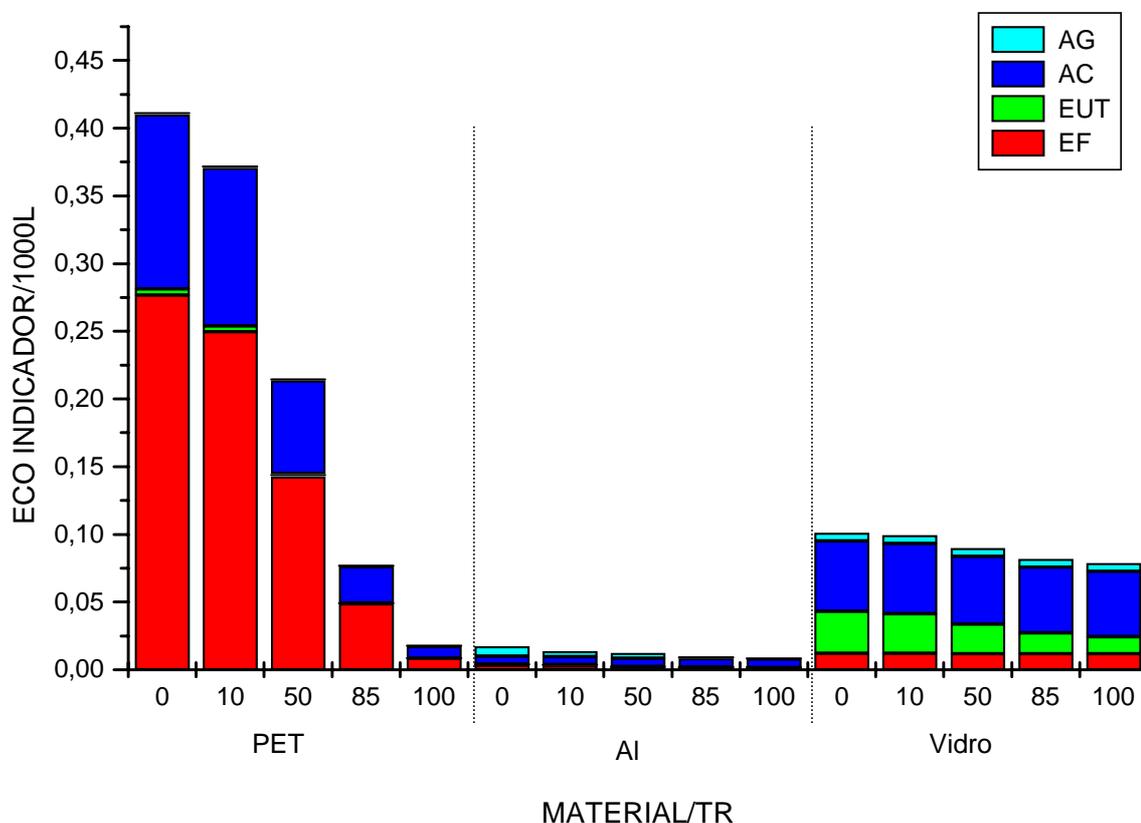
FIGURA 13 – CATEGORIAS DE IMPACTO ASSOCIADAS AO CICLO DE VIDA DAS GARRAFAS DE VIDRO CONSIDERANDO A VARIAÇÃO DAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L



EF– efeito fotoquímico, EUT – eutrofização, AC – acidificação, AG – aquecimento global, TR – Taxa de reciclagem

Considerando-se a alteração dos valores de Eco Indicador causadas pelas variações das taxas de reciclagem empregadas, observa-se na Figura 29 que o valor Eco Indicador que sofre maior redução, em termos quantitativos, é o do efeito fotoquímico para as garrafas PET, com variação de 0,27 pontos ou 97%, seguido pela acidificação, com redução de 0,12 pontos ou 93%. Observa-se que os valores de Eco Indicador para o aquecimento global são pequenos em relação aos demais, e por isso não são visualizados no gráfico mencionado.

FIGURA 14 – VALORES DE ECO INDICADOR ASSOCIADOS AOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE EMBALAGENS CONSIDERANDO A VARIAÇÃO DAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L



EF– efeito fotoquímico EUT – eutrofização AC – acidificação AG – aquecimento global

O gráfico da Figura 29 mostra ainda que para as taxas de reciclagem de 0%, 10%, 50% e 85% a garrafa PET apresenta menores valores de Eco Indicador para o aquecimento global, enquanto que para 100% de reciclagem o menor valor é o da lata de alumínio. Para as demais categorias de impacto a lata de alumínio tem menores valores de Eco Indicador independente da taxa de reciclagem empregada.

Levando-se em conta o valor total de Eco Indicador, para as taxas de reciclagem de 0%, 10% e 50%, a garrafa PET é a embalagem que mais afeta negativamente o meio ambiente, e para as taxas de reciclagem de 85% e 100% as garrafas de vidro passam a ter valores Eco Indicadores maiores. Verifica-se também que o aumento da taxa de reciclagem conduz a uma diminuição no valor eco indicador para todas as embalagens.

Os resultados fornecidos pela ACV das garrafas PET, latas de alumínio e garrafas de vidro, para as taxas atuais de reciclagem e a unidade funcional adotada, permitem concluir que para os aspectos ambientais de consumo de água, com 15,1% do total e emissão de efluente líquido, com 14,9% do total, a lata de alumínio é menos prejudicial ao meio ambiente.

Com relação ao consumo de energia, com 24,3% do total, consumo de recursos naturais, com 24,4% do total, e emissão de poluentes atmosféricos, com 18,3% do total, a garrafa PET é a embalagem menos impactante ao meio ambiente. A garrafa de vidro é a embalagem que emite menor quantidade de resíduos sólidos, com 23,3% do total. Desta maneira, conclui-se que não existe uma embalagem ideal do ponto de vista ambiental e sim aquela que é mais ou menos adequada de acordo com a região analisada e suas características.

Cabe ressaltar a grande emissão de resíduos ocorrida durante o ciclo de vida das embalagens para a unidade funcional de 1000 L, com valores de 635,82 kg para a garrafa de vidro, de 211,67 kg para a garrafa PET e de 190,96 kg para a lata de alumínio. Observa-se no entanto que para o ciclo de vida de uma embalagem, a garrafa PET emite mais resíduos, 423,3g, seguida pela garrafa de vidro com 184,4 g e pela lata de alumínio com 69,7 g.

6 CONCLUSÕES

Os valores Eco Indicador obtidos através a ACV dos sistemas estudados revelam que para as categorias de impacto adotadas, a garrafa PET é a embalagem que mais afeta negativamente o meio ambiente, enquanto a lata de alumínio é a que tem menor contribuição negativa, apresentando números Eco Indicador de 0,2547 e 0,0108, respectivamente.

Os resultados obtidos para as categorias de impacto também informam que, apesar do aquecimento global representar uma quantidade maior de emissões atmosféricas, o efeito fotoquímico possui um potencial de impacto maior sobre o meio ambiente.

Com relação à análise do aumento da taxa de reciclagem das embalagens, os resultados indicam que a lata de alumínio é a embalagem que tem maior redução quantitativa no consumo de energia, 15.239,5 MJ, no consumo de recursos naturais, 211,3 kg, e na emissão de poluentes atmosféricos, 34,7 kg, e de resíduos sólidos, 167,6 kg, enquanto a garrafa PET tem maior redução de efluentes líquidos, 117,5 kg.

Além disso, observa-se que para a garrafa de vidro ocorre um aumento de aproximadamente 12 kg no consumo de água e emissão de efluente líquido, devido à maior participação da etapa de reciclagem no ciclo de vida da embalagem.

Verifica-se ainda que os aspectos ambientais analisados têm comportamentos diferentes diante da variação da taxa de reciclagem, devido principalmente à variação das distâncias percorridas e quantidade de matérias-primas utilizadas. De maneira geral, conclui-se que a reciclagem traz vários benefícios ao meio ambiente, reduzindo o consumo de recursos naturais e a emissão de resíduos.

A avaliação do efeito da reciclagem sobre as categorias de impacto adotadas permite concluir que a reciclagem reduz os valores de Eco-Indicador em 0,3941

pontos para o PET, 0084 pontos para o alumínio e 0,0226 pontos para o vidro, contribuindo para a preservação do meio ambiente.

O estudo também permitiu determinar o impacto do transporte sobre o meio ambiente, mostrando que o transporte ferroviário polui 4 vezes menos que o rodoviário e, ainda, que quanto mais próximas estiverem as etapas de produção, menor a geração de poluentes atmosféricos.

Cabe ressaltar ainda que, em relação ao consumo de recursos naturais renováveis e não renováveis, o PET é a embalagem que apresenta o pior cenário entre os estudados, tendo em vista o curto período de abundância do petróleo, ou seja, a relação entre reserva e consumo mundial .

Entre os pontos principais a serem melhorados nas etapas de produção, estão o reaproveitamento da água de lavagem das garrafas e a diminuição de perdas de processo, principalmente para as garrafas de vidro.

Com relação à garrafa PET, faz-se necessário a instalação de equipamentos eficientes para captação dos VOC's emitidos durante as etapas de extração e refino de petróleo e transporte de produto por tubovias. Para as latas de alumínio, deve-se reduzir a formação de lama residual na etapa de produção de alumina, através de melhorias no processo.

Com relação à metodologia de estudo da Análise do Ciclo de Vida, verificou-se que a coleta de dados é bastante complexa e demanda tempo para análise e compreensão. Além disso, cabe salientar que os resultados aqui alcançados refletem a realidade das indústrias nacionais em que foram coletados os dados e das regiões onde elas estão localizadas.

Cabe ressaltar a necessidade de realização do inventário de emissões atmosféricas nacional, de maneira a contribuir para o desenvolvimento de novos estudos de ACV de produtos.

Por fim, vale salientar que a Análise do Ciclo de Vida é um assunto que deve ser cada vez mais estudado e discutido, pois desempenha um papel fundamental para o conhecimento dos processos, redução dos impactos ambientais e melhoria dos processos industriais, visando a proteção do meio ambiente e a melhoria da qualidade de vida da população.

Como sugestão de continuidade deste estudo podem ser citadas a avaliação dos impactos ambientais causados pelos resíduos sólidos, a análise do esgotamento dos recursos naturais e a aplicação de outras metodologias de valoração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEPET – Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens PET. Reciclagem de Embalagens PET. Disponível em: <informapet@abepet.com.br> Acesso em 10 set. 2004.

ABIQUIM – Associação Brasileira das Indústrias Químicas. Os plásticos. Disponível em:<<http://www.abiquim.org.br/plastivida/plasticos.htm>>. Acesso em 02 ago. 2004.

ALCOA ALUMÍNIO S.A. **Descritivo de processo**. Poços de Caldas, 2003.

ALEXANDER, B; BARTON, G.; PETRIE, J.; ROMAGNOLI, J. **Process synthesis and assessment tools for environmental design : methodology and structure**. Computers and chemical Engineering, v.24, 2000. p. 1195-1200

ANP – Agência Nacional do Petróleo. **Anuário estatístico da indústria brasileira do petróleo**. Rio de Janeiro: 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE EMBALAGENS. Disponível em :<<http://www.abre.org.br>> Acesso em 07 jul. 2004

ASSUNÇÃO, R.S. **Avaliação da emissão de compostos orgânicos voláteis em operações de carga e descarga de derivados líquidos de petróleo**. Salvador, 2003. 138f. Monografia (Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria) – Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal da Bahia.

BAEK, C.A. Obtenção de alumínio através da bauxita e da reciclagem. São Paulo, 2002 Monografia (Especialização em Engenharia de Produção) – Departamento de Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina

BLASS, A. **Processamento de polímeros**. 2.ed. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2001. SAINT GOBAIN VIDROS S.A. **Descritivo de processo**, São Paulo, 2003.

BRASKEM S.A. **Descritivo de processo**. Camaçari, 2003.

BRENTROP, F; KUSTEUS, J; KUHLMANN, H; LAMMIL, J; Application of the life cycle assessment methodology to agricultural production: an example of sugar beet production with different forms of nitrogen fertilizer. **European Journal of Agronomy**, Duermen, v. 14, p. 221-233, 2000.

CAMPOS, A. C.; LEPNTSINIS, E. **Petróleo: obtenção, especificações e requisitos de desempenho**. Rio de Janeiro: JR Editora Técnica, 1999.

CANÇADO, P. A revanche do vidro. **Isto É Dinheiro**, São Paulo, 22 out. 2003.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem . Disponível em <<http://www.cempre.org.br>>. Acesso em 16 de set. 2004.

_____ . **Reciclagem e negócios: PET**. São Paulo, 1997. 27p.

CHEHEBE, J.R.B. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998. 104p.

DUDAS, I. **Educação ambiental: o ciclo do lixo**. Curitiba: 3R's Educação ambiental, 2002. 1 CD-ROM

ECONOMY AND ENERGY. Parâmetros de emissão de gases de efeito estufa por veículos pesados no Brasil. Disponível em <<http://www.ecen.com/matriz/eee25/veiculp5.htm>>. Acesso em 20 jul. 2003.

ERIKSSON,E; BUNGE,M; LOUGRER,G. Life cycle assessment of the road transport sector. **The Science of the total environment**. Sweden, v.69, p. 189-190, 1996.

FUJII,F.; COSTA, S.M.. Reciclagem: a vida útil do plástico promete novas reencarnações. **Plásticos em revista**. N.210, p. 26-40, ago/1994.

HELDING, B.V. **Agua residual e purificacion del aire**. Holanda: Copyright, 2004

HERTWICH, E. G.; PEASE, W. S.; KOSHLAND, C. P. Evaluating the environmental impact of products and production processes: a comparison of six methods. **Science of the total Environmental**, Sweden, v. 196, p. 13-19, 1997.

HOTCHKISS, J. H. **Embalagem: criar, produzir, usar e reciclar**. Revista Ação Ambiental. Universidade Federal de Viçosa. Ano III, n.17, abril/maio 2001.p. 5-7

HUANG, C.; MA, H. A Multidimensional environmental evaluation of packing materials. **Science of the total Environmental**, Taiwan, v. 321, p. 161-172, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA (IBS). Relatório de atividades 2003. São Paulo, 2004.

ISO 14040 – International Standard. Environmental Management – Life Cycle Assessment – principles and framework. 1997.

KBA – Karlab Bell and Associates Pty Ltd. Life cycle assessment for industrial processes. Disponível em: <<http://www.karlab.com/lcaip.htm>>. Acesso em 10 dez. 2000.

KNIGHT, A.; WOLFE, J.; POON, J.. **Life cycle assessment**. Toronto: ICF Kaiser Canada, 1996. 35p.

KROZER, J.; VID, J.C. **How to get LCA in the right direction?** Journal of cleaner production, v.6, 1998 p. 53-61

LIMA, A. M. F.. **Estudo da cadeia produtiva do polietileno tereftalato na região metropolitana de Salvador como subsídio para análise do ciclo de vida**. Universidade Federal da Bahia: Salvador, 2001.

MANCINI, S.; ZANIN, M. **Recyclability of PET from virgin resin**. Mat. Res. São Carlos. 1999. V.2, N.

MARTIRES, R. A. C. **Alumínio: balanço mineral brasileiro 2001**. Campinas: UNICAMP-FEE-DEA, 2002. 31p. Relatório técnico

MATTSSON, B; CEDERBERG, C. BRIX, L. **Agricultural land use in life assessment (LCA) case studies of three vegetable oil crops.** Journal of cleaner production, 2000. p. 283-292

MOURA,F; GÓIS,V; TORRES,P; MARTINHO,S. **Avaliação da emissões de gases de efeito estufa para o setor de transportes em Portugal.** Caparica:1999. UNIVERSIDADE DE NOVA LISBOA

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

PERSON, L; A; EKVALL, T. **Life cycle assessment of packaging systems for beer and soft drinks: disposable PET bottles.** Denmark: Ministry of Environment and Energy, 1998. 198p. Relatório técnico 6.

PLASTIVIDA. **Texto sobre os tipos de plásticos.** Disponível em: <http://www.plastivida.org.br/plasticos/tipos>. Acesso em 30 maio. 2004.

PRE CONSULTANTS BV. What is LCA. Disponível em <http://www.pre.nl/life_cycle_assesment>. Acesso em 27 nov. 2000.

_____. Eco-indicator 95: Introduction. Disponível em <http://www.pre.nl/eco-indicator95/eco-indicator_95_introduction.htm>. Acesso em 20 dez. 2004.

_____. Eco-indicator 99: Introduction. Disponível em <http://www.pre.nl/eco-indicator99/eco-indicator_99_introduction.htm>. Acesso em 20 dez. 2004.

REXAN BEVERAGE CAN AMERICAS S.A. **Descritivo de processo.** São Paulo, 2004.

RYBERG, A; EKVALL, T; PERSON, L.; WIDHEDEN, J. **Life cycle assessment of packaging systems for beer and soft drinks: aluminum cans.** Denmark: Ministry of Environment and Energy, 1998. 183p. Relatório técnico 3.

SAINT GOBAIN VIDROS S.A. **Descritivo de processo,** São Paulo, 2003.

SANTOS, A. R. **Vidro:** caracterização do material. São Paulo, 2003. 20f. Trabalho de graduação (Disciplina Tecnologia Inorgânica) – Departamento de construção civil, Escola Politécnica da USP.

SHREVE, R. N.; BRINK JR, J. A. **Indústrias de processos químicos.** 4.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois. 1997

SOARES,S.S. **Avaliação ambiental de sistemas.** Santa Catarina,2003. 104f. Monografia (Especialização em Gerenciamento e Tecnologia Ambiental) – Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal de Santa Catarina.

SOKA, M. A energia do petróleo. **Brasil Sekyo.** São Paulo, 7 abr, 2001. Caderno Cultura C4, Edição 1.598.

TAVARES,A.; JOFRE,E. **Análise do ciclo de vida de um produto**. Disponível em<<http://gasa3.dcea.fct.unl.pt/assa/projectos/assa1998/assa04>>. Acesso em 01 out. 2000.

THE MERCK INDEX. Ed. 11. Rahway: Merck & CO, 1989.

VIGON, B. W.; JENSEN, A. A.. Life cycle assessment: data quality and databases practitioner severy. **Journal Cleaner Prod**, Great Britain, v. 3, n. 3, p. 135-141, 1995

WIDHEDEN, J; EKVALL, T. **Life cycle assessment of packaging systems for beer and soft drinks: refillable glass bottles**. Denmark: Ministry of Environment and Energy, 1998. 202p. Relatório técnico 1.

ANEXO I

EXEMPLO DE FORMULÁRIO PARA COLETA DE DADOS

ATIVIDADE:			
PRODUTO:			
QUANTIDADE:			
Balança de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Consumo de energia:			
Distância até a próxima etapa do processo:			
Tipo de transporte:			
Comentários:			

ANEXO II

**DISTÂNCIAS PERCORRIDAS ENTRE FABRICANTES E
TABELAS DE FATORES DE CORREÇÃO PARA O TRANSPORTE E PRODUÇÃO**

FIGURA 1 – DISTÂNCIAS PERCORRIDAS ENTRE FABRICANTES NO CICLO DE VIDA DAS GARRAFAS PET

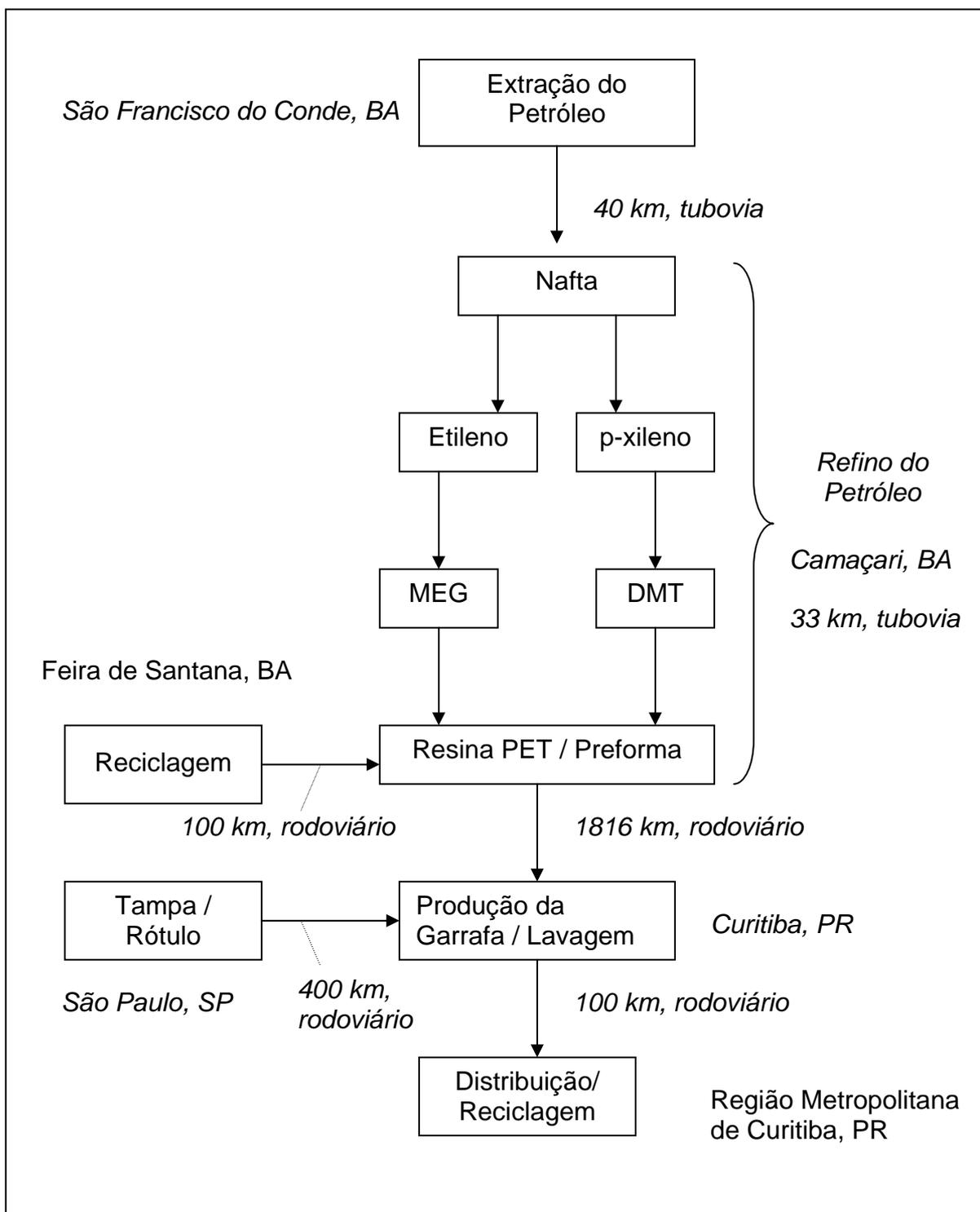


TABELA 1 – DISTÂNCIAS PERCORRIDAS ENTRE FABRICANTES NO CICLO DE VIDA DAS GARRAFAS PET PARA 1000 KG DE PRODUTO

Etapa da ACV	Local de Produção	Distância entre Locais de Produção (km)	Meio de Transporte	Fator de Correção para o Transporte (Fc ^T)
extração petróleo ⇒ refino petróleo	Camaçari	40	Tubovia	0,08
refino petróleo ⇒ fabricação resina	Camaçari	33	Tubovia	0,12
Fabricação resina PET ⇒ fabricação de preforma	Salvador	0	-	0
Fabricação de preforma ⇒ produção garrafa e lavagem	Salvador ⇒ Curitiba	1816	Rodoviário	66,76
Lavagem ⇒ consumo ⇒ reciclagem	Curitiba	100	Rodoviário	3,68
fabricação rótulo ⇒ lavagem	São Paulo ⇒ Curitiba	400	Rodoviário	14,71
fabricação tampa ⇒ lavagem	São Paulo ⇒ Curitiba	400	Rodoviário	14,71
Reciclagem ⇒ fabricação de novo produto	Feira Santana ⇒ Salvador	100	Rodoviário	3,68

FIGURA 2 – DISTÂNCIAS PERCORRIDAS ENTRE FABRICANTES NO CICLO DE VIDA DAS LATAS DE ALUMÍNIO

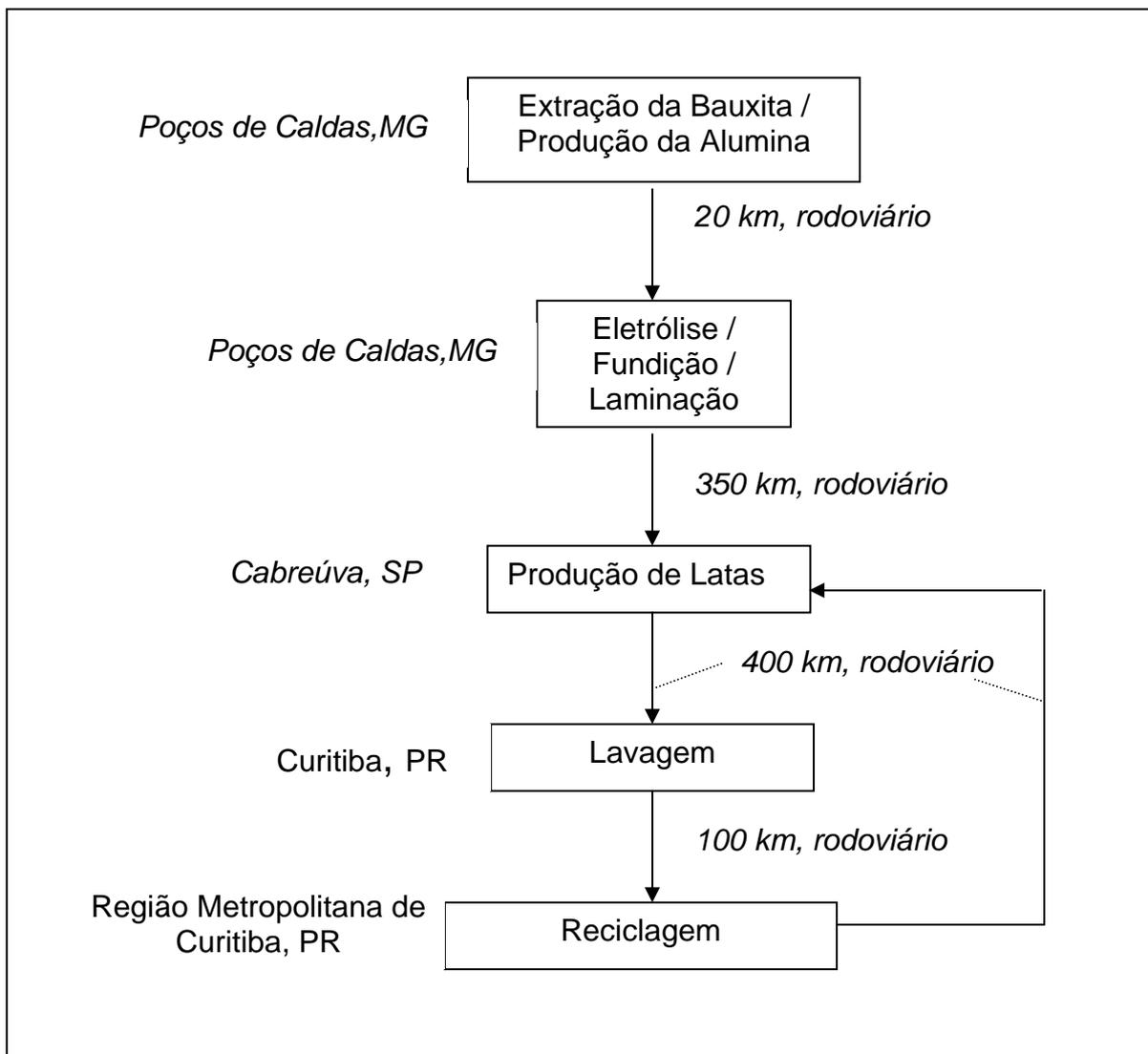


TABELA 2 – DISTÂNCIAS PERCORRIDAS ENTRE FABRICANTES NO CICLO DE VIDA DAS LATAS DE ALUMÍNIO PARA 1000 KG DE PRODUTO

Etapa de Produção	Local de Produção	Distância entre Etapas de Produção (km)	Meio de Transporte	Fator de Correção (Fc ^T)
extração bauxita e produção alumina ⇒ eletrólise e fundição	Poços de Caldas	20	Rodoviário	0,74
eletrólise e fundição ⇒ laminação	Poços de Caldas	0	-	0
Laminação ⇒ produção latas	Poços de Caldas ⇒ Cabreúva	350	Rodoviário	12,87
produção latas ⇒ lavagem	Cabreúva ⇒ Curitiba	400	Rodoviário	14,71
Lavagem ⇒ consumo ⇒ reciclagem	Curitiba ⇒ Região Metropolitana de Curitiba	100	Rodoviário	3,68
Reciclagem ⇒ fundição	Curitiba ⇒ Região Metropolitana de Curitiba	400	Rodoviário	14,71

FIGURA 3 – DISTÂNCIAS PERCORRIDAS ENTRE FABRICANTES NO CICLO DE VIDA DAS GARRAFAS DE VIDRO

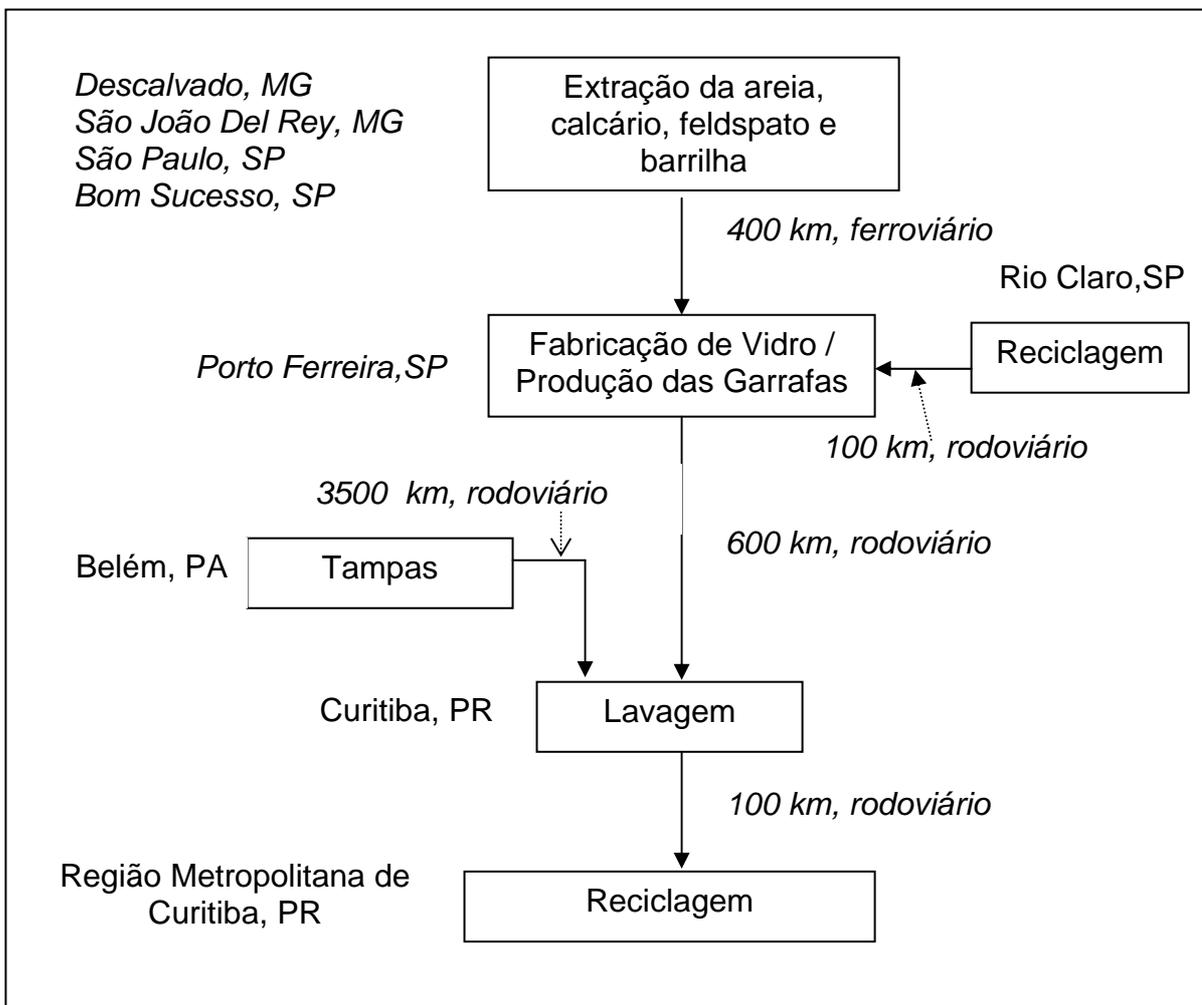


TABELA 3 – DISTÂNCIAS PERCORRIDAS ENTRE FABRICANTES NO CICLO DE VIDA DAS GARRAFAS DE VIDRO PARA 1000 KG DE PRODUTO

Etapa de Produção	Local de Produção	Distância entre Etapas de Produção (km)	Meio de Transporte	Fator de Correção (F_c^T)
extração matéria prima ⇒ fabricação vidro e produção garrafas	Distância média entre Descalvado, São Paulo, Bonsucesso e S. J. Del Rey / Porto Ferreira	400	Ferroviário	1,33
produção garrafa ⇒ lavagem	Porto Ferreira/Curitiba	600	Rodoviário	22,06
produção tampas ⇒ lavagem	Belém/Curitiba	3.500	Rodoviário	128,68
Lavagem ⇒ consumo ⇒ reuso ou reciclagem	Curitiba/Curitiba	100	Rodoviário	3,68
Reciclagem ⇒ fabricação de novo produto	Rio Claro/Porto Ferreira	100	Rodoviário	3,68

TABELA 4 – CÁLCULO DOS FATORES DE CORREÇÃO DE PRODUÇÃO PARA GARRAFAS PET DE ACORDO COM A TAXA DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L

Etapa	Reciclagem (%)	Fc ^P	Produção (kg)
Extração Petróleo	0	0,04125	41,25
	10	0,03713	37,13
	40	0,02475	24,75
	50	0,02063	20,63
	85	0,00619	6,19
	100	0,0	0,0
Refino Petróleo	0	0,04125	41,25
	10	0,03713	37,13
	40	0,02475	24,75
	50	0,02063	20,63
	85	0,00619	6,19
	100	0,0	0,0
Fabricação Resina	0	0,02500	25,00
	10	0,02250	22,50
	40	0,01500	15,00
	50	0,01250	12,50
	85	0,00380	3,75
	100	0,0	0,0
Produção Preformas, Garrafa e Lavagem	0		
	10		
	40	0,02500	25,00
	50		
	85		
	100		
Reciclagem	0	0,0	0,0
	10	0,00250	2,50
	40	0,01000	10,00
	50	0,01250	12,50
	85	0,02125	21,25
	100	0,02500	25,00
Rótulo	0		
	10		
	40	0,00100	1,00
	50		
	85		
	100		
Tampa	0		
	10		
	40	0,00140	1,43
	50		
	85		
	100		

TABELA 5 – CÁLCULO DOS FATORES DE CORREÇÃO DE PRODUÇÃO PARA LATAS DE ALUMÍNIO DE ACORDO COM A TAXA DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L

Etapa	Reciclagem (%)	Fc ^P	Produção (kg)
	0	0,0779	77,92
Extração Bauxita/ Produção Alumina	10	0,0701	70,13
	50	0,0390	38,96
	80	0,0156	15,58
	85	0,0117	11,69
	100	0,0	0,0
	0	0,0408	40,83
Eletrólise/ Fundição	10	0,0367	36,75
	50	0,0204	20,42
	80	0,0082	8,17
	85	0,0061	6,12
	100	0,0	0,0
	0		
Laminação	10		
	50	0,0408	40,83
	80		
	85		
	100		
	0		
Produção de Latas	10		
	50	0,0408	40,83
	80		
	85		
	100		
	0		
Lavagem	10		
	50	0,0408	40,83
	80		
	85		
	100		
	0	0,0	0,0
Reciclagem	10	0,0041	4,08
	50	0,0204	20,42
	80	0,0327	32,66
	85	0,0347	34,71
	100	0,0408	40,83

TABELA 6 – CÁLCULO DOS FATORES DE CORREÇÃO DE PRODUÇÃO PARA GARRAFAS DE VIDRO DE ACORDO COM A TAXA DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L

Etapa	Reciclagem (%)	F _c ^P	Produção (kg)
Fabricação vidro	0	0,0666	66,59
	10	0,0599	59,93
	25	0,0499	49,94
	50	0,0333	33,29
	85	0,0100	9,99
	100	0,0	0,0
Produção garrafa	0	0,0666	66,59
	10		
	25		
	50		
	85		
	100		
Lavagem	0	1,3317	1331,70
	10		
	25		
	50		
	85		
	100		
Tampa	0	0,0082	8,21
	10		
	25		
	50		
	85		
	100		
Reciclagem	0	0,0	0,0
	10	0,0067	6,66
	25	0,0166	16,65
	50	0,0333	33,29
	85	0,0566	56,60
	100	0,0666	66,58

ANEXO III

TABELAS DE CLASSIFICAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E NORMALIZAÇÃO DOS DADOS REFERENTES À PRODUÇÃO DAS EMBALAGENS PARA DIVERSAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L

TABELA 7 – CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS REFERENTES À PRODUÇÃO DE GARRAFAS PET PARA DIVERSAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L

Categoria de Impacto	Emissões	Taxas de Reciclagem					
		0%	10%	40%	50%	85%	100%
EUTROFIZAÇÃO (kg PO ₄ equivalente)	NH ₃ (água) ¹	0,0351	0,0317	0,0215	0,0181	0,0061	0,0010
	total	0,0351	0,0317	0,0215	0,0181	0,0061	0,0010
ACIDIFICAÇÃO (kg SO ₂ equivalente)	HCl (ar) ²	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	NOx (ar) ¹	0,6045	0,5525	0,3964	0,3444	0,1623	0,0842
	SO ₂ (ar) ¹	0,8479	0,7646	0,5146	0,4312	0,1395	0,0145
	total	1,4526	1,3172	0,9111	0,7757	0,3019	0,0988
AQUECIMENTO GLOBAL (kg CO ₂ equivalente)	CO (ar) ³	1,7472	1,5909	1,1222	0,9660	0,4192	0,1848
	CO ₂ (ar) ¹	5,6843	5,5063	4,9724	4,7945	4,1716	3,9046
	HC (ar) ³	5,5097	4,9667	3,3380	2,7951	0,8948	0,0805
	total	12,9412	12,0640	9,4327	8,5555	5,4856	4,1699
EFEITO FOTOQUIMICO (kg C ₂ H ₄ equivalente)	VOC (ar) ¹	0,8528	0,7717	0,5286	0,4476	0,1639	0,0423
	CO (ar) ²	0,0262	0,0239	0,0168	0,0145	0,0063	0,0028
	HC (ar) ²	1,1019	0,9933	0,6676	0,5590	0,1790	0,0161
	total	1,9809	1,7890	1,2130	1,0211	0,3491	0,0612

1-Fator de caracterização segundo BRENTROP (2001)

2-Fator de caracterização segundo RYBERG (1998)

3-Fator de caracterização segundo SOARES(2003)

TABELA 8 – CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS REFERENTES À PRODUÇÃO DE LATAS DE ALUMÍNIO PARA DIVERSAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L

Categoria de Impacto	Emissões	Taxas de Reciclagem					
		0%	10%	50%	80%	85%	100%
EUTROFIZAÇÃO (kg PO ₄ equivalente)	NH ₃ (água) ¹	0,0059	0,0054	0,0033	0,0018	0,0015	0,0007
	total	0,0059	0,0054	0,0033	0,0018	0,0015	0,0007
ACIDIFICAÇÃO (kg SO ₂ equivalente)	HF (ar) ²	0,0289	0,0279	0,0238	0,0208	0,0203	0,0187
	NO _x (ar) ¹	0,0315	0,0329	0,0381	0,0420	0,0426	0,0446
	SO ₂ (ar) ¹	0,0063	0,0064	0,0069	0,0072	0,0073	0,0074
	total	0,0667	0,0671	0,0688	0,0700	0,0702	0,0708
	C ₂ F ₆ /CF ₄ (ar) ³	0,0332	0,0299	0,0166	0,0066	0,0050	
AQUECIMENTO GLOBAL (kg CO ₂ equivalente)	CO (ar) ³	1,0204	0,9366	0,6014	0,3500	0,3081	0,1824
	CO ₂ (ar) ¹	36,0263	32,7225	19,5075	9,5963	7,9444	2,9888
	HC (ar) ³	0,0383	0,0389	0,0414	0,0433	0,0436	0,0445
	total	37,1182	33,7279	20,1669	9,9962	8,3011	3,2157
EFEITO FOTOQUIMICO (kg C ₂ H ₄ equivalente)	VOC (ar) ¹	0,0011	0,0011	0,0007	0,0008	0,0006	0,0005
	CO (ar) ²	0,0153	0,0140	0,0053	0,0090	0,0046	0,0027
	HC (ar) ²	0,0077	0,0078	0,0087	0,0083	0,0087	0,0089
	total	0,0241	0,0229	0,0181	0,0146	0,0140	0,0122

1-Fator de caracterização segundo BRENTUP (2001)

2-Fator de caracterização segundo RYBERG (1998)

3-Fator de caracterização segundo SOARES(2003)

TABELA 9 – CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS REFERENTES À PRODUÇÃO DE GARRAFAS DE VIDRO PARA DIVERSAS TAXAS DE RECICLAGEM E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L

Categoria de Impacto	Emissões	Taxas de Reciclagem					
		0%	10%	25%	50%	85%	100%
EUTROFIZAÇÃO (kg PO ₄ equivalente)	NH ₃ (água) ¹	0,2373	0,2232	0,2020	0,1667	0,1172	0,0960
	total	0,2373	0,2232	0,2020	0,1667	0,1172	0,0960
ACIDIFICAÇÃO (kg SO ₂ equivalente)	HCl (ar) ²	0,0006	0,0005	0,0005	0,0003	0,0001	0,0000
	NH ₃ (ar) ¹	0,0039	0,0036	0,0031	0,0024	0,0013	0,0008
	NO _x (ar) ¹	0,5300	0,5270	0,5226	0,5152	0,5049	0,5005
	SO ₂ (ar) ¹	0,0519	0,0511	0,0500	0,0480	0,0453	0,0441
	total	0,5864	0,5823	0,5761	0,5659	0,5516	0,5455
AQUECIMENTO GLOBAL (kg CO ₂ equivalente)	CO (ar) ³	2,7116	2,7035	2,6912	2,6709	2,6423	2,6301
	CO ₂ (ar) ¹	27,7079	27,6885	27,6595	27,6110	27,5432	27,5141
	HC (ar) ³	0,2243	0,2240	0,2236	0,2229	0,2218	0,2214
	N ₂ O (ar) ¹	0,0101	0,0089	0,0069	0,0042	0,0030	0,0030
	total	30,6539	30,6249	30,5812	30,5089	30,4104	30,3686
EFEITO FOTOQUIMICO (kg C ₂ H ₄ equivalente)	VOC (ar) ¹	0,0022	0,0021	0,0019	0,0017	0,0013	0,0012
	CO (ar) ²	0,0407	0,0406	0,0404	0,0401	0,0396	0,0395
	HC (ar) ²	0,0449	0,0448	0,0447	0,0446	0,0444	0,0443
	total	0,0877	0,0874	0,0870	0,0863	0,0853	0,0849

1-Fator de caracterização segundo BRENTRUP (2001)

2-Fator de caracterização segundo RYBERG (1998)

3-Fator de caracterização segundo SOARES(2003)

TABELA 10 – DADOS NORMALIZADOS PARA DIVERSAS TAXAS DE RECICLAGEM DE GARRAFAS PET, LATAS DE ALUMÍNIO E GARRAFAS DE VIDRO E CAPACIDADE DE ENVASE DE 1000 L

Embalagem	Categoria de Impacto	Taxas de Reciclagem					
		0%	10%	50%	85%	100%	taxa atual*
PET	Efeito Fotoquímico	0,1107	0,0999	0,0570	0,0195	0,0034	0,0678
	Eutrofização	0,0009	0,0008	0,0005	0,0002	0,0000	0,0006
	Acidificação	0,0129	0,0117	0,0069	0,0027	0,0009	0,0081
	Aquecimento Global	0,0010	0,0009	0,0007	0,0004	0,0003	0,0007
Alumínio	Efeito Fotoquímico	0,0013	0,0013	0,0008	0,0008	0,0007	0,0010
	Eutrofização	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
	Acidificação	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
	Aquecimento Global	0,0028	0,0015	0,0015	0,0006	0,0002	0,0008
Vidro	Efeito Fotoquímico	0,0049	0,0049	0,0048	0,0048	0,0047	0,0049
	Eutrofização	0,0062	0,0058	0,0044	0,0031	0,0025	0,0053
	Acidificação	0,0052	0,0052	0,0050	0,0049	0,0048	0,0050
	Aquecimento Global	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023

*taxas atuais de reciclagem: PET=40%, Alumínio=80%, Vidro=25%

ANEXO IV

TABELAS DE QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA AS
DIVERSAS TAXAS DE RECICLAGEM

TABELA 11 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS PET COM TAXA DE RECICLAGEM DE 0%

Aspecto Ambiental	Material	Extração Petróleo (kg)	Refino Petróleo (kg)	Fabricação Resina (kg)	Fabricação Preformas (kg)	Produção Garrafa e Lavagem (kg)	Reciclagem (kg)	Rótulo (kg)	Tampa (kg)
RN	água	94,8750	43,3125	5,5400	1,9600	45,0000		0,2800	0,4560
	petróleo bruto	57,2921							
	energia*	1691,2500	2268,7500	189,0500	14,7000	160,0000		0,4817	2,4071
MPS	petróleo		74,6386						
	DMT			22,2800					
	MEG			10,5978					
	metanol		10,3950						
	óleo diesel	11,4180	9,9825	2,6225	1,0000	0,2341		0,0392	0,1070
	flocos resina				26,0000	28,8818		1,0241	1,7571
	garrafa								
EA	MP	0,0986	0,3288	0,0138	0,0280	0,0043		0,0002	0,0010
	CO ₂	0,4117	1,1843	0,3058	1,7225	2,0163		0,0184	0,0255
	CO	0,2611	0,5074	0,0150	0,0425	0,0455		0,0010	0,0011
	SO ₂	0,2244	0,6023	0,0072	0,0051	0,0088		0,0001	0,0002
	NO _x	0,1679	0,5643	0,0145	0,0563	0,0588		0,0005	0,0014
	HCl			0,0000		0,0001		0,0000	0,0000
	HC	0,6183	1,1839	0,0083	0,0118	0,0138		0,0001	0,0004
	VOC	0,1073	1,8224						0,1008
EL	metanol			6,3000					
	NH ₃	0,0257	0,0740	0,0034	0,0031			0,0000	0,0000
	DQO	0,4785	0,1007	0,0010	0,0000	0,0045		0,0000	0,0000
	água efluente	95,6505	50,5230	5,5400	1,9600	45,0000		0,2920	0,4677
	água reação			2,5500					
RS	cinzas			0,0915		0,0235		0,0013	0,0225
	industrial	4,1597	18,5864	0,5733	0,0330	1,1693		0,0113	0,1936
	mineral	18,4982	20,2993						
	inerte	2,1120	1,4025	0,6165	0,1200	0,7758		0,0184	0,0809

* unidade de energia em MJ RN – recurso natural, MPS – matéria-prima secundária, EA – emissão Atmosférica, EL – efluente líquido, RS – resíduo sólido

TABELA 12 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS PET COM TAXA DE RECICLAGEM DE 10%

Aspecto Ambiental	Material	Extração Petróleo (kg)	Refino Petróleo (kg)	Fabricação Resina (kg)	Fabricação Preformas (kg)	Produção Garrafa e Lavagem (kg)	Reciclagem (kg)	Rótulo (kg)	Tampa (kg)
RN	água	85,3875	38,9813	4,9860	1,9600	45,0000	3,7500	0,2800	0,4560
	petróleo bruto	51,5629							
	energia*	1522,1250	2041,8750	170,1450	14,7000	160,0000	25,4500	0,4817	2,4071
MPS	petróleo		67,1747						
	DMT			20,0520					
	MEG			9,5380					
	metanol		9,3555						
	óleo diesel	10,2762	8,9843	2,3603	1,0000	0,2341	0,0240	0,0392	0,1070
	flocos resina				26,0000	28,8818		1,0241	1,7571
	garrafa						2,8500		
	MP	0,0887	0,2959	0,0124	0,0280	0,0043	0,0002	0,0002	0,0010
EA	CO ₂	0,3705	1,0659	0,2752	1,7225	2,0163	0,0122	0,0184	0,0255
	CO	0,2350	0,4566	0,0135	0,0425	0,0455	0,0002	0,0010	0,0011
	SO ₂	0,2020	0,5420	0,0065	0,0051	0,0088	0,0000	0,0001	0,0002
	NO _x	0,1511	0,5079	0,0131	0,0563	0,0588	0,0003	0,0005	0,0014
	HCl			0,0000		0,0001		0,0000	0,0000
	HC	0,5565	1,0655	0,0075	0,0118	0,0138	0,0001	0,0001	0,0004
	VOC	0,0965	1,6402						0,1008
	metanol			5,6700					
EL	NH ₃	0,0231	0,0666	0,0031	0,0031			0,0000	0,0000
	DQO	0,4307	0,0906	0,0009	0,0000	0,0045	0,0011	0,0000	0,0000
	água efluente	86,0855	45,4707	4,9860	1,9600	45,0000	3,7500	0,2920	0,4677
	água reação			2,2950					
	cinzas			0,0824		0,0235	0,0023	0,0013	0,0225
RS	industrial	3,7437	16,7278	0,5159	0,0330	1,1693	0,0354	0,0113	0,1936
	mineral	16,6483	18,2694						
	inerte	1,9008	1,2623	0,5549	0,1200	0,7758	0,3234	0,0184	0,0809

* unidade de energia em MJ RN – recurso natural, MPS – matéria-prima secundária, EA – emissão Atmosférica, EL – efluente líquido, RS – resíduo sólido

TABELA 13 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS PET COM TAXA DE RECICLAGEM DE 50%

Aspecto Ambiental	Material	Extração Petróleo (kg)	Refino Petróleo (kg)	Fabricação Resina (kg)	Fabricação Preformas (kg)	Produção Garrafa e Lavagem (kg)	Reciclagem (kg)	Rótulo (kg)	Tampa (kg)
RN	água	47,4375	21,6563	2,7700	1,9600	45,0000	18,7500	0,2800	0,4560
	petróleo bruto	28,6461							
	energia*	845,6250	1134,3750	94,5250	14,7000	160,0000	127,2500	0,4817	2,4071
MPS	petróleo		37,3193						
	DMT			11,1400					
	MEG			5,2989					
	metanol		5,1975						
	óleo diesel	5,7090	4,9913	1,3113	1,0000	0,2341	0,1202	0,0392	0,1070
	flocos resina garrafa				26,0000	28,8818		1,0241	1,7571
EA	MP	0,0493	0,1644	0,0069	0,0280	0,0043	0,0008	0,0002	0,0010
	CO ₂	0,2058	0,5921	0,1529	1,7225	2,0163	0,0610	0,0184	0,0255
	CO	0,1306	0,2537	0,0075	0,0425	0,0455	0,0012	0,0010	0,0011
	SO ₂	0,1122	0,3011	0,0036	0,0051	0,0088	0,0002	0,0001	0,0002
	NO _x	0,0839	0,2822	0,0073	0,0563	0,0588	0,0017	0,0005	0,0014
	HCl			0,0000		0,0001		0,0000	0,0000
	HC	0,3092	0,5919	0,0042	0,0118	0,0138	0,0004	0,0001	0,0004
	VOC	0,0536	0,9112						0,1008
EL	metanol			3,1500					
	NH ₃	0,0128	0,0370	0,0017	0,0031			0,0000	0,0000
	DQO	0,2393	0,0503	0,0005	0,0000	0,0045	0,0056	0,0000	0,0000
	água efluente	47,8253	25,2615	2,7700	1,9600	45,0000	18,7500	0,2920	0,4677
	água reação			1,2750					
RS	cinzas industrial	2,0798	9,2932	0,2866	0,0330	1,1693	0,1768	0,0113	0,1936
	mineral	9,2491	10,1497						
	inerte	1,0560	0,7013	0,3083	0,1200	0,7758	1,6169	0,0184	0,0809

* unidade de energia em MJ RN – recurso natural, MPS – matéria-prima secundária, EA – emissão Atmosférica, EL – efluente líquido, RS – resíduo sólido

TABELA 14 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS PET COM TAXA DE RECICLAGEM DE 85%

Aspecto Ambiental	Material	Extração Petróleo (kg)	Refino Petróleo (kg)	Fabricação Resina (kg)	Fabricação Preformas (kg)	Produção Garrafa e Lavagem (kg)	Reciclagem (kg)	Rótulo (kg)	Tampa (kg)
RN	água	14,2313	6,4969	0,8310	1,9600	45,0000	31,8750	0,2800	0,4560
	petróleo bruto	8,5938							
	energia*	253,6875	340,3125	28,3575	14,7000	160,0000	216,3250	0,4817	2,4071
MPS	petróleo		11,1958						
	DMT			3,3420					
	MEG			1,5897					
	metanol		1,5593						
	óleo diesel	1,7127	1,4974	0,3934	1,0000	0,2341	0,2043	0,0392	0,1070
	flocos resina				26,0000	28,8818		1,0241	1,7571
	garrafa						24,2250		
EA	MP	0,0148	0,0493	0,0021	0,0280	0,0043	0,0014	0,0002	0,0010
	CO ₂	0,0618	0,1776	0,0459	1,7225	2,0163	0,1037	0,0184	0,0255
	CO	0,0392	0,0761	0,0023	0,0425	0,0455	0,0020	0,0010	0,0011
	SO ₂	0,0337	0,0903	0,0011	0,0051	0,0088	0,0003	0,0001	0,0002
	NO _x	0,0252	0,0846	0,0022	0,0563	0,0588	0,0029	0,0005	0,0014
	HCl			0,0000		0,0001		0,0000	0,0000
	HC	0,0928	0,1776	0,0012	0,0118	0,0138	0,0007	0,0001	0,0004
	VOC	0,0161	0,2734						0,1008
EL	metanol			0,9450					
	NH ₃	0,0039	0,0111	0,0005	0,0031			0,0000	0,0000
	DQO	0,0718	0,0151	0,0001	0,0000	0,0045	0,0096	0,0000	0,0000
	água efluente	14,3476	7,5785	0,8310	1,9600	45,0000	31,8750	0,2920	0,4677
	água reação			0,3825					
RS	cinzas			0,0137		0,0235	0,0191	0,0013	0,0225
	industrial	0,6239	2,7880	0,0860	0,0330	1,1693	0,3005	0,0113	0,1936
	mineral	2,7747	3,0449						
	inerte	0,3168	0,2104	0,0925	0,1200	0,7758	2,7488	0,0184	0,0809

* unidade de energia em MJ RN – recurso natural, MPS – matéria-prima secundária, EA – emissão Atmosférica, EL – efluente líquido, RS – resíduo sólido

TABELA 15 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS PET COM TAXA DE RECICLAGEM DE 100%

Aspecto Ambiental	Material	Extração Petróleo (kg)	Refino Petróleo (kg)	Fabricação Resina (kg)	Fabricação Preformas (kg)	Produção Garrafa e Lavagem (kg)	Reciclagem (kg)	Rótulo (kg)	Tampa (kg)
RN	água				1,9600	45,0000	37,5000	0,2800	0,4560
	petróleo bruto energia*				14,7000	160,0000	254,5000	0,4817	2,4071
MPS	petróleo								
	DMT								
	MEG								
	metanol								
EA	óleo diesel				1,0000	0,2341	0,2404	0,0392	0,1070
	flocos resina				26,0000	28,8818		1,0241	1,7571
	garrafa						28,5000		
EA	MP				0,0280	0,0043	0,0017	0,0002	0,0010
	CO ₂				1,7225	2,0163	0,1220	0,0184	0,0255
	CO				0,0425	0,0455	0,0023	0,0010	0,0011
	SO ₂				0,0051	0,0088	0,0004	0,0001	0,0002
	NO _x				0,0563	0,0588	0,0034	0,0005	0,0014
	HCl					0,0001		0,0000	0,0000
	HC				0,0118	0,0138	0,0008	0,0001	0,0004
	VOC								0,1008
EL	metanol								
	NH ₃				0,0031			0,0000	0,0000
	DQO				0,0000	0,0045	0,0113	0,0000	0,0000
	água efluente				1,9600	45,0000	37,5000	0,2920	0,4677
RS	água reação								
	cinzas industrial				0,0330	1,1693	0,3535	0,0113	0,1936
	mineral inerte				0,1200	0,7758	3,2338	0,0184	0,0809

* unidade de energia em MJ RN – recurso natural, MPS – matéria-prima secundária, EA – emissão Atmosférica, EL – efluente líquido, RS – resíduo sólido

TABELA 16 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA LATAS DE ALUMÍNIO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 0%

continua

Aspecto Ambiental	Material	Extração Bauxita/ Produção Alumina (kg)	Eletrólise/ Fundição (kg)	Laminação (kg)	Produção de Latas (kg)	Lavagem (kg)	Reciclagem (kg)
RN	água	16,8440	5,0278	0,1119		122,4900	
	vapor	9,8958					
	bauxita	194,8000					
	carbono (eletrodo)		10,9665				
	carvão (cuba)		0,0980				
	Mg		0,0612				
	sal	0,1862					
	criolita		5,1446				
energia*	9794,5441	6002,0100	428,7150	244,9800	50,9558		
MPS	alumina		77,9853				
	NaOH	10,9088					
	lingotes			44,9130			
	lâminas				47,0435		
	latas					42,1366	
	óleo combustível	10,1296	9,3092	0,1315	0,0682		
	floculante	0,0779					
	óleo diesel	0,4539	1,1802	0,8711	1,5270	0,4203	
	aço (cuba)		0,0402				
	Al(OH) ₃		0,0771				
	AlF ₃		1,2249				
	H ₂ SO ₄		0,1937				
	Coque		5,3896				
	químicos lavagem					0,0060	
	cloreto				0,0002		
	resina					0,4083	
tinta					0,1837		
verniz					0,2246		
EA	butanol				0,0003		
	butilglicol				0,0004		

TABELA 50 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA LATAS DE ALUMÍNIO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 0%

Aspecto Ambiental	Material	Extração Bauxita/ Produção Alumina (kg)	Eletrólise/ Fundição (kg)	Laminação (kg)	Produção de Latas (kg)	Lavagem (kg)	conclusão
							Reciclagem (kg)
EA	C ₂ F ₆		0,0003				
	CF ₄		0,0024				
	CO	0,0273	0,4177	0,0075	0,0474	0,0103	
	CO ₂	0,1286	33,6848	0,6655	1,3351	0,2123	
	HC	0,0008	0,0010	0,0033	0,0066	0,0011	
	HF		0,0063		0,0117		
	NO _x	0,0003	0,0010	0,0174	0,0213	0,0050	
	MP	1,2311	0,0026	0,0088	0,0171	0,0028	
	SO ₂	0,0003	0,0005	0,0017	0,0033	0,0005	
	tinta pintura				0,0015		
VOC	0,0021	0,0001	0,0003	0,0002			
EL	água efluente	26,7398	5,0278	0,1119		122,4900	
	DBO	0,0005			0,0004		
	NH ₃	0,0115	0,0042		0,0022		
	DQO	0,1340	0,0392		0,0007	0,0367	
RS	cinzas		3,3481				
	inerte mineral	3,9739		0,9391	2,2048		
	industrial	0,9350	5,2262				
		131,6848	27,6827	3,4424	4,9784	1,4948	

* unidade de energia em MJ RN – recurso natural, MPS – matéria-prima secundária, EA – emissão Atmosférica, EL – efluente líquido, RS – resíduo sólido

TABELA 17 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA LATAS DE ALUMÍNIO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 10%

continua

Aspecto Ambiental	Material	Extração Bauxita/ Produção Alumina (kg)	Eletrólise/ Fundição (kg)	Laminação (kg)	Produção de Latas (kg)	Lavagem (kg)	Reciclagem (kg)
RN	água	15,1596	4,5250	0,1119		122,4900	
	vapor	8,9063					
	bauxita	175,3200					
	carbono (eletrodo)		9,8699				
	carvão (cuba)		0,0882				
	Mg		0,0551				
	sal	0,1676					
	criolita		4,6301				
	energia*	8815,0896	5401,8090	428,7150	244,9800	50,9558	55,7330
MPS	alumina		70,1868				
	NaOH	9,8179					
	lingotes			44,9130			
	lâminas				47,0435		
	latas					42,1366	4,5850
	óleo combustível	9,1166	8,3783	0,1315	0,0682		
	floculante	0,0701					
	óleo diesel	0,4085	1,0622	0,8711	1,5270	0,4203	0,1096
	aço (cuba)		0,0362				
	Al(OH) ₃		0,0694				
	AlF ₃		1,1024				
	H ₂ SO ₄		0,1743				
	coque		4,8506				
	químicos lavagem					0,0060	
	cloreto				0,0002		
	resina					0,4083	
	tinta					0,1837	
verniz					0,2246		
EA	butanol				0,0003		
	butilglicol				0,0004		

TABELA 51 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA LATAS DE ALUMÍNIO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 10%

Aspecto Ambiental	Material	Extração Bauxita/ Produção Alumina (kg)	Eletrólise/ Fundição (kg)	Laminação (kg)	Produção de Latas (kg)	Lavagem (kg)	conclusão
							Reciclagem (kg)
EA	C ₂ F ₆		0,0003				
	CF ₄		0,0021				
	CO	0,0245	0,3760	0,0075	0,0474	0,0103	0,0026
	CO ₂	0,1157	30,3163	0,6655	1,3351	0,2123	0,0776
	HC	0,0007	0,0009	0,0033	0,0066	0,0011	0,0004
	HF		0,0057		0,0117		
	NO _x	0,0003	0,0009	0,0174	0,0213	0,0050	0,0020
	MP	1,1080	0,0023	0,0088	0,0171	0,0028	0,0010
	SO ₂	0,0003	0,0005	0,0017	0,0033	0,0005	0,0002
	tinta pintura				0,0015		
VOC	0,0019	0,0001	0,0003	0,0002		0,0001	
EL	água efluente	24,0658	4,5250	0,1119		122,4900	
	DBO	0,0004			0,0004		0,0000
	NH ₃	0,0104	0,0038		0,0022		
	DQO	0,1206	0,0353		0,0007	0,0367	
RS	cinzas		3,0133				0,1186
	inerte mineral	3,5765		0,9391	2,2048		0,1735
	industrial	0,8415	4,7036				
		118,5163	24,9145	3,4424	4,9784	1,4948	0,2356

* unidade de energia em MJ RN – recurso natural, MPS – matéria-prima secundária, EA – emissão Atmosférica, EL – efluente líquido, RS – resíduo sólido

TABELA 18 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA LATAS DE ALUMÍNIO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 50%

continua

Aspecto Ambiental	Material	Extração Bauxita/ Produção Alumina (kg)	Eletrólise/ Fundição (kg)	Laminação (kg)	Produção de Latas (kg)	Lavagem (kg)	Reciclagem (kg)
RN	água	8,4220	2,5139	0,1119		122,4900	
	vapor	4,9479					
	bauxita	97,4000					
	carbono (eletrodo)		5,4833				
	carvão (cuba)		0,0490				
	Mg		0,0306				
	sal	0,0931					
	criolita		2,5723				
energia*	4897,2720	3001,0050	428,7150	244,9800	50,9558	278,6648	
MPS	alumina		38,9927				
	NaOH	5,4544					
	lingotes			44,9130			
	lâminas				47,0435		
	latas					42,1366	22,9250
	óleo combustível	5,0648	4,6546	0,1315	0,0682		
	floculante	0,0390					
	óleo diesel	0,2269	0,5901	0,8711	1,5270	0,4203	0,5479
	aço (cuba)		0,0201				
	AlOH ₃		0,0385				
	AlF ₂		0,6125				
	H ₂ SO ₄		0,0968				
	Coque		2,6948				
	químicos lavagem					0,0060	
	cloreto				0,0002		
	resina					0,4083	
tinta					0,1837		
verniz					0,2246		
EA	butanol				0,0003		
	butilglicol				0,0004		

TABELA 52 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA LATAS DE ALUMÍNIO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 50%

Aspecto Ambiental	Material	Extração Bauxita/ Produção Alumina (kg)	Eletrólise/ Fundição (kg)	Laminação (kg)	Produção de Latas (kg)	Lavagem (kg)	conclusão
							Reciclagem (kg)
EA	C ₂ F ₆		0,0001				
	CF ₄		0,0012				
	CO	0,0136	0,2089	0,0075	0,0474	0,0103	0,0130
	CO ₂	0,0643	16,8424	0,6655	1,3351	0,2123	0,3879
	HC	0,0004	0,0005	0,0033	0,0066	0,0011	0,0019
	HF		0,0032		0,0117		
	NO _x	0,0002	0,0005	0,0174	0,0213	0,0050	0,0100
	MP	0,6156	0,0013	0,0088	0,0171	0,0028	0,0051
	SO ₂	0,0002	0,0003	0,0017	0,0033	0,0005	0,0010
	tinta pintura				0,0015		
	VOC	0,0010	0,0001	0,0003	0,0002		0,0004
EL	água efluente	13,3699	2,5139	0,1119		122,4900	
	DBO	0,0002			0,0004		0,0000
	NH ₃	0,0058	0,0021		0,0022		
	DQO	0,0670	0,0196		0,0007	0,0367	
RS	cinzas		1,6740				0,5931
	inerte mineral	1,9870	2,6131	0,9391	2,2048		0,8676
	industrial	65,8424		3,4424	4,9784	1,4948	1,1779

* unidade de energia em MJ RN – recurso natural, MPS – matéria-prima secundária, EA – emissão Atmosférica, EL – efluente líquido, RS – resíduo sólido

TABELA 19 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA LATAS DE ALUMÍNIO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 85%

continua

Aspecto Ambiental	Material	Extração Bauxita/ Produção Alumina (kg)	Eletrólise/ Fundição (kg)	Laminação (kg)	Produção de Latas (kg)	Lavagem (kg)	Reciclagem (kg)
RN	água	2,5266	0,7542	0,1119		122,4900	
	vapor	1,4844					
	bauxita	29,2200					
	carbono (eletrodo)		1,6450				
	carvão (cuba)		0,0147				
	Mg		0,0092				
	sal	0,0279					
	criolita		0,7717				
	energia*	1469,1816	900,3015	428,7150	244,9800	50,9558	473,7301
MPS	alumina		11,6978				
	NaOH	1,6363					
	lingotes			44,9130			
	lâminas				47,0435		
	latas					42,1366	38,9725
	óleo combustível	1,5194	1,3964	0,1315	0,0682		
	floculante	0,0117					
	óleo diesel	0,0681	0,1770	0,8711	1,5270	0,4203	0,9315
	aço (cuba)		0,0060				
	AlOH ₃		0,0116				
	AlF ₂		0,1837				
	H ₂ SO ₄		0,0291				
	coque		0,8084				
	químicos lavagem					0,0060	
	cloreto				0,0002		
	resina					0,4083	
	tinta					0,1837	
verniz					0,2246		
EA	butanol				0,0003		
	butilglicol				0,0004		

TABELA 53 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA LATAS DE ALUMÍNIO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 85%

Aspecto Ambiental	Material	Extração Bauxita/ Produção Alumina (kg)	Eletrólise/ Fundição (kg)	Laminação (kg)	Produção de Latas (kg)	Lavagem (kg)	conclusão
							Reciclagem (kg)
EA	C ₂ F ₆		0,0000				
	CF ₄		0,0004				
	CO	0,0041	0,0627	0,0075	0,0474	0,0103	0,0221
	CO ₂	0,0193	5,0527	0,6655	1,3351	0,2123	0,6594
	HC	0,0001	0,0002	0,0033	0,0066	0,0011	0,0033
	HF		0,0009		0,0117		
	NO _x	0,0001	0,0001	0,0174	0,0213	0,0050	0,0169
	MP	0,1847	0,0004	0,0088	0,0171	0,0028	0,0087
	SO ₂	0,0000	0,0001	0,0017	0,0033	0,0005	0,0016
	tinta pintura				0,0015		
	VOC	0,0003	0,0000	0,0003	0,0002		0,0007
EL	água efluente	4,0110	0,7542	0,1119		122,4900	
	DBO	0,0001			0,0004		0,0001
	NH ₃	0,0017	0,0006		0,0022		
	DQO	0,0201	0,0059		0,0007	0,0367	
RS	cinzas		0,5022				1,0082
	inerte mineral	0,5961		0,9391	2,2048		1,4750
	industrial	0,1403	0,7839				
		19,7527	4,1524	3,4424	4,9784	1,4948	2,0025

* unidade de energia em MJ RN – recurso natural, MPS – matéria-prima secundária, EA – emissão Atmosférica, EL – efluente líquido, RS – resíduo sólido

TABELA 20 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA LATAS DE ALUMÍNIO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 100%

continua

Aspecto Ambiental	Material	Extração Bauxita/ Produção Alumina (kg)	Eletrólise/ Fundição (kg)	Laminação (kg)	Produção de Latas (kg)	Lavagem (kg)	Reciclagem (kg)
RN	água			0,1119		122,4900	
	vapor						
	bauxita						
	carbono (eletrodo)						
	carvão (cuba)						
	Mg						
	sal						
	criolita						
	energia*			428,7150	244,9800	50,9558	557,3295
MPS	alumina						
	NaOH						
	lingotes			44,9130			
	lâminas				47,0435		
	latas					42,1366	45,8500
	óleo combustível			0,1315	0,0682		
	floculante						
	óleo diesel			0,8711	1,5270	0,4203	1,0959
	aço (cuba)						
	AlOH ₃						
	AlF ₂						
	H ₂ SO ₄						
	Coque						
	químicos lavagem					0,0060	
	cloreto				0,0002		
resina					0,4083		
tinta					0,1837		
verniz					0,2246		
EA	butanol				0,0003		
	butilglicol				0,0004		

TABELA 54 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA LATAS DE ALUMÍNIO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 100%

Aspecto Ambiental	Material	Extração Bauxita/ Produção Alumina (kg)	Eletrólise/ Fundição (kg)	Laminação (kg)	Produção de Latas (kg)	Lavagem (kg)	conclusão
							Reciclagem (kg)
EA	C ₂ F ₆						
	CF ₄						
	CO			0,0075	0,0474	0,0103	0,0260
	CO ₂			0,6655	1,3351	0,2123	0,7758
	HC			0,0033	0,0066	0,0011	0,0039
	HF				0,0117		
	NO _x			0,0174	0,0213	0,0050	0,0199
	MP			0,0088	0,0171	0,0028	0,0102
	SO ₂			0,0017	0,0033	0,0005	0,0019
	tinta pintura				0,0015		
VOC			0,0003	0,0002		0,0008	
EL	água efluente			0,1119		122,4900	
	DBO				0,0004		0,0001
	NH ₃				0,0022		
	DQO				0,0007	0,0367	
RS	cinzas						1,1861
	inerte mineral			0,9391	2,2048		1,7353
	industrial			3,4424	4,9784	1,4948	2,3559

* unidade de energia em MJ

RN – recurso natural, MPS – matéria-prima secundária, EA – emissão Atmosférica, EL – efluente líquido, RS – resíduo sólido

TABELA 21 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS DE VIDRO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 0%

continua

Aspecto Ambiental	Material	Fabricação Vidro (kg)	Produção Garrafa (kg)	Lavagem (kg)	Tampa (kg)	Reciclagem (kg)
RN	água	6,7251	5,9527	559,3140	0,3930	
	areia	47,4118				
	barrilha	5,4600				
	calcário	4,7076				
	minério					8,6205
	dolomita	5,7163				
	lenha		0,6925			
	feldspato	9,4151				
energia*	2530,2300	54,5997	2029,5108	10,0162		
MPS	PVC				1,0755	
	barrilha/calcário/dolomita/ feldspato extraídos		73,2435			
	garrafa			1331,7000		
	GLP	0,1591	0,3462			
	metais	0,0002				
	óleo cru	0,6725				
	óxido de cromo					0,1032
	verniz/tinta					0,1668
	óleo diesel	1,5754	2,5136	12,5979	1,8294	
	garrafa e vidro quebrado					
	NaCl	3,0463				
NaOH	14,5954					
EA	CO	0,0598	0,0579	1,1959	0,0423	
	CO ₂	0,5507	1,8710	23,9972	1,2890	
	HCl	0,0007				
	N ₂ O	0,0000				
	NH ₃	0,0021				
	VOC	0,0047				0,0005

TABELA 55 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS DE VIDRO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 0%

Aspecto Ambiental	Material	conclusão				
		Fabricação Vidro (kg)	Produção Garrafa (kg)	Lavagem (kg)	Tampa (kg)	Reciclagem (kg)
EA	NO ₂		0,0051			
	NO _x	0,0503	0,0162	0,6556	0,0351	
	MP	1,3417	0,0078	0,1412	0,0546	
	SO ₂	0,0087	0,0053	0,0273	0,0106	
	HC	0,0027	0,0093	0,0561	0,0067	
EL	água efluente	6,7251	5,9527	559,3140	0,3930	
	NaOH	0,0366				
	NH ₃	0,7191				
	DQO	0,2476	0,0000		0,0046	
RS	cinzas industrial	3,1728				
	mineral	16,9126	8,2093		1,5106	
	inerte	0,6792			0,6158	
		2,2373				

* unidade de energia em MJ RN – recurso natural, MPS – matéria-prima secundária, EA – emissão Atmosférica, EL – efluente líquido, RS – resíduo sólido

TABELA 22 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS DE VIDRO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 10%

							continua
Aspecto Ambiental	Material	Fabricação Vidro (kg)	Produção Garrafa (kg)	Lavagem (kg)	Tampa (kg)	Reciclagem (kg)	
RN	água	6,0526	5,9527	559,3140	0,3930	1,9629	
	areia	42,6707					
	barrilha	4,9140					
	calcário	4,2368					
	minério				8,6205		
	dolomita	5,1447					
	lenha		0,6925			0,1848	
	feldspato	8,4736					
	energia*	2277,2070	54,5997	2029,5108	10,0162	113,8604	
MPS	PVC				1,0755		
	barrilha/calcário/dolomita/ feldspato extraídos		73,2435				
	garrafa			1331,7000			
	GLP	0,1432	0,3462				
	metais	0,0002					
	óleo cru	0,6053				0,0166	
	óxido de cromo				0,1032		
	verniz/tinta				0,1668		
	óleo diesel	1,4179	2,5136	12,5979	1,8294	0,0695	
	garrafa e vidro quebrado					7,0047	
	NaCl	2,7416				0,0645	
NaOH	13,1359						
EA	CO	0,0538	0,0579	1,1959	0,0423	0,0019	
	CO ₂	0,4956	1,8710	23,9972	1,2890	0,0357	
	HCl	0,0006				0,0000	
	N ₂ O	0,0000				0,0000	
	NH ₃	0,0019				0,0000	
	VOC	0,0042			0,0005	0,0002	

TABELA 56 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS DE VIDRO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 10%

Aspecto Ambiental	Material	Fabricação Vidro (kg)	Produção Garrafa (kg)	Lavagem (kg)	Tampa (kg)	conclusão
						Reciclagem (kg)
EA	NO ₂		0,0051			0,0001
	NO _x	0,0453	0,0162	0,6556	0,0351	0,0008
	MP	1,2075	0,0078	0,1412	0,0546	0,0071
	SO ₂	0,0078	0,0053	0,0273	0,0106	0,0001
	HC	0,0025	0,0093	0,0561	0,0067	0,0002
EL	água efluente	6,0526	5,9527	559,3140	0,3930	1,9629
	NaOH	0,0330				
	NH ₃	0,6472				0,0291
	DQO	0,2228	0,0000		0,0046	0,0052
RS	cinzas industrial	2,8555				0,0033
	mineral	15,2213	8,2093		1,5106	0,5775
	inerte	0,6113			0,6158	0,0204
		2,0135				

* unidade de energia em MJ RN – recurso natural, MPS – matéria-prima secundária, EA – emissão Atmosférica, EL – efluente líquido, RS – resíduo sólido

TABELA 23 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS DE VIDRO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 50%

continua

Aspecto Ambiental	Material	Fabricação Vidro (kg)	Produção Garrafa (kg)	Lavagem (kg)	Tampa (kg)	Reciclagem (kg)
RN	água	3,3625	5,9527	559,3140	0,3930	9,8146
	areia	23,7059				
	barrilha	2,7300				
	calcário	2,3538				
	minério				8,6205	
	dolomita	2,8582				
	lenha		0,6925			0,9242
	feldspato	4,7076				
energia*	1265,1150	54,5997	2029,5108	10,0162	569,3018	
MPS	PVC				1,0755	
	barrilha/calcário/dolomita/ feldspato extraídos		73,2435			
	garrafa			1331,7000		
	GLP	0,0796	0,3462			
	metais	0,0001				
	óleo cru	0,3363				0,0829
	óxido de cromo				0,1032	
	verniz/tinta				0,1668	
	óleo diesel	0,7877	2,5136	12,5979	1,8294	0,3476
	garrafa e vidro quebrado					35,0237
	NaCl	1,5231				0,3226
NaOH	7,2977					
EA	CO	0,0299	0,0579	1,1959	0,0423	0,0095
	CO ₂	0,2753	1,8710	23,9972	1,2890	0,1784
	HCl	0,0003				0,0000
	N ₂ O	0,0000				0,0000
	NH ₃	0,0010				0,0002
	VOC	0,0023			0,0005	0,0011

TABELA 57 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS DE VIDRO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 50%

Aspecto Ambiental	Material	Fabricação Vidro (kg)	Produção Garrafa (kg)	Lavagem (kg)	Tampa (kg)	conclusão
						Reciclagem (kg)
EA	NO ₂		0,0051			0,0006
	NO _x	0,0251	0,0162	0,6556	0,0351	0,0041
	MP	0,6708	0,0078	0,1412	0,0546	0,0356
	SO ₂	0,0043	0,0053	0,0273	0,0106	0,0004
	HC	0,0014	0,0093	0,0561	0,0067	0,0009
EL	água efluente	3,3625	5,9527	559,3140	0,3930	9,8146
	NaOH	0,0183				
	NH ₃	0,3596				0,1455
	DQO	0,1238	0,0000		0,0046	0,0262
RS	cinzas industrial	1,5864				0,0163
	mineral	8,4563	8,2093		1,5106	2,8875
	inerte	0,3396			0,6158	0,1022
		1,1186				

* unidade de energia em MJ RN – recurso natural, MPS – matéria-prima secundária, EA – emissão Atmosférica, EL – efluente líquido, RS – resíduo sólido

TABELA 24 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS DE VIDRO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 85%

continua

Aspecto Ambiental	Material	Fabricação Vidro (kg)	Produção Garrafa (kg)	Lavagem (kg)	Tampa (kg)	Reciclagem (kg)
RN	água	1,0088	5,9527	559,3140	0,3930	16,6849
	areia	7,1118				
	barrilha	0,8190				
	calcário	0,7061				
	minério				8,6205	
	dolomita	0,8574				
	lenha		0,6925			1,5711
	feldspato	1,4123				
energia*	379,5345	54,5997	2029,5108	10,0162	967,8130	
MPS	PVC				1,0755	
	barrilha/calcário/dolomita/ feldspato extraídos		73,2435			
	garrafa			1331,7000		
	GLP	0,0239	0,3462			
	metais	0,0000				
	óleo cru	0,1009				0,1409
	óxido de cromo				0,1032	
	verniz/tinta				0,1668	
	óleo diesel	0,2363	2,5136	12,5979	1,8294	0,5909
	garrafa e vidro quebrado					59,5403
	NaCl	0,4569				0,5484
NaOH	2,1893					
EA	CO	0,0090	0,0579	1,1959	0,0423	0,0162
	CO ₂	0,0826	1,8710	23,9972	1,2890	0,3034
	HCl	0,0001				0,0000
	N ₂ O	0,0000				0,0000
	NH ₃	0,0003				0,0004
	VOC	0,0007			0,0005	0,0019

TABELA 58 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS DE VIDRO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 85%

Aspecto Ambiental	Material	Fabricação Vidro (kg)	Produção Garrafa (kg)	Lavagem (kg)	Tampa (kg)	conclusão
						Reciclagem (kg)
EA	NO ₂		0,0051			0,0010
	NO _x	0,0075	0,0162	0,6556	0,0351	0,0070
	MP	0,2013	0,0078	0,1412	0,0546	0,0606
	SO ₂	0,0013	0,0053	0,0273	0,0106	0,0008
	HC	0,0004	0,0093	0,0561	0,0067	0,0015
EL	água efluente	1,0088	5,9527	559,3140	0,3930	16,6849
	NaOH	0,0055				
	NH ₃	0,1079				0,2473
	DQO	0,0371	0,0000		0,0046	0,0446
RS	cinzas industrial	0,4759				0,0277
	mineral	2,5369	8,2093		1,5106	4,9087
	inerte	0,1019			0,6158	0,1738
		0,3356				

* unidade de energia em MJ RN – recurso natural, MPS – matéria-prima secundária, EA – emissão Atmosférica, EL – efluente líquido, RS – resíduo sólido

TABELA 25 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS DE VIDRO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 100%

continua

Aspecto Ambiental	Material	Fabricação Vidro (kg)	Produção Garrafa (kg)	Lavagem (kg)	Tampa (kg)	Reciclagem (kg)
RN	água		5,9527	559,3140	0,3930	19,6293
	areia					
	barrilha					
	calcário					
	minério				8,6205	
	dolomita					
	lenha		0,6925			1,8484
-----			54,5997	2029,5108	10,0162	1138,6035
MPS	PVC				1,0755	
	barrilha/calcário/dolomita/ feldspato extraídos		73,2435			
	garrafa			1331,7000		
	GLP		0,3462			
	metais					
	óleo cru					0,1658
	óxido de cromo				0,1032	
	verniz/tinta				0,1668	
	óleo diesel		2,5136	12,5979	1,8294	0,6951
	garrafa e vidro quebrado					70,0474
	NaCl					0,6452

EA	CO		0,0579	1,1959	0,0423	0,0190
	CO ₂		1,8710	23,9972	1,2890	0,3569
	HCl					0,0001
	N ₂ O					0,0000
	NH ₃					0,0004
	VOC				0,0005	0,0023

TABELA 59 – QUANTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS PARA GARRAFAS DE VIDRO COM TAXA DE RECICLAGEM DE 100%

Aspecto Ambiental	Material	Fabricação Vidro (kg)	Produção Garrafa (kg)	Lavagem (kg)	Tampa (kg)	conclusão
						Reciclagem (kg)
EA	NO ₂		0,0051			0,0012
	NO _x		0,0162	0,6556	0,0351	0,0082
	MP		0,0078	0,1412	0,0546	0,0712
	SO ₂		0,0053	0,0273	0,0106	0,0009
	HC		0,0093	0,0561	0,0067	0,0018
EL	água efluente		5,9527	559,3140	0,3930	19,6293
	NaOH					
	NH ₃					0,2910
	DQO		0,0000		0,0046	0,0525
RS	cinzas industrial		8,2093		1,5106	0,0326
	mineral					5,7749
	inerte				0,6158	0,2044

* unidade de energia em MJ RN – recurso natural, MPS – matéria-prima secundária, EA – emissão Atmosférica, EL – efluente líquido, RS – resíduo sólido

ANEXO V

**FORMULÁRIOS DE COLETAS DE DADOS PREENCHIDOS PELAS EMPRESAS
CONSULTADAS**

ATIVIDADE: Extração do petróleo			
PRODUTO: petróleo			
QUANTIDADE: 37.000 barris			
Balança de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Óleo diesel	1.950 L	Efluente líquido	12.406.790 m ³
Água	12.300.000 m ³	Perda de processo	540.123 kg
		Solo	2.395.794 kg
		Correias, plástico, mangueiras, papel, papelão	273.805 kg
Consumo de energia: 219.000.000 MJ			
Distância até a próxima etapa do processo: 10 km			
Tipo de transporte: tubovia			
Comentários:			

ATIVIDADE: Obtenção da Nafta			
PRODUTO: Nafta			
QUANTIDADE: 500 t			
Balanço de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Petróleo	6.473.967 kg	Perda processo	1.048.379 kg
Água	731.287 L	Resíduo destilação	1.452.187 kg
Óleo	199.667 L	Efluente líquido	1.114.111 L
		Outros produtos	3.040.915 kg
		Plásticos	95.130 kg
Consumo de energia: 38.304.891 MJ			
Distância até a próxima etapa do processo: 10 km			
Tipo de transporte: tubovia			
Comentários:			

ATIVIDADE: Obtenção do etileno e do p-xileno			
PRODUTO: etileno		p-xileno	
QUANTIDADE: 3.500t		3.200 t	
Balanço de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Nafta	17.804,2 t	Perda processo	1.618,5 t
Água	13.795,4 m ³	Outros produtos	9. 387,5 t
Óleo	373,3 L	Efluente Líquido	13.893,6 m ³
Consumo de energia: 722.604,5 MJ			
Distância até a próxima etapa do processo: 1 km			
Tipo de transporte: tubovia			
Comentários:			

ATIVIDADE: fabricação de DMT			
PRODUTO: DMT			
QUANTIDADE: 7.300 t			
Balança de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
p-xileno	3.220 t	Efluente líquido	1.361 m ³
Metanol	2.172 t	Perda de processo	160,6 t
Água	1.693 m ³		
Óleo	457,8 L		
Consumo de energia: 88.642,3 MJ			
Distância até a próxima etapa do processo: 1 km			
Tipo de transporte: tubovia			
Comentários:			

ATIVIDADE: fabricação MEG			
PRODUTO: MEG			
QUANTIDADE: 3.300 t			
Balança de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Etileno	3.466 kg	Perda de processo	166,74 kg
Água	960,7 m ³	Bombonas, plástico, papelão	18,11 kg
		Efluente Líquido	960,7 m ³
Consumo de energia: 50.321,5 MJ			
Distância até a próxima etapa do processo: 5 km			
Tipo de transporte: tubovia			
Comentários:			

ATIVIDADE: fabricação da resina			
PRODUTO: resina PET			
QUANTIDADE: 15 t			
Balança de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Água	4.500 L	Metanol	3.780 kg
DMT	14.190 kg	Efluente líquido	4.500 L
MEG	6.750 kg	Água de reação	1.530 kg
Óleo diesel	1853 L	Perdas de processo	343,5 kg
		Plástico, papelão	174,0 kg
		Cinzas	55,5 kg
Consumo de energia: 122.250 MJ			
Distância até a próxima etapa do processo: 0			
Tipo de transporte:			
Comentários:			

ATIVIDADE: fabricação da preforma			
PRODUTO: resina PET			
QUANTIDADE: 5 t			
Balança de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Água	392 L	Efluente líquido	392 L
Resina	5.204 kg	Perdas de processo	66 kg
Óleo diesel	23,5 L	Plástico, papelão	24 kg
Consumo de energia: 2.940 MJ			
Distância até a próxima etapa do processo: 1816 km			
Tipo de transporte: rodoviário			
Comentários:			

ATIVIDADE: fabricação de garrafas e lavagem			
PRODUTO: garrafa			
QUANTIDADE: 1.750 kg			
Balança de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Água	3,15 m ³	Efluente líquido	3,15 m ³
Óleo diesel	20 L	Cinzas	1,58 kg
Preformas	2.030 kg	Perdas de processo	24,7 kg
		Resíduo inerte	54,3 kg
Consumo de energia: 11.200 MJ			
Distância até a próxima etapa do processo: 100 km			
Tipo de transporte: rodoviário			
Comentários:			

ATIVIDADE: fabricação de rótulos			
PRODUTO: rótulos de PEBD			
QUANTIDADE: 4.000.000 rótulos			
Balança de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
água	2,24 m ³	Água efluente	2,33 m ³
Óleo diesel	360 L	cinzas	10,40 kg
Flocos de resina PEBD	8.160 kg	Perdas de processo	90,40 kg
		Plásticos e papelão	147,20 kg
Consumo de energia: 3.856 MJ			
Distância até a próxima etapa do processo: 400 km			
Tipo de transporte: rodoviário			
Comentários:			

ATIVIDADE: fabricação de tampas			
PRODUTO: tampas de PP			
QUANTIDADE: 3.000.000 tampas			
Balança de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
água	2,3 m ³	Água efluente	2,3 m ³
Óleo diesel	580 L	cinzas	113,8 kg
Flocos de resina PEBD	8.856 kg	Perdas de processo	979,2 kg
		Plásticos e papelão	409 kg
Consumo de energia: 12.168 MJ			
Distância até a próxima etapa do processo: 400 km			
Tipo de transporte: rodoviário			
Comentários:			

ATIVIDADE: reciclagem de garrafas			
PRODUTO: flocos de resina PET			
QUANTIDADE: 5.000 kg			
Balança de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Água	7,5 m ³	Cinzas	7,5 m ³
Óleo diesel	56,5 L	Perdas de processo	70,50 kg
Garrafas	2.700 kg	Plástico, tampas metálicas, resto alimentos, tampas PP	645 kg
Consumo de energia: 51.000 MJ			
Distância até a próxima etapa do processo: 100 km			
Tipo de transporte: rodoviário			
Comentários:			

ATIVIDADE: extração de bauxita			
PRODUTO: bauxita			
QUANTIDADE: 50 t			
Balança de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Oleo diesel	350 L	Resíduo mineral	160 kg
Consumo de energia:			
Distância até a próxima etapa do processo: 20 km			
Tipo de transporte: rodoviário			
Comentários:			

ATIVIDADE: produção alumina			
PRODUTO: alumina			
QUANTIDADE: 150 t			
Balanço de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Água	32,4 m ³	Resíduo mineral	550 kg
Vapor	19050 kg	Efluente líquido	51,45 m ³
Bauxita	375 t	lama	153,5 t
Soda	21000 kg		
Oleo combustível	23000 L		
Floculante	150 kg		
Sal	358,5 kg		
Consumo de energia elétrica: 1.890.000 MJ			
Distância até a próxima etapa do processo: 0			
Tipo de transporte:			
Comentários:			

ATIVIDADE: eletrólise e fundição			
PRODUTO: lingotes de alumínio			
QUANTIDADE: 260 t			
Balança de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Água	32 m ³	Água efluente	32 m ³
Alumina	496,6 t	Cinzas	21.320 kg
Carbono eletrodo	69,94 t	Perdas de processo	176.280 kg
Carvão cuba	624 kg	Resíduo mineral	33.280 kg
Criolita	32,76 t		
Oleo combustível	70.000 L		
Oleo diesel	8.840 L		
aço	256 kg		
AlF ₂	7.800 kg		
AlOH ₃	491,4 kg		
H ₂ SO ₄	1.233 kg		
Coque	59.280 kg		
Consumo de energia: 38.000.000 MJ			
Distância até a próxima etapa do processo: 0			
Tipo de transporte:			
Comentários:			

ATIVIDADE: laminação			
PRODUTO: chapas de alumínio			
QUANTIDADE: 50 t			
Balança de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Lingotes	55.000 kg	Efluente líquido	137 L
Água	137 L	Perdas de processo	4.215,50 kg
Oleo combustível	188 L	Papelão, fitas, plástico	1.150 kg
Consumo de energia: 525.000 MJ			
Distância até a próxima etapa do processo: 350 km			
Tipo de transporte: rodoviário			
Comentários:			

ATIVIDADE: produção de latas			
PRODUTO: latas			
QUANTIDADE: 300.000 unidades			
Balança de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Chapas de alumínio	5.175 kg	Perda processo	549 kg
Óleo combustível	9 L	Papel, papelão, plásticos	243,45 kg
Produtos químicos de limpeza	1 kg		
resina			
Óleo diesel	198 L		
Tinta	20,25 kg		
Resina	24,75 kg		
Consumo de energia: 27.000 MJ			
Distância até a próxima etapa do processo: 400 km			
Tipo de transporte: rodoviário			
Comentários:			

ATIVIDADE: lavagem latas			
PRODUTO: latas			
QUANTIDADE: 25.000 latas			
Balança de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Latas	386,25 kg	Efluente líquido	1.125 L
Água	1.125 L	Perda proceso	96,27 kg
Oleo diesel	2,5 L		
Consumo de energia elétrica: 3.570 MJ			
Distância até a próxima etapa do processo: 100 km			
Tipo de transporte: rodoviário			
Comentários:			

ATIVIDADE: reciclagem latas de alumínio			
PRODUTO: lingotes de alumínio			
QUANTIDADE: 50 t			
Balança de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Latas usadas	56.000 kg	cinzas	1.455 kg
Oleo diesel	1.500 L	Plástico, papel, separados das latas	2.125 kg
		Refugo processo	2.885 kg
Consumo de energia elétrica: 68.500 MJ			
Distância até a próxima etapa do processo: 400 km			
Tipo de transporte:			
Comentários:			

ATIVIDADE: Extração de areia			
PRODUTO: areia			
QUANTIDADE: 280 t			
Balança de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Oleo diesel	1.950 L	Resíduo mineral	308 kg
Consumo de energia:			
Distância até a próxima etapa do processo: 400 km			
Tipo de transporte:ferroviário			
Comentários:			

ATIVIDADE: Extração de Calcário			
PRODUTO: calcário			
QUANTIDADE: 202 t			
Balança de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Oleo diesel	1.400 L	Resíduo mineral	245 kg
Consumo de energia:			
Distância até a próxima etapa do processo: 400 km			
Tipo de transporte: ferroviário			
Comentários:			

ATIVIDADE: Extração de feldspato			
PRODUTO: feldspato			
QUANTIDADE: 135 t			
Balança de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Oleo diesel	937 L	Resíduo mineral	115 kg
Consumo de energia:			
Distância até a próxima etapa do processo: 450 km			
Tipo de transporte: ferroviário			
Comentários:			

ATIVIDADE: Extração de dolomita			
PRODUTO: dolomita			
QUANTIDADE: 214 t			
Balança de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Oleo diesel	1.490 L	Resíduo mineral	192 kg
Consumo de energia:			
Distância até a próxima etapa do processo: 390 km			
Tipo de transporte: ferroviário			
Comentários:			

ATIVIDADE: Fabricação de vidro			
PRODUTO: massa de vidro			
QUANTIDADE: 40 t			
Balança de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Água	4 m ³	Efluente líquido	4 m ³
Areia	28.200 kg	cinzas	1.908 kg
Barrilha	6.330 kg	Perda de processo	4.960 kg
Calcário	2.800 kg	Bombonas, papelão, embalagens	1.340 kg
Dolomita	3.400 kg		
Feldspato	5.600 kg		
GLP	95,60kg		
Metais	0,12kg		
Oleo combustível	40,4 L		
NaCl	1.890 L		
NaOH	8.856 L		
Consumo de energia: 1.400.000 MJ			
Distância até a próxima etapa do processo: 0			
Tipo de transporte:			
Comentários: produção de garrafas junto à produção de vidro			

ATIVIDADE: Produção de garrafas			
PRODUTO: garrafas			
QUANTIDADE: 1.500 garrafas			
Balança de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Água	0,36 m ³	Efluente líquido	0,36 m ³
Lenha	41,6 kg	Perda de processo	157,20 kg
Massa de vidro	4.400 kg		
GLP	20,80 kg		
Oleo diesel	116 L		
Consumo de energia:3.280 MJ			
Distância até a próxima etapa do processo: 600 km			
Tipo de transporte: rodoviário			
Comentários:			

ATIVIDADE: lavagem			
PRODUTO: lavagem garrafas			
QUANTIDADE: 10.000 garrafas			
Balança de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
água	1,6 m ³	Efluente líquido	1,6 m ³
Óleo combustível	36 kg		
Consumo de energia: 5.906 MJ			
Distância até a próxima etapa do processo:			
Tipo de transporte:			
Comentários:			

ATIVIDADE: fabricação de tampas			
PRODUTO: tampa			
QUANTIDADE: 1 milhão de unidades			
Balança de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
água	95 L	Efluente líquido	95 L
Chapa metálica	2.100 kg	Perda de processo	368 kg
PVC	262 kg	Bombonas e caixas	1,5 kg
chromo	16,84 kg		
Óxido de chromo	8,30 kg		
Verniz e tinta	40,60 kg		
Óleo combustível	110 kg		
Consumo de energia:2440 MJ			
Distância até a próxima etapa do processo: 3.500 km			
Tipo de transporte: rodoviário			
Comentários:			

ATIVIDADE: reciclagem garrafas de vidro			
PRODUTO: pedaços de vidro			
QUANTIDADE: 5 t			
Balanço de Massa			
Entradas (Recursos Naturais e Matérias-primas Secundárias)		Saídas (efluente líquido, resíduo sólido)	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Água	1,48 m ³	Efluente líquido	1,48 m ³
Lenha	139 kg	Cinzas	2,43 kg
Oleo combustível	15 L	Material separado do vidro	15,35 kg
Vidro quebrado	5.250 kg		
NaOH	48,45 kg		
Consumo de energia: 87.000 MJ			
Distância até a próxima etapa do processo: 100 km			
Tipo de transporte:			
Comentários:			