

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

BRUNA MAZZI VIANA

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DOS PRINCIPAIS MATERIAIS
EMPREGADOS EM EMBALAGENS CONSIDERANDO ASPECTOS
RELACIONADOS COM SUA PRODUÇÃO E CICLO DE VIDA:
COMPARAÇÃO COM OS MATERIAIS PLÁSTICOS

São Carlos

2018

BRUNA MAZZI VIANA

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DOS PRINCIPAIS MATERIAIS
EMPREGADOS EM EMBALAGENS CONSIDERANDO ASPECTOS
RELACIONADOS COM SUA PRODUÇÃO E CICLO DE VIDA:
COMPARAÇÃO COM OS MATERIAIS PLÁSTICOS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Materiais e Manufatura, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira de Materiais e Manufatura.

Orientador: Prof. Dr. Antônio José Felix de Carvalho

São Carlos

2018

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

V614a Viana, Bruna Mazzi
Avaliação do Impacto dos Principais Materiais
Empregados em Embalagens Considerando Aspectos
Relacionados Com Sua Produção e Ciclo de Vida:
comparação com os materiais plásticos / Bruna Mazzi
Viana; orientador Antônio José Felix Carvalho. São
Carlos, 2018.

Monografia (Graduação em Engenharia de Materiais e
Manufatura) -- Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, 2018.

1. Desenvolvimento sustentável . 2. Materiais
plásticos. 3. Embalagens. 4. Reciclagem. 5. Ciclo de
Vida. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Bruna Mazzi Viana
Título do TCC: Avaliação do Impacto dos Principais Materiais Empregados em Embalagens Considerando Aspectos Relacionados com a sua Produção e Ciclo de Vida: Comparação com os materiais plásticos.
Data de defesa: 18/06/2018

Comissão Julgadora	Resultado
Professor Associado Antônio José Felix de Carvalho (orientador)	Aprovado
Instituição: EESC - SMM	
Professor Associado José Ricardo Tarpani	Aprovado
Instituição: EESC - SMM	
Pesquisador Raul Julian Revelo Tobar	APROVADO
Instituição: EESC - SMM	

Presidente da Banca: **Professor Associado Antônio José Felix de Carvalho**



(assinatura)

DEDICATÓRIA

*Aos meus avós, que me deram
todo apoio necessário para
seguir esta jornada e chegar até
aqui.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente aos meus avós, por todo amor, amizade e carinho incondicionais que não mediram esforços para eu chegar à esta etapa da minha vida.

Agradeço o companheirismo e a amizade dos meus colegas de graduação, os quais me possibilitaram chegar muito mais longe do que imaginei.

Ao meu namorado, por ter estado do meu lado em todos os momentos, por ter me incentivado e me dado forças para seguir em frente.

Aos meus colegas de trabalho, que estiveram ao meu lado, e me fizeram acreditar na minha capacidade.

Ao meu orientador, professor doutor Antônio José Félix de Carvalho, por me aceitar como orientanda e por compartilhar os seus conhecimentos e ideias.

À Universidade de São Paulo, pelas oportunidades de aprendizados proporcionadas.

RESUMO

VIANA, B. M. **Avaliação do Impacto dos Principais Materiais Empregados em Embalagens Considerando Aspectos Relacionados com a sua Produção e Ciclo de Vida: Comparação com os materiais plásticos.** 2018. Monografia – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

A produção de materiais plásticos vem crescendo exponencialmente há mais de meio século. Esses materiais vêm substituindo a utilização de outros materiais mais tradicionais como aço, alumínio, papel e vidros, tornando-se a principal matéria prima dos produtos em vários setores da indústria. Infelizmente, a percepção do público em geral a respeito dos materiais plásticos é muito negativa e nem sempre embasada em dados e fatos concretos. Muitas das informações sobre o tema não são oriundas de fontes confiáveis com embasamento científico. Paralelo a este cenário, na metade do último século, foi criado o conceito do desenvolvimento sustentável e a preocupação a respeito da utilização de materiais sustentáveis vem se tornando cada vez maior. O setor de embalagens apresenta ser um campo de extrema importância para o foco das ações de desenvolvimento sustentável, devido à sua participação nos resíduos sólidos urbanos. Tendo em vista esse panorama, o objetivo desse trabalho é apresentar parâmetros relacionados com a produção e ciclo de vida dos principais materiais utilizados em embalagens e realizar uma avaliação comparativa do desempenho desses materiais com relação a utilização de materiais plásticos. De forma a desmitificar o uso desses materiais e auxiliar na disseminação do conhecimento sobre o assunto, trazendo uma perspectiva fundamentada cientificamente. O desenvolvimento desta pesquisa se deu em duas etapas. A primeira consistiu-se de revisões bibliográficas sobre o tema, consultando autores em produções científicas. Na segunda etapa, foi realizada uma avaliação a partir da comparação dos dados encontrados na literatura. A pesquisa demonstrou que as embalagens plásticas possuem inúmeras vantagens comparada a utilização de outros materiais. E que existem lacunas no processo de destinação final desses materiais, que devem ser foco para a diminuição do impacto negativo no meio ambiente. Além disso, a pesquisa demonstrou a importância de avaliar as substituições de materiais em embalagens de forma holística avaliando todo ciclo de vida, tendo como pré-requisito o conhecimento das características de cada material, dos processos de obtenção, da cadeia de consumo e utilização e finalmente de descarte final.

Palavras-chave: Desenvolvimento Sustentável, Materiais Plásticos, Embalagens, Reciclagem, Ciclo de Vida.

ABSTRACT

VIANA, B. M. **Evaluation of the Impact of the Principal Materials Employed in Packaging in Aspects Related to Their Production and Life Cycle: Comparison with Plastic Materials.** 2018. Monografia – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

The production of plastic materials has been growing exponentially for more than half a century. These materials have been replacing the use of other more traditional materials such as steel, aluminum, paper and glass, making it the main raw material for products in various industry sectors. Unfortunately, the general public's perception of plastic materials is very negative and is not always based on facts and data. Many of the information on the subject does not come from reliable scientifically based sources. Parallel to this scenario, in the middle of the last century, the concept of sustainable development was created and the concern about the use of sustainable materials is becoming ever greater. The packaging sector presents a field of extreme importance for the focus of sustainable development actions, due to its participation in solid urban waste. In view of this scenario, the objective of this work is to present parameters related to the production and life cycle of the main materials used in packaging and to carry out a comparative evaluation of the performance of these materials in relation to the use of plastic materials. In order to demystify the use of these materials and to assist in the dissemination of knowledge on the subject, bringing a perspective based scientifically. The development of this research took place in two stages. The first consisted of bibliographic reviews on the subject, consulting authors in scientific productions. In the second step, an evaluation was carried out by comparing the data found in the literature. The research showed that plastic packaging has many advantages compared to the use of other materials. And that there are gaps in the final disposal process of these materials, which should be focus for reducing the negative impact on the environment. In addition, the research demonstrated the importance of evaluating the substitutions of materials in packages holistically evaluating the whole life cycle, having as prerequisite the knowledge of the characteristics of each material, the processes of obtaining, the chain of consumption and use and finally of final disposal.

Keywords: Sustainable development, Plastics Materials, Packaging, Recycling, Life Cycle.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estratégias para reduzir os Impactos Ambientais.....	40
Figura 2– Representação esquemática do ciclo total dos materiais.....	41
Figura 3– Representação esquemática de um inventário de entradas/saídas para a avaliação do ciclo de vida de um produto.....	44
Figura 4 – Produtos gerados presentes em resíduos sólidos municipais, 2007 (254 milhões de toneladas antes da reciclagem).....	45
Figura 5 – Participação dos materiais no mercado de embalagens brasileiro em 2017.....	49
Figura 6– Resinas plásticas em embalagens presentes nos resíduos sólidos urbanos dos EUA, 2007.	51
Figura 7– Distribuição das categorias de produtos plásticos presentes nos RU's dos EUA,2007.	51
Figura 8 – Polímeros comuns derivados de petróleo bruto e gás natural.	52
Figura 9– Consumo estimado de energia pela indústria de plásticos dos Estados Unidos comparado a outros setores.....	54
Figura 10– Distribuição das categorias de produtos ferrosos presentes nos RU's dos EUA,2007.	56
Figura 11– Uso de energia para produção de ferro e aço nos EUA, até 1994, expresso em PJ.....	58
Figura 12– Distribuição das categorias de produtos feitos de alumínio presentes nos RU's dos EUA,2007.....	60
Figura 13– Base de energia para produção de alumínio primário no mundo, exceto China.	61
Figura 14 – Distribuição das categorias de produtos feitos de vidro presentes nos RU's dos EUA,2007.	63
Figura 15– Distribuição das categorias de produtos feitos de papel e papelão presentes nos RU's dos EUA,2007.	67
Figura 16 – Simbologia utilizada para identificação e separação de materiais-plásticos em processo de reciclagem.	72
Figura 17– Diagrama das etapas de desenvolvimento da pesquisa.	79

Figura 18–Dados de geração e reciclagem por material em mil toneladas nos EUA, 2007.	89
Figura 19 – Emissões de ar e água associadas à produção de vários materiais, incluindo termoplásticos comuns.....	90
Figura 20 – Índice de impacto para produção de alguns materiais mais utilizados como matéria prima para confecção de embalagens (Eco Indicador 95).	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais tipos de plásticos e suas aplicações em embalagens.	50
Tabela 2 – Participação dos setores na utilização do petróleo como matéria prima.....	52
Tabela 3 – Consumo aparente do plástico.	53
Tabela 4– Índice de impacto para produção de alguns plásticos mais utilizados (Ecoindicador 95).....	55
Tabela 5 – Consumo aparente de aço.	57
Tabela 6 – Índice de impacto para produção de aços (Ecoindicador 95).	59
Tabela 7 – Consumo aparente de alumínio.....	61
Tabela 8 – Índice de impacto para produção do alumínio (Ecoindicador 95).....	62
Tabela 9 – Composição química de diversos tipos de vidros (% , massa).	64
Tabela 10– Consumo aparente de vidro.....	65
Tabela 11 – Índice de impacto para produção de vidro (Ecoindicador 95).....	66
Tabela 12 – Consumo aparente de papel/papelão.....	69
Tabela 13 – Índice de impacto para produção de papel (Ecoindicador 95).....	70
Tabela 14 – Produtos reciclados para vários polímeros comerciais.	73
Tabela 15 – Dados para reciclagem dos plásticos no Brasil.....	73
Tabela 16 – Dados para reciclagem de aço no Brasil.	75
Tabela 17– Dados para reciclagem de alumínio no Brasil.	76
Tabela 18 – Dados para reciclagem de vidro no Brasil.	76
Tabela 19 – Dados para reciclagem de papel e papelão no Brasil.....	78
Tabela 20– Origem das fontes das principais matérias primas utilizadas para fabricação dos materiais de embalagem.....	81
Tabela 21– Energia necessária para produção dos materiais usados para aplicação em embalagens.....	84
Tabela 22 – Energia necessaria para os recipientes selecionados.....	84
Tabela 23 – Consumo aparente dos materiais de embalagens por material.	85
Tabela 24 – Consumo aparente dos materiais de embalagens por material.	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAL	–	Associação Brasileira de Alumínio
ABEAÇO	–	Associação Brasileira da Embalagem de Aço
ABIPLAST	–	Associação Brasileira da Indústria do Plástico
ABIQUIM	–	Associação Brasileira das Indústrias Químicas
ABRE	–	Associação Brasileira de Embalagens
ABTC	–	Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel
ACV	–	Avaliação do Ciclo de Vida
CMMA	–	Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento
FEAM	–	Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais
IPEA	–	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ISO	–	International Organization for Standardization
MMA	–	Ministério do Meio Ambiente
PEAD	–	Polietileno de alta densidade
PEBD	–	Polietileno de baixa densidade
PET	–	Poli(tereftalato de etileno)
PLA	–	Poli(ácido lático)
PML	–	Produção Mais Limpa
PP	–	Polipropileno
PS	–	Poliestireno
PVC	–	Poli(cloreto de vinila)
SETAC	–	Society for Environmental Toxicology and Chemistry
WPO	–	World Packaging Organisation

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	31
1.1	Contextualização do tema e sua relevância	31
1.2	Objetivo.....	33
1.3	Justificativa	33
1.4	Metodologia	33
1.5	Estrutura da Monografia	33
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	35
2.1	Conceituando o Desenvolvimento Sustentável.....	35
2.1.1	História do Pensamento Sustentável.....	35
2.1.2	Desafios ao Desenvolvimento Sustentável	37
2.2	Estratégia para Redução dos Impactos Ambientais	38
2.2.1	Modelos e esferas para o alcance da sustentabilidade	38
2.2.2	Ciclo total dos Materiais	40
2.2.3	Avaliação do Ciclo de Vida	42
2.2.4	Embalagens	44
2.2.5	Considerações Ambientais.....	45
2.2.6	Principais Materiais Utilizados em Embalagens.....	47
2.3	Características sobre a Reciclagem dos Materiais de Embalagens.....	70
2.3.1	Plásticos	70
2.3.2	Aço.....	74
2.3.3	Alumínio	75
2.3.4	Vidros.....	76
2.3.5	Papel/Celulose.....	77
3	METODOLOGIA	79
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
4.1	Considerações sobre a Fonte dos Recursos	81
4.2	Considerações sobre o Uso de Energia.....	83
4.3	Considerações sobre Consumo e Descarte	85
4.4	Considerações sobre Impacto Ambiental.....	89

5	CONCLUSÕES	93
6	REFERÊNCIAS.....	95

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do tema e sua relevância

Apesar das preocupações ambientais, a utilização de recursos energéticos para o desenvolvimento das nações é um caminho sem volta. O desafio, portanto, consiste em encontrar um modelo de desenvolvimento que possibilite manter um estilo de vida aceitável no presente e durante o futuro, ao mesmo em que permita a preservação do meio ambiente. Isso significa que ao longo tempo, conforme, conforme há o crescimento populacional, os recursos do planeta devem ser utilizados de tal forma, que possam ser recuperados naturalmente e que os níveis de emissões de poluentes sejam mantidos sob condições aceitáveis.

Para atingir este estado, no entanto, há certas responsabilidades que devem ser compartilhadas entre o governo, às grandes indústrias e à população na escolha de produtos, processos e serviços ambientalmente sustentáveis. No âmbito da Engenharia, o conceito de sustentabilidade se traduz em ser responsável pelo desenvolvimento de produtos sustentáveis.

Nesse sentido, uma ferramenta de gestão ambiental que vem ganhado relevância e que vem sendo aplicado para o desenvolvimento de produtos sustentáveis, é a avaliação do ciclo de vida. Nesse procedimento de projeto, é considerada a avaliação ambiental do produto deste seu berço até o seu túmulo, isto é, desde a extração do material, fabricação do produto, passando pela sua utilização, reciclagem e descarte.

Na prática da Engenharia de Materiais, muitos critérios são levados em consideração para a seleção de materiais. Muito dos critérios amplamente estudados refere-se às propriedades dos materiais ou a uma combinação delas. Entre as diversas propriedades, as mais estudadas são as propriedades: mecânicas, elétricas, térmicas, de corrosão e assim por diante. Uma vez que a propriedade final do componente dependerá das propriedades do material a partir do qual ele foi fabricado, além da sua capacidade de processamento ou a facilidade de fabricação.

No entanto, tendo em vista este cenário, outros critérios importantes também devem ser considerados para o desenvolvimento de um produto comercializável. Critérios de

natureza econômica, que embora não tenha relação direta com princípios científicos e à prática da engenharia são importantes para que um produto seja competitivo.

Além disso, critérios que envolvam questões ambientais e sociais, tais como poluição, descarte, reciclagem, toxicidade e energia, também devem ser considerados.

Um material que vem recebido grande destaque são os materiais plásticos. A produção desses materiais vem crescendo exponencialmente há mais de meio século. E devido as suas inúmeras vantagens e sua versatilidade, eles vêm substituindo a utilização de outros materiais mais tradicionais como aço, alumínio, papel e vidros, tornando-se a principal matéria prima dos produtos em vários setores da indústria.

No setor de embalagens, em especial, esse material tem sido aplicado em substituição ao uso de materiais como o vidro e o alumínio, correspondendo hoje a 35% da produção física de embalagens.

As projeções para produção de materiais plásticos indicam forte crescimento, correlacionado com o crescimento populacional (ANDRADY,2003). Concomitante, o mercado de embalagens apresentou crescimento de 2012 a 2017 de 3,4% ao ano no mercado mundial, segundo L.E.K. Consulting. Já no Brasil, conforme a Associação Brasileira de Embalagem (2018), o setor em 2017 apresentou crescimento de 5,1% na produção física de embalagens, comparado com 2016 e, dessa forma, representou 1% do PIB nacional.

No entanto, apesar das grandes vantagens dos materiais plásticos eles vêm recebido atenção especial com relação às preocupações ambientais. A reciclagem de embalagens plásticas preocupa a sociedade em caráter mundial, face o crescente volume de utilização e as implicações ambientais inerentes ao seu descarte não racional pós-consumo, como no setor de alimentos.

Entretanto, apesar da percepção negativa a respeito desses materiais, comparado a outros materiais mais tradicionais na utilização de embalagens e em outros setores, eles possuem grandes vantagens pouco disseminadas.

O conhecimento aprofundado dessas características particulares de cada material quanto as questões sustentáveis, baseado em fatos fundamentados cientificamente e não apenas em percepções é a chave para a seleção adequada de materiais que possam corroborar de forma primordial para o desenvolvimento sustentável.

1.2 Objetivo

O trabalho em questão possui como objetivo principal apresentar parâmetros relacionados com a produção e ciclo de vida dos principais materiais utilizados em embalagens e realizar uma avaliação comparativa do desempenho desses materiais com relação a utilização de materiais plásticos. De forma a desmitificar o uso desses materiais e auxiliar na disseminação do conhecimento sobre o assunto.

1.3 Justificativa

Com a ascensão do pensamento sustentável, a percepção do público em geral a respeito das embalagens, e principalmente dos materiais plásticos, tem-se apresentado muito negativa. A desinformação sobre o tema induz o pensamento que a redução ou eliminação do uso de embalagens plásticas é ambientalmente correto.

O uso de embalagens pela sociedade moderna é uma necessidade. A embalagem é usada por países altamente industrializados e nações em desenvolvimento, com o intuito de atender a sociedade em suas necessidades de alimentação, saúde, possibilitando a acessibilidade a produtos frágeis e perecíveis.

A solução, portanto, é se desenvolver-se de maneira sustentável. A escolha de materiais adequados torna-se primordial, nesse sentido. Os materiais plásticos apesar da percepção negativa do público em geral possuem inúmeras vantagens com relação à utilização de outros materiais. Cabe, portanto, a sociedade ter acesso ao conhecimento embasado cientificamente, para que possam escolher de forma adequada produtos, processos e serviços que corroborem para o desenvolvimento sustentável.

1.4 Metodologia

O desenvolvimento desta pesquisa se deu em duas etapas. A primeira consistiu-se de revisões bibliográficas sobre o tema, consultando autores em produções científicas, como artigos, livros, dissertações. Na segunda etapa, foi realizada uma avaliação a partir da comparação dos dados encontrados na literatura chegando-se a uma conclusão a respeito do tema de estudo.

1.5 Estrutura da Monografia

A Introdução é dedicada à apresentação do tema e sua contextualização, ressaltando sua relevância, objetivo, justificativa e metodologia utilizada.

Na Revisão Bibliográfica são apresentados os conceitos de desenvolvimento sustentável e o papel do engenheiro de materiais na atuação sobre o tema. Além disso são apresentados dados sobre os principais materiais utilizados para confecção de embalagens, considerando desde produção até sua destinação final.

A Metodologia exhibe os métodos utilizados e as atividades realizadas no decorrer do desenvolvimento do trabalho.

Na seção dos Resultados e Discussão são discutidos os parâmetros levantados na revisão bibliográfica a respeito dos processos de produção e destinação final dos principais materiais. Sendo realizada uma avaliação comparativa com os plásticos, e também com os parâmetros estudados sobre sustentabilidade.

Por fim nas Conclusões, apresentam-se as conclusões finais sobre o tema e desenvolvimento da pesquisa, bem como sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Conceituando o Desenvolvimento Sustentável

O Desenvolvimento Sustentável é um tópico que vem recebido atenção especial nos principais meios de comunicação e também no meio empresarial, principalmente na adoção de projetos de produtos e serviços mais sustentáveis e que causem menos impactos ao meio ambiente. Entretanto, apesar do grande volume de informações disponíveis, há uma falta de clareza com relação as definições e conceitos relacionados ao desenvolvimento sustentável. O que dificulta sua aplicação prática e a adoção de estratégias e ações no sentido de minimizar os problemas causados pelo mau uso dos recursos, e corrobora para disseminação de informações sem embasamento científico a respeito do tema.

Para compreender o termo Desenvolvimento Sustentável afim de aplicá-lo na prática para adoção ações para o desenvolvimento de projetos, produtos e serviços sustentáveis, faz -se necessário explorar a origem do pensamento sustentável, os desafios para sua aplicação e os instrumentos existentes que apoiem a sua realização.

2.1.1 História do Pensamento Sustentável

Uma das definições pioneiras para o Desenvolvimento Sustentável, gerada pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD, 1988), e que ainda está em uso, considera o “desenvolvimento sustentável aquele que satisfaz as necessidades da geração presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades”. Esta definição inicial foi base para todas as outras definições de sustentabilidade, que foram aprimoradas a partir dela.

Vosgueritchian (2006), defende que as ideias que permeiam o conceito de sustentabilidade existiam desde a idade moderna. Mas com o decorrer das eras, as ideias foram sendo aperfeiçoadas com o avanço das trocas comerciais e o surgimento das grandes urbanizações, e principalmente, com o marco da Revolução Industrial e mais tarde da Segunda Revolução Tecnológica (pós Segunda Guerra Mundial). Que levou o mundo a intensificar massivamente sua escala de produção e a exploração dos recursos naturais.

Assim, o grande marco para o pensamento sustentável se deu em 1972. Em que foi realizado a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, também conhecida como Conferência de Estocolmo. Onde discutiu-se a questão do esgotamento dos recursos naturais, e foi proposto um modelo de “crescimento zero” para os países em

desenvolvimento. Entretanto esse modelo não foi aprovado pelos países desenvolvidos, uma vez que segundo eles, condenaria a maioria dos países a permanecerem em situação de permanente subdesenvolvimento. Foi proposto então, ao final da conferência oposto: o seu desenvolvimento. Nesse sentido, a nova palavra de ordem tornou-se “ crescimento sustentável”, entretanto, nesse âmbito, ainda não houve preocupação em determinar formas de medi-lo e não houve consenso sobre o que é sustentável, ou até mesmo sobre como definir esse “crescimento” (GUILLET, 1997).

Mais tarde, foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como Eco-92, ocorrida no Rio de Janeiro em 1992. Em que teve como elemento motivador os desafios ameaçadores apresentados para o futuro do planeta no terceiro milênio. Já que, o aumento sem precedentes da população e das atividades humanas ocorridas desde a Revolução Industrial, e particularmente no século XX, deram origem a uma degradação do meio ambiente e ao esgotamento dos recursos naturais, ameaçando o desenvolvimento e a sobrevivência das nações (STRONG, 1991).

O desafio do século atual apresenta-se ao fato de que a população dos países em desenvolvimento, onde a maioria a população vive hoje, encontram-se em taxas de crescimento avassaladoras, e em fases iniciais de desenvolvimento econômico de que necessitam para satisfazer as necessidades da população. Nesse aspecto, esse cenário exerce imensas pressões sobre o meio ambiente, e a base de recursos naturais, comprometendo assim, o desenvolvimento futuro desses países e a adição de riscos ambientais globais (STRONG, 1991).

Afim de se tomar decisões a respeito deste cenário ameaçador, propôs-se a criação de um órgão supranacional para racionar os gastos com recursos do mundo desenvolvido, particularmente dos hidrocarbonetos usados como combustível e energia (GUILLET, 1997).

Para Guillet (1997), no entanto, essa ideia de que o controle de recursos é uma questão crítica para a sobrevivência de uma nação, é o que tem sido a fonte das maiorias das guerras do século passado. O Autor usa o exemplo de países como Japão e Alemanha, os quais queriam ganhar mais território para controlar os recursos, os quais sem eles acreditavam não serem capazes de atingir seu pleno potencial industrial. Mesmo após da perda se seus territórios coloniais, ainda estão entre as economias mais poderosas do mundo. Eles não possuem vastos recursos naturais, mas se tornaram muito produtivos

economicamente. Assim, Guillet (1997), afirma que não são os recursos físicos que formam uma grande nação industrial, e sim o recurso de uma população instruída com imaginação, discernimento científico e com bom funcionamento, que tornam os recursos naturais úteis.

2.1.2 Desafios ao Desenvolvimento Sustentável

Tornar o desenvolvimento sustentável realidade implica diversas dificuldades. Uma delas é que as empresas e as pessoas ainda apresentam dificuldades em definir o que é o desenvolvimento sustentável.

A falta de um consenso sobre o tema se apresenta desde o início da história do Desenvolvimento Sustentável, como discutido anteriormente, em que há uma variedade de conceitos provenientes de diversas disciplinas. De acordo com, Cavalcante et al (2012), entre outros conceitos necessários para o domínio do tema, encontram-se com grande frequência na literatura os seguintes termos: Desenvolvimento Sustentável; Economia Verde; Eco design ou Eco concepção; Ecoeficiência, Consumo Sustentável; Impacto Ambiental; Ecologia Industrial; Educação Ambiental; Interdependência de produtos e serviços. Esses e outros conceitos e princípios continuam a surgir diante da complexidade do tema e dos desafios socioeconômicos e ambientais.

A dificuldade também provém do fato de que para o atingimento completo do desenvolvimento sustentável do planeta, é necessário realizar mudanças de fatores muito complexos, como comportamentos pessoais e sociais, e transformações nos processos de produção e consumo.

Com relação aos comportamentos pessoais e sociais, a conscientização da sociedade com relação às questões ambientais vem crescendo ao longo das últimas décadas, mesmo que de forma lenta e gradual, o tema sustentabilidade tem ganhado notoriedade, em virtude da divulgação da crise ambiental por parte dos meios de comunicação. Segundo, Manget;Roche e Munnich (2009), a preocupação com a sustentabilidade começou a representar um fator significativo de decisão para os consumidores comprarem determinados produtos. E é inquestionável afirmar que tal ponto tem despertado a atenção de muitas empresas, especialmente, no modo como devem se posicionar no mercado. Em outras palavras, pode-se dizer que as empresas que conseguem traduzir tais definições em produtos diferenciados têm conseguido maiores margens de lucro e maior participação em um mercado cada vez mais competitivo.

De acordo com Bonini; Gorner e Jones (2010), isso reflete o fato de que 50% das principais empresas do mundo acreditam que a sustentabilidade exerce fundamental importância em diversas áreas do setor empresarial, tais como desenvolvimento de novos produtos, desenvolvimento de reputação e na estratégia da empresa como um todo. Apesar disso, apenas 30% dos dirigentes afirmam que suas empresas procuram ativamente oportunidades para investir em sustentabilidade.

Dada tamanha importância de tais conceitos, e por se tratar de um conhecimento em fase inicial de desenvolvimento, pode-se dizer que há certa dificuldade para avaliar se um projeto, processo ou produto, é comprovadamente sustentável. Ainda é de fundamental importância ressaltar que o projeto de desenvolvimento de um produto é crucial para o potencial impacto ambiental que o mesmo poderá gerar. Isso porque, como propõe Rebitzer et al. (2004, p. 702), as tomadas de decisões envolvidas durante essa etapa, tais como seleção de materiais e determinação do processo de produção, podem definir até 70% dos impactos ambientais de um produto em todo o seu ciclo de vida. Diante disso, torna-se interessante analisar na literatura os diversos métodos/ferramentas existentes para o desenvolvimento de produtos sustentáveis e sistematizá-los para que possam ser mais facilmente aplicados em empresas. Além disso, a verificação atual estágio de aplicação em empresas fornece uma visão geral sobre a aplicação prática dos métodos/ferramentas de desenvolvimento sustentável e das lacunas atuais. Por fim, um ponto interessante é a difusão de tal conhecimento de maneira simples para que toda a população possa ter acesso ao mesmo.

2.2 Estratégia para Redução dos Impactos Ambientais

2.2.1 Modelos e esferas para o alcance da sustentabilidade

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

Com o objetivo de mudar os padrões de produção, são adotados alguns modelos que estimulam a mudança, como por exemplo, a Produção Mais Limpa, o Ecodesign, a

Ecoeficiência, além dos sistemas de gestão ambiental e respectivas certificações, como é o caso da série ISO 14000. Esses modelos se aplicam a determinadas fases do ciclo de vida do produto, visando obter resultados que reduzem ou eliminam as consequências negativas dos produtos sobre o meio ambiente, compatibilizando estes com os conceitos e práticas do desenvolvimento sustentável.

No caso da Produção Mais Limpa (PML), segundo o Greenpeace (1997), o foco é utilizar, no processo de fabricação ou na execução do serviço, recursos naturais renováveis e que não causem danos ao meio ambiente. Já o produto é caracterizado pela durabilidade de sua vida útil, reutilização, embalagens não agressivas ao meio ambiente e materiais recicláveis.

O Ecodesign, contribui para o desenvolvimento sustentável através de soluções efetivas no projeto e desenvolvimento da produção. Ele introduz o conceito de prevenção a todo o ciclo de vida do produto, atuando inclusive na fase de planejamento e concepção, quando já se podem mensurar os impactos ambientais, sendo possível assim, evitá-los ou minimizá-los.

A Ecoeficiência consiste na medição de fatores que caracterizam o desempenho ambiental de produtos e processos, indicando a eficiência na utilização de matérias-primas, energia, recursos renováveis e não-renováveis. Sendo assim, mostra a relação entre a quantidade de recursos utilizados e quantidade desperdiçada. Como expressam Sisino e Moreira (2005), o processo de produção em um programa de ecoeficiência é permanentemente monitorado, sendo identificadas as fontes de consumo de água, energia, matéria-prima e outros recursos dos quais podem ou não estar ocorrendo desperdícios ocultos.

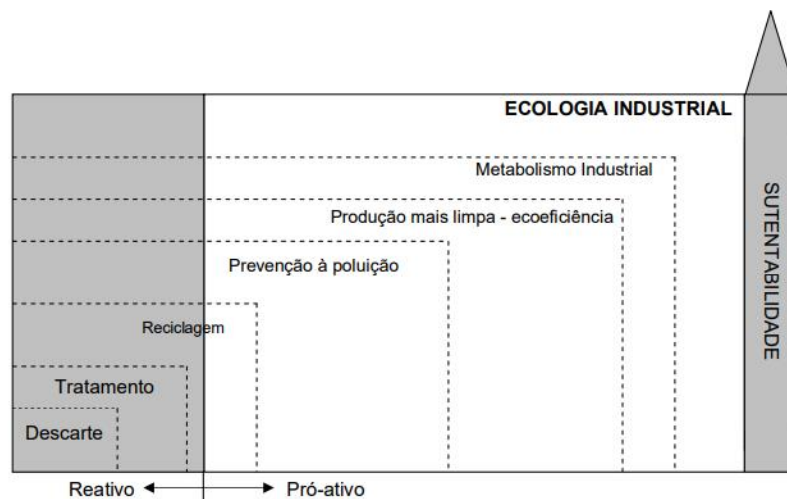


Figura 1 – Estratégias para reduzir os Impactos Ambientais.

Fonte: Almeida e Giannet, 2006.

De acordo com a figura 1, podem-se usar estratégias para reduzir os impactos ambientais e contribuir para a sustentabilidade. Segundo Almeida e Giannetti (2007), cada atividade ocorre em um nível específico do sistema, e a Ecologia Industrial pode englobar estas estratégias para beneficiar o sistema como um todo.

2.2.2 Ciclo total dos Materiais

As tecnologias modernas e a fabricação de produtos a elas associados causam diferentes impactos sobre a sociedade, positivos e negativos. Tendo em visto o cenário atual, de esgotamento dos recursos naturais do planeta, o papel do engenheiro de materiais torna-se ainda mais relevante. O conhecimento desse profissional a respeito das questões ambientais e sociais é essencial, pois as decisões tomadas na engenharia dos materiais possuem impactos diretos sobre o consumo de materiais primas e de energia, sobre a contaminação de efluentes e da atmosfera, e também sobre a capacidade do consumidor final em reciclar e destinar de forma correta os produtos consumidos.

Os materiais desempenham um papel crucial no âmbito da tecnologia e meios de fabricação de produtos. Um material que foi utilizado em um produto final e posteriormente descartado, passa por diversas fases ao longo de sua vida, como demonstrado na figura 2, conhecido com o "ciclo total dos materiais", e representa o circuito de vida de um material, "desde o berço até o túmulo".

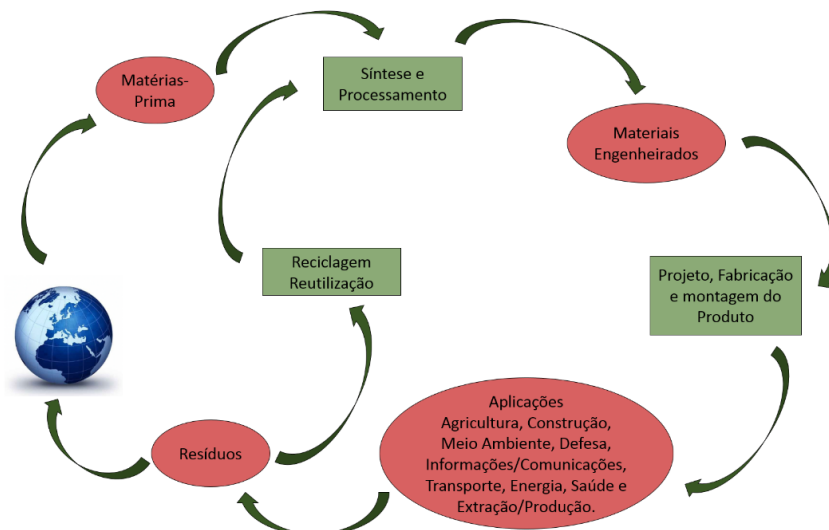


Figura 2– Representação esquemática do ciclo total dos materiais.

Fonte: Adaptado de Callister, 2012, p. 747.

No ciclo de vida dos materiais, é possível observar o estágio de extração das matérias-primas das reservas naturais do planeta, através de operações como mineração, perfuração, cultivo e etc. Num estágio subsequente, as matérias-primas são purificadas, refinadas e convertidas em formas brutas, tais como metais, cimento, petróleo, borracha, fibras e etc. Posteriormente, há a síntese e os processamentos adicionais, que resultam em produtos que podem ser chamados de “materiais engenheirados”, com por exemplo, ligas metálicas, pós cerâmicos, vidros, plásticos, compósitos e etc.

Num processamento posterior, esses materiais são configurados, tratados e montados na forma de produtos, dispositivos e utensílios que estão prontos para uso pelo consumidor – isso se constitui no estágio de “projeto, fabricação e montagem do produto”. E então o consumidor adquire esses produtos e os utiliza, até que eles sejam consumidos ou se tornem obsoletos, sendo descartados. Após esse estágio, os constituintes do produto podem ser reciclados, reutilizados (reencontram-se no ciclo dos materiais), ou . Para cada estágio do ciclo é fornecido energia, nos Estados Unidos estimou-se que aproximadamente metade da energia utilizada pelas indústrias de manufatura era gasta para produção e fabricação de materiais. A energia é um recurso que, em certo grau possui suprimento limitado, por isso devem ser tomadas medidas para que a sua conservação e utilização sejam feitas de forma mais efetiva nas etapas de produção, aplicação e descarte de materiais (CALLISTER, 2012).

Além disso, existem interações e impactos sobre o meio ambiente ao longo de todos os estágios. As condições da atmosfera, água e solo dependem da forma como se percorre o ciclo dos materiais. Podem ser gerados poluentes que são expelidos para o ar e para a água durante o estágio de síntese e processamento. Assim, o produto final deve ser projetado de forma a minimizar o impacto que este tenha sobre o meio ambiente, e ao final a sua vida útil, deve ser feita uma provisão para o reciclo dos materiais que compõem o produto ou descarte ambientalmente adequado.

Um procedimento desejável é que seja realizado a reciclagem de produtos usados, ao invés do seu descarte apenas como resíduo. Isso porque, o uso de materiais reciclados reduz a necessidade de extração de matérias-primas, o que auxilia na conservação dos recursos naturais e na eliminação de impactos ecológicos associados a fase de extração. Além disso, segundo Callister (2012), a necessidade de energia para o refino e processamento de materiais reciclados são, normalmente, menores do que a dos equivalentes naturais.

Dessa forma, o ciclo de materiais é realmente um sistema que envolve interações e permutas entre materiais, energia e meio ambiente. Para Callister (2012), os futuros engenheiros, em todo o mundo, devem compreender as inter-relações entre esses vários estágios para usar de maneira efetiva os recursos do planeta e minimizar os efeitos ecológicos adversos sobre meio ambiente.

2.2.3 Avaliação do Ciclo de Vida

Em muitos países, os problemas e as questões ambientais estão sendo abordados pelo estabelecimento de padrões exigidos pelas agências governamentais e de regulamentação. A partir de uma perspectiva industrial, a proposição de soluções viáveis para questões ambientais existentes e potenciais se tornam uma missão para os engenheiros.

Analisando os modelos existentes apresentados nota-se que eles abordam o desenvolvimento sustentável em apenas partes da cadeia produtiva, não considerando de forma holística todas as fases do ciclo de vida do produto. Essas abordagens não permitem que se tenha uma visão completa da cadeia produtiva. O que restringe a atuação sobre aspectos ambientais, no que diz respeito a oportunidades de melhoria que poderiam ser observadas a partir de uma análise mais abrangente.

Esta necessidade de considerar toda a cadeia produtiva na análise dos impactos ambientais dos produtos, fez surgir uma ferramenta para o acompanhamento dos ciclos de produção e identificação de alternativas de interação entre processos. Essa ferramenta, é denominada Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

De acordo com Barbieri et al (2009), os primeiros estudos a respeito da ACV tiveram início no final dos anos 60 nos Estados Unidos. Originalmente os estudos focavam no consumo de energia e de recursos. O intenso uso de recursos como embalagens despertou a atenção pública e evidenciou a importância da realização de estudos de impactos ambientais.

Esse procedimento está sendo implementado pela indústria a fim de melhorar os desempenhos dos seus produtos em relação ao meio ambiente. Nesse procedimento de projeto, segundo Callister (2012), é considerada a avaliação ambiental do produto desde seu berço até o seu túmulo. De acordo com Curran (2006), o ACV é uma ferramenta de avaliação ambiental de sistemas industriais em que o 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). A abordagem mais comumente, ao se referir a esse instrumento, baseada em no modelo do processo detalhado com as emissões e resíduos correspondentes, pois quantifica o consumo de materiais, energia e o lançamento de poluentes, localizando-os nas diversas etapas da cadeia. O que possibilita agir de forma corretiva e preventiva sobre processos e produtos, a fim de torná-los mais amigáveis ao meio ambiente (BARBIERI et al ,2009).

Vale ressaltar, que tal ferramenta pode ser aplicada em qualquer uma das abordagens. Ao contrário de outras ferramentas, a ACV avalia todos os estágios do ciclo de vida de um produto de maneira independente e, portanto, permite que sejam estimados os impactos ambientais de maneira acumulativa.

Uma fase importante desse procedimento consiste na quantificação das várias entradas (por exemplo, materiais e energia) e saídas (por exemplo, rejeitos) para cada fase do ciclo de vida. Além disso, é conduzida uma avaliação em relação ao impacto sobre os meios ambientais tanto global como local, em termos dos efeitos sobre a ecologia, a saúde humana e as reservas de recurso, como demonstrado na figura 3.

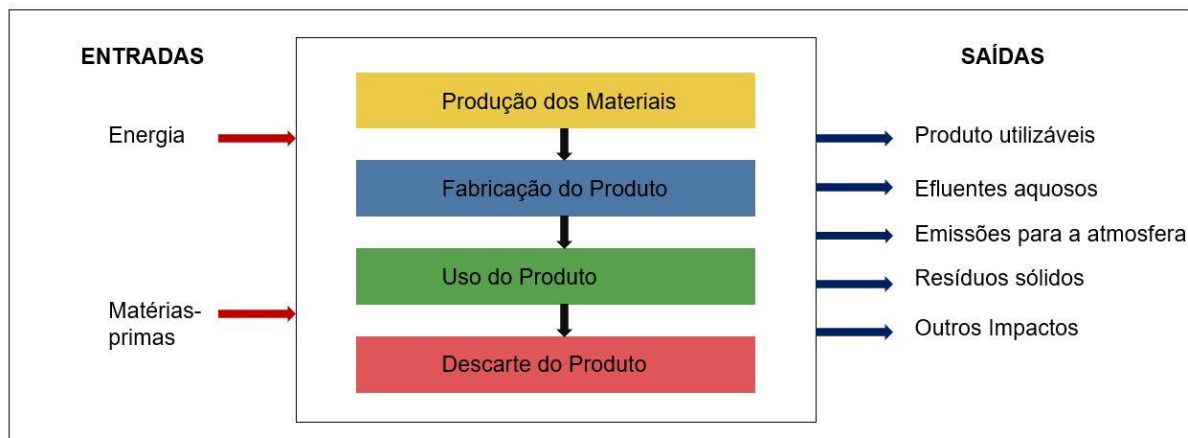


Figura 3– Representação esquemática de um inventário de entregas/saídas para a avaliação do ciclo de vida de um produto.

Fonte: Adaptado de Callister, 2012, p.748

Esse instrumento, tem como objetivo evidenciar de modo claro e analítico os principais impactos ambientais do produto/processo/serviço, e uma visão mais precisa a respeito dos custos de oportunidade de cada processo de tomada de decisão, no que se refere a seleção de materiais e processos. O que auxilia na definição de estratégias de atuação para melhorias ambientais. Uma das questões que este instrumento auxilia a resolver, é a necessidade de definir uma estratégia para aumentar a reciclabilidade de um determinado material, reduzir o seu consumo, ou a energia envolvida na sua produção. (Donnelly et al.)

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).

2.2.4 Embalagens

O setor de embalagens apresenta ser um campo de extra importância para o foco das ações de desenvolvimento sustentável. Esse setor apresenta uma significativa participação na geração de resíduos sólidos urbanos, nos Estados Unidos, por exemplo, as embalagens e os recipientes compuseram 30,9% dos RSU's em peso em 2007, totalizando 78,4 milhões de toneladas em resíduos, conforme demonstrado na figura 4.

Distribuição por peso
(254 milhões de toneladas)

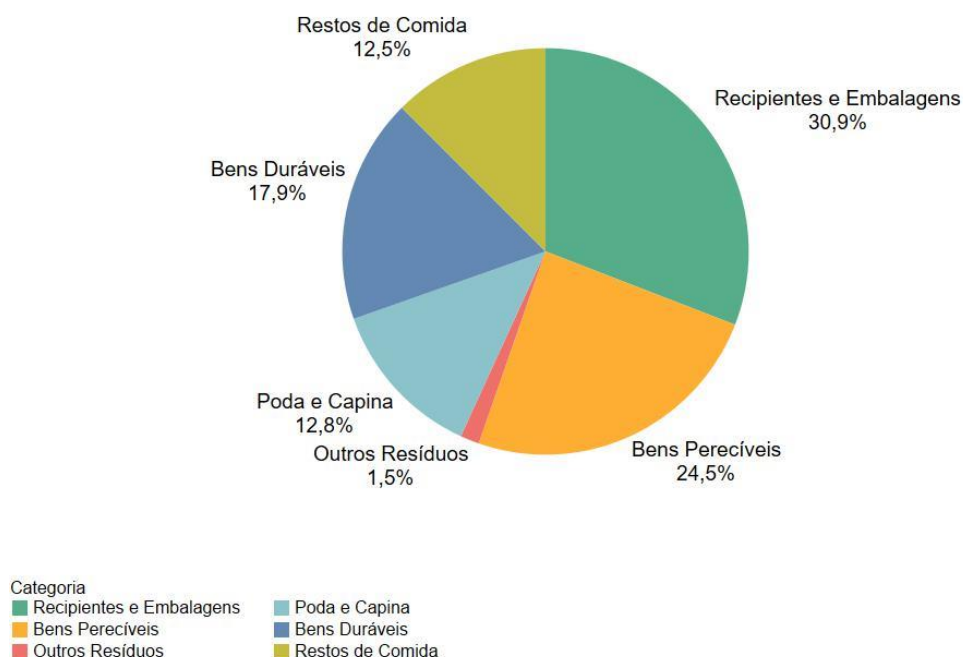


Figura 4 – Produtos gerados presentes em resíduos sólidos municipais, 2007 (254 milhões de toneladas antes da reciclagem).

Fonte: Adaptado de EPA, 2007, p. 181. Elaboração do autor.

Nesse sentido, tendo em vista a importância desse setor para as tomadas de decisões que corroborem para o desenvolvimento sustentável, nesse capítulo serão apresentadas as características da indústria de embalagens, sua relação com o meio ambiente e as propriedades dos principais materiais usados, abrangendo os assuntos que envolvem dados de consumo, obtenção, recursos energéticos utilizados e impacto ambiental gerado, os quais permitam o despertar de questionamentos sobre a sustentabilidade dos diferentes tipos de materiais.

2.2.5 Considerações Ambientais

A embalagem é usada em todos os lugares, por países altamente industrializados e nações em desenvolvimento. Uma embalagem bem projetada é uma ferramenta para o bem-estar e segurança das pessoas e para o sucesso das empresas. A função da embalagem é conter, preservar, proteger e transportar o objeto. Sendo essencial para a sociedade moderna.

O dilema é que à medida que a população mundial aumenta e as cadeias de distribuição mundiais se tornam mais sofisticadas, o aumento correspondente no uso de embalagens tem o potencial de se tornar tanto um problema como solução. Em algumas partes do mundo, algumas pessoas mal informadas preferem reduzir significativamente ou eliminar o uso de embalagens. Esta regressão é baseada na falta de compreensão do impacto global que a embalagem tem sobre a sociedade.

Segundo a World Packaging Organisation (2018), na verdade, a embalagem tem um tremendo potencial de economia de recursos. Claramente, o excesso de embalagem também consome muitos recursos, podendo permitir danos e deterioração do conteúdo e desperdiçar recursos, se não for projetada da forma correta. O objetivo aqui é o “tamanho certo” e a “embalagem certa”, como resultado de uma visão holística que equilibra o uso adequado dos recursos contra as necessidades ambientais, sociais e financeiras dos usuários de embalagens e sociedade.

É certo que a produção de materiais de embalagem consome tantos produtos naturais como recursos humanos e na etapa de utilização desses materiais também se consome recursos. Finalmente, o descarte de materiais de embalagem em aterros, incineradores e, de forma inadequada, nos lados de incontáveis rodovias e estradas, cursos de água, mares e florestas como lixo, também requer a utilização de recursos, os quais poderiam ter sido reutilizados. Nesse sentido, é notório que, o movimento de Sustentabilidade está transformando os princípios tradicionais pelos quais as empresas e as pessoas se comportam.

A solução tem que ser pautada na compreensão das etapas de desenvolvimento, aplicação, reutilização, reciclagem e recuperação de embalagens, a fim de tornar esses processos mais eficientes e que estejam alinhados com às necessidades das gerações presentes e futuras. Muitos materiais de embalagem não foram considerados renováveis através da reciclagem, pelo menos até recentemente. Com a introdução da hipótese do Desenvolvimento Sustentável, esse padrão continua a mudar drasticamente. Claramente, “reduzir, reutilizar, reciclar, recuperar” não são apenas palavras idealistas. Elas são a base para um modelo poderoso e operacional que deve crescer significativamente ao longo do tempo. Mas, identificar o caminho mais sustentável para as embalagens pode ser muito complicado.

O fato é que existe normalmente mais de uma solução aceitável. Nesse caso, é essencial incluir todos os fatores, considerando o ciclo de vida completo do sistema produto, em outras palavras, do berço à sepultura. Incorporar todos os fatores em uma análise de ciclo de vida é impossível, mas os fatores-chave devem ser incluídos uma análise para torna-la significativa, segundo a World Packaging Organisation (2018).

Nesse sentido, a World Packaging Organisation, definiu uma lista de recomendações a serem consideradas para o desenvolvimento sustentável de embalagens:

- A embalagem deve ser projetada de forma holística.
- O produto e o pacote devem atender às necessidades a um custo competitivo.
- Os processos de fabricação devem incorporar métodos ambientalmente limpos.
- O material do pacote deve ser facilmente recuperável uma vez que sua finalidade principal seja satisfeita.
- A energia e outros recursos para fabricação e distribuição devem ser renováveis, se possível.

O mundo não pode se desenvolver sem embalagem, mas o mundo também pode usar embalagens de forma mais eficaz e eficiente, atendendo às pessoas conscientes e garantindo a manutenção do meio ambiente e de todos os seus recursos naturais.

2.2.6 Principais Materiais Utilizados em Embalagens

Segundo a Associação Brasileira de Embalagens, ABRE (2017), uma das primeiras matérias-primas utilizada em maior escala para produção de embalagens foi o vidro. O material era fabricado por artesões sírios desde o primeiro século depois de Cristo até o século XIX. Só 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 início dos anos 40, as indústrias de produtos químicos, tintas, cervejas, refrigerantes e alimentos começaram a utilizar embalagens metálicas de folha de flandres, material laminado estanhado composto por ferro e aço de baixo teor de carbono revestido com estanho.

No entanto, o crescimento da demanda e a consequente 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, 2017).

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 micro-ondas e para proteção contraluz 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, 2017). 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).

Para se entender o tamanho do mercado de embalagens atualmente, a ABRE – Associação Brasileira de Embalagem, anunciou neste ano os resultados do “Estudo Macroeconômico da Embalagem ABRE/FGV: retrospecto de 2017 e perspectivas para 2018”. Com volume bruto de produção fechado em R\$ 71,50 bilhões, o setor apresentou crescimento de 1,96% na produção física de embalagem no ano de 2017 em relação a 2016 e prevê para o ano de 2018 um crescimento maior calcado na recuperação dos indicadores de consumo, comércio, serviços e industrial.

Os números são tradicionalmente apurados pela ABRE há 21 anos, sob a chancela do Instituto Brasileiro de Economia da Fundação Getúlio Vargas (IBRE/FGV). A figura 5 apresenta os principais tipos de materiais utilizados para fabricação das embalagens e suas participações em volume e em valor no ano de 2017.

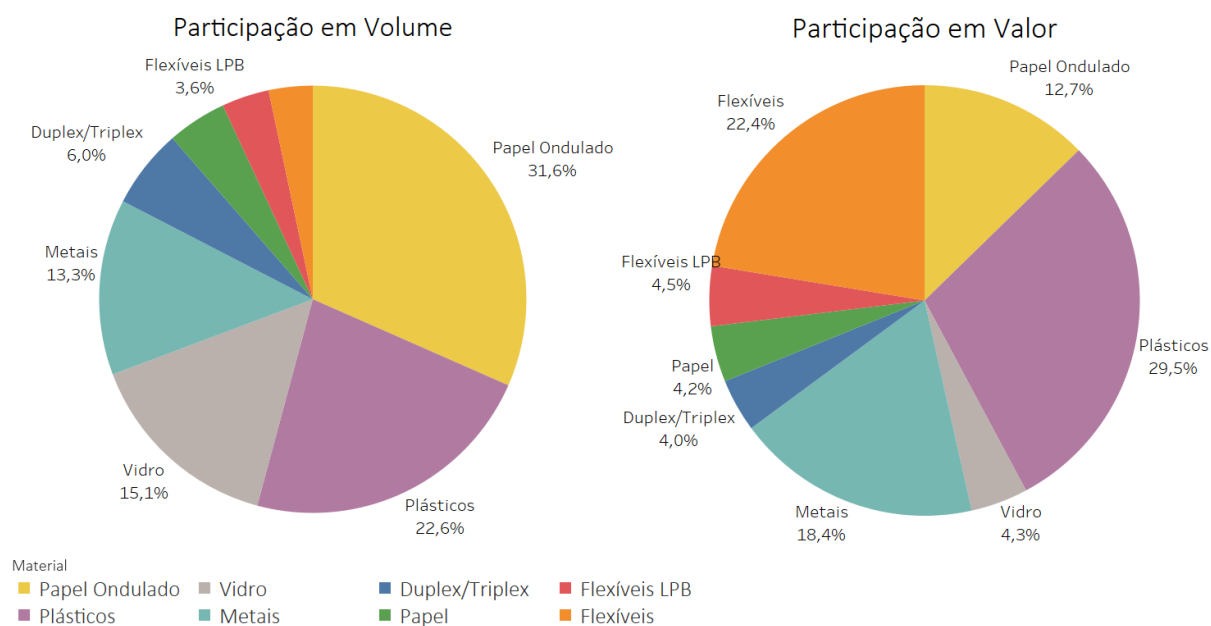


Figura 5 – Participação dos materiais no mercado de embalagens brasileiro em 2017.

Fonte: Adaptado de ABRE, 2017. Elaboração do autor.

2.2.6.1 Plásticos

Os materiais plásticos vêm substituindo o uso de diversos tipos de materiais, como aço, vidro e madeira. Esses materiais apresentam inúmeras vantagens, como o seu baixo peso, baixo custo, elevada resistência mecânica e química, flexibilidade, possibilidade de aditivação e reciclabilidade. A principal desvantagem desse tipo de material é a sua variável permeabilidade à luz, gases, vapores e moléculas de baixo peso molecular (LANDIM, 2016).

No entanto, pela sua diversidade e versatilidade, os polímeros proporcionam avanços tecnológicos, economia de energia e diversos outros benefícios para a sociedade por meio da produção de uma variedade de produtos ANDRADY (2009). Os polímeros mais consumidos atualmente, de acordo com a Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST), são: Poli(etilenotereftalato) (PET); Polietileno de alta densidade (PEAD); Poli(cloreto de vinila) (PVC); Polietileno de baixa densidade (PEBD/PELBD); Polipropileno (PP); Poliestireno (PS); Acrilonitrilaextireno/resina (ABS/SAN); Espuma Vinílica Acetinada (EVA), entre outros. Na tabela 1 são apresentados os principais tipos de plásticos suas aplicações e suas características.

Tabela 1 – Principais tipos de plásticos e suas aplicações em embalagens.

Material	Aplicação
PET	Frascos e garrafas para uso alimentício, hospitalar e cosmético, bandejas para microondas, filmes para áudio e vídeo, fibras têxteis e telhas
PEAD	Embalagens para detergentes e óleos automotivos, sacolas de supermercados, tampas, tambores para tintas, potes e utilidades domésticas
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 materiais hospitalar
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
PP	Filmes para embalagens de alimentos, embalagens industriais, cordas, tubos para água quente, fios e cabos, frascos, caixas de bebidas, fibras para tapetes, potes, fraldas e seringas descartáveis
PE	Potes para iogurtes, sorvetes, doces, fracos, parte interna da porta de geleadeiras, pratos, tampas, brinquedos e aparelhos de barbear descartáveis

Fonte: Adaptado de ABIQUIM, 2017.

As aplicações de embalagens são de particular interesse do ponto de vista ambiental, devido à alta visibilidade das embalagens nos resíduos urbanos, e representam cerca de um quarto da demanda americana por termoplásticos. As maiores taxas de crescimento interno dos plásticos nos últimos anos têm sido em aplicações de garrafa e recipiente de PEAD, fibra e aplicações de fechamento de PP, e em PVC (ANDRADY, 2003).

As principais resinas plásticas usadas nas embalagens são o polietileno de alta densidade, polietileno de baixa densidade e baixa densidade linear, polietileno tereftalato, polipropileno, poliestireno e policloreto de vinilo.

Uma variedade de plásticos é usada em quantidades menores: nylons ou poliamidas, policarbonato, polietileno naftalato, cloreto de polivinilideno, álcool etileno-vinílico, álcool polivinílico, acetato de polivinilo, poliacrilonitrilo e muito mais (ANDRADY, 2003).

A Figura 6 mostra as proporções dos principais plásticos encontrados nas embalagens nos EUA em 2007.

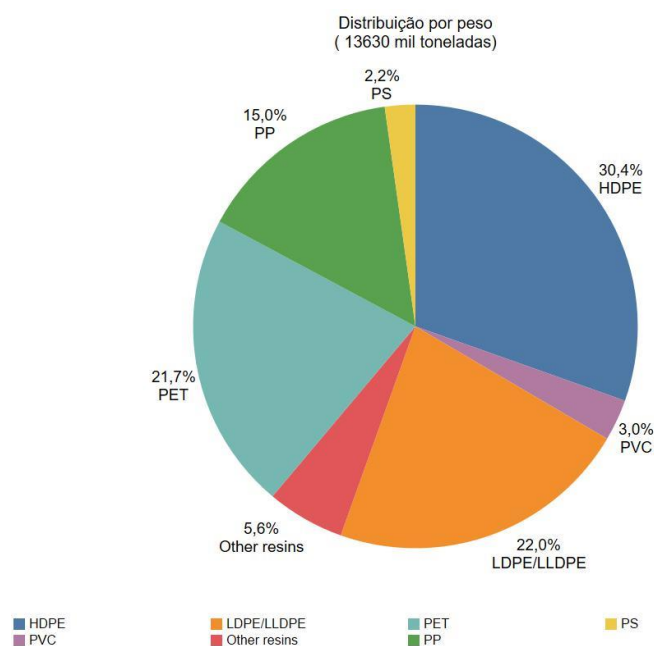


Figura 6– Resinas plásticas em embalagens presentes nos resíduos sólidos urbanos dos EUA, 2007.

Fonte: Adaptado de EPA, 2007, p.52. Elaboração do Autor.

A Figura 7 mostra a participação do setor de embalagens plásticas nos resíduos sólidos urbanos dos Estados Unidos em 2007. As embalagens representam 44% dos resíduos plásticos totalizando 13.630mil toneladas.

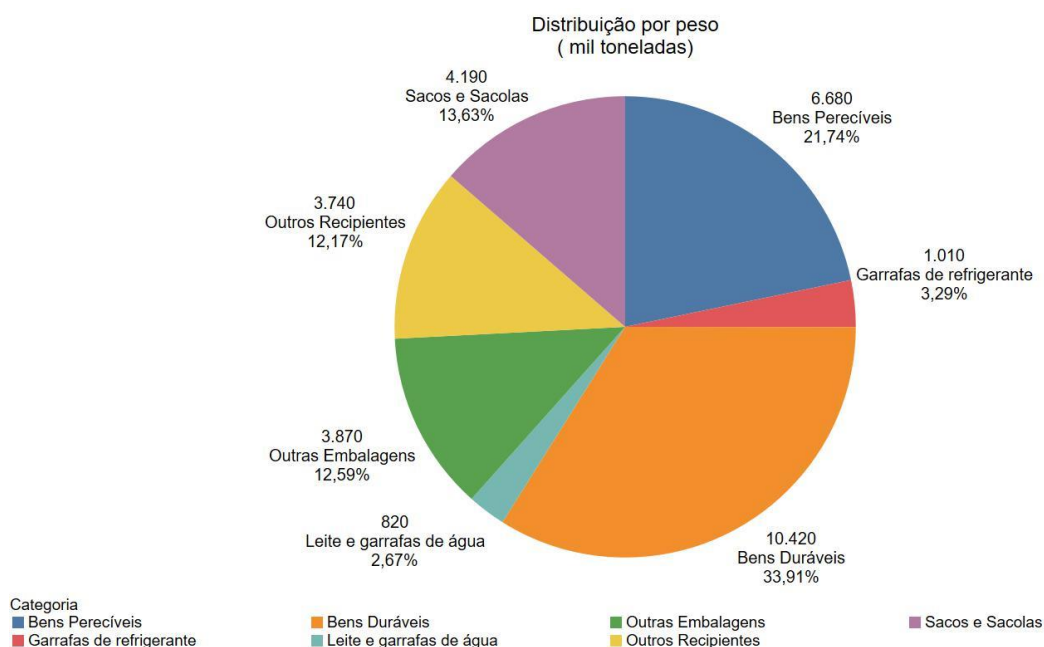


Figura 7– Distribuição das categorias de produtos plásticos presentes nos RU's dos EUA,2007.

Fonte: Adaptado de EPA, 2007, p.51. Elaboração do Autor.

Obtenção

A principal matéria-prima utilizada na fabricação dos plásticos é o petróleo, formado por uma complexa mistura de compostos que se separam através do processo de destilação, gerando diversos produtos que posteriormente darão origem aos materiais plásticos (LANDIM, 2016). Para a produção de plásticos são destinados cerca de 4% da produção mundial de petróleo, conforme observado na tabela 2.

Tabela 2 – Participação dos setores na utilização do petróleo como matéria prima.

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

Fonte: Adaptado de ABIQUIM, 2017.

A partir desta matéria prima têm-se os monômeros, que a partir do processo de polimerização forma os polímeros – macromolécula. A figura 8, mostra alguns polímeros comumente obtidos através do petróleo e do gás natural.

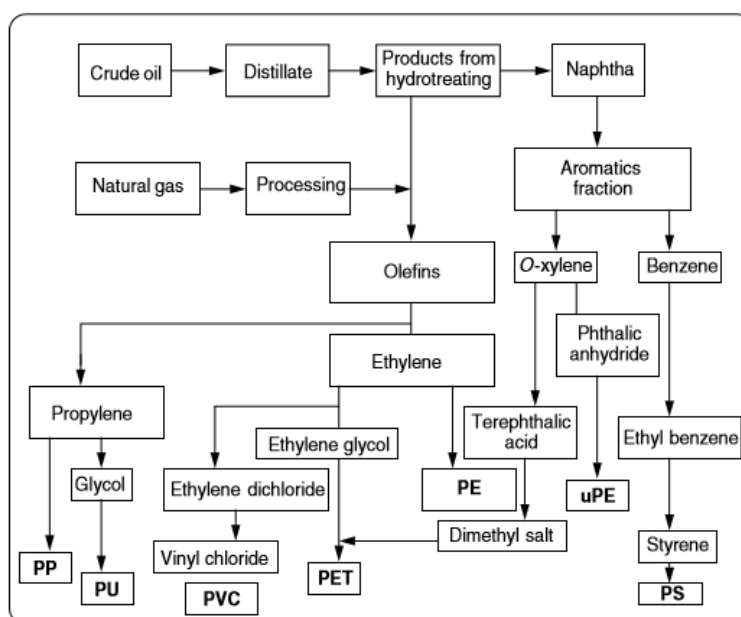


Figura 8 – Polímeros comuns derivados de petróleo bruto e gás natural.

Fonte: ANDRADY, L. A., 2003, p.80.

Esses polímeros dividem-se em dois grandes grupos, termoplásticos e termofixos. Os termoplásticos não sofrem alterações químicas quando aquecidos e depois resfriados, e podem novamente passar pelo processo de fundição, podendo ser remoldados. Já os termofixos são aqueles que sofrem reações químicas em sua moldagem as quais impedem uma nova fusão, e, portanto, não são recicláveis (LANDIM, 2016).

Produção e Consumo

Segundo Andraday (2003) a produção global de plásticos cresceu exponencialmente nos últimos anos. A produção mundial de resinas, que foi insignificante há apenas meio século, agora é de cerca de 132 milhões de toneladas anuais. Nos Estados Unidos, a demanda por termoplásticos de commodities cresceu continuamente nos anos 90 (com exceção de um breve recuo em 1995) e, durante o período recente de 1995-2000, o consumo de plásticos aumentou a uma taxa de crescimento composto de 1% a 5%, dependendo da área de aplicação.

Os dados de geração de resíduos de plástico consistem em informações bastante complexas, devido à diversidade de polímeros existentes, cada um com usos específicos e importância diferenciada nos resíduos sólidos. A tabela 3 mostra o consumo aparente do plástico no Brasil de 2005 a 2008, segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, IPEA.

Tabela 3 – Consumo aparente do plástico.

Plástico	Unidade	2005	2006	2007	2008
Consumo aparente	1 mil t	4174	4483	4987	5391
PEAD	1 mil t	691,8	776,1	662	...
PEBD	1 mil t	545,3	542	573,5	...
PET	1 mil t	495,3	449,2	544,1	...
PP	1 mil t	1.070,00	1.116,80	1.214,50	...
OS	1 mil t	289,4	321,5	352,5	...
PVC	1 mil t	682,3	625,5	804,4	...
Embalagens	1 mil t	605	650	723	782

Fonte: Adaptado de IPEA, 2012.

Uso de Energia

A indústria de plásticos, em comum com outras indústrias, utiliza energia fóssil e recursos de matérias-primas para sua operação. A questão a considerar é se a magnitude da drenagem de energia e matérias-primas pela indústria de plásticos é justificada pelos

benefícios que os plásticos oferecem à sociedade. Este é essencialmente um julgamento de valor que envolve a avaliação da utilidade marginal derivada do uso de produtos plásticos (em oposição a produtos substitutos) pela sociedade em geral. Conforme mostrado na Figura 9 (com base em dados de 1990), o uso de energia pela indústria de plásticos dos EUA em relação às outras demandas de energia é muito pequeno e chegou a cerca de apenas 3%. Cerca de metade da energia utilizada pela indústria de plásticos é aquela contida nas matérias-primas e o restante é energia usada no processamento (ANDRADY, 2003).

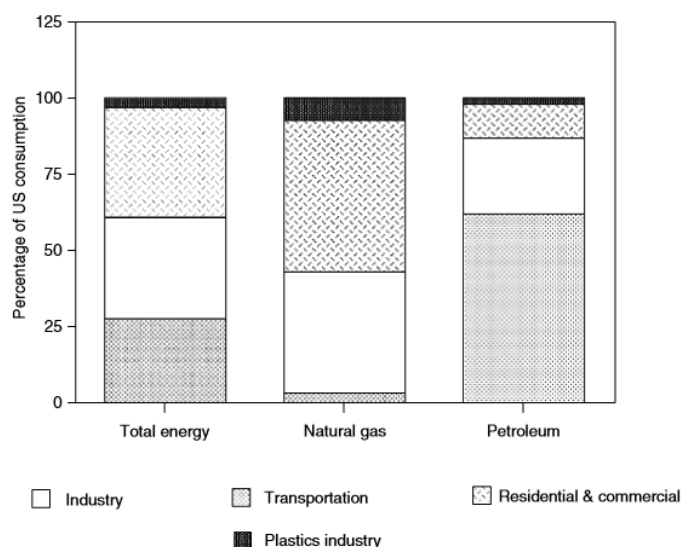


Figura 9– Consumo estimado de energia pela indústria de plásticos dos Estados Unidos comparado a outros setores.

Fonte: ANDRADY, L. A., 2003, p.39.

Impacto Ambiental

Quando se pensa na relação plásticos-meio ambiente, o primeiro problema que vem à mente é o descarte indevido, que resulta no entupimento de bueiros nas cidades e na poluição de rios, lagoas e oceanos. Mas os impactos do plástico na natureza começam bem antes, na extração de matérias-primas e no seu processo de produção. Os custos financeiros dos prejuízos ambientais relacionados ao plástico, segundo Plastic (2004), ultrapassam os US\$ 75 bilhões anuais, sendo que 30% desse valor vêm das emissões de gases do efeito estufa do setor e da poluição do ar causadas na fase de produção.

Mas, individualmente, é o ecossistema marinho que mais sofre com os plásticos. A poluição das águas, a morte de animais e o prejuízo para o turismo alcançam pelo menos os US\$ 13 bilhões ao ano. A estimativa é que existam bilhões de toneladas de plástico flutuando nos oceanos. Apenas a Grande Ilha de Lixo do Pacífico, nome dado a um

aglomerado de plásticos comumente visto por embarcações no Pacífico Norte, possui um tamanho equivalente ao do território dos Estados Unidos. Todo esse plástico acaba atrapalhando a navegação, sujando praias e matando animais, que ingerem o material confundindo-o com alimento (PLASTIC, 2014).

A tabela 4, a seguir, mostra uma avaliação (método Ecoindicador 95) de impacto ambiental para alguns materiais plásticos comumente utilizados.

Tabela 4– Índice de impacto para produção de alguns plásticos mais utilizados (Ecoindicador 95).

Produção de Plásticos Granulados (millipontos por kg)		
Material	Indicador	Descrição
HDPE	2,9	Processo de produção relativamente simples
LDPE	3,8	Pontuação possivelmente lisonjeada pela falta de emissão de CFC
PA	13	Alto consumo de energia para produção, portanto, alta emissão de emissões
PET	7,1	Alto consumo de energia para produção, portanto, alta emissão de emissões
PP	3,3	Processo de produção relativamente simples
PS	5,8	Uma mistura comumente usada
PVC	4,2	Calculated como PVC puro, sem adição de estabilizantes

Fonte: GOEDKOOOP, M., 1995, p. 53.

2.2.6.2 Aço

As embalagens aço possuem como matéria prima o óxido de ferro, que quando aquecido dá origem ao aço utilizado em embalagens para alimentos, dentro outros tipos de utilidades (LANDIM, 2016). O material utilizado para embalagem, conhecido como Folha de Flandres, consiste em uma chapa de aço fino, laminada à frio, revestida com estanho comercial, que aumenta a resistência à corrosão e oxidação. O estanho garante soldabilidade ao material, enquanto mantém as propriedades de rigidez e moldabilidade do aço. Além disso o material é reciclável e degradável. Entretanto, podem sofrer amassamentos durante o transporte e comercialização, pode sofrer corrosão, além de permanecerem por mais de 100 anos no ambiente quando descartados de forma não adequada ABRE (2017).

A Figura 10 mostra a participação do setor de embalagens ferrosas nos resíduos sólidos urbanos dos Estados Unidos em 2007. As embalagens representam 17% dos resíduos ferrosos totalizando 2.680 mil toneladas.

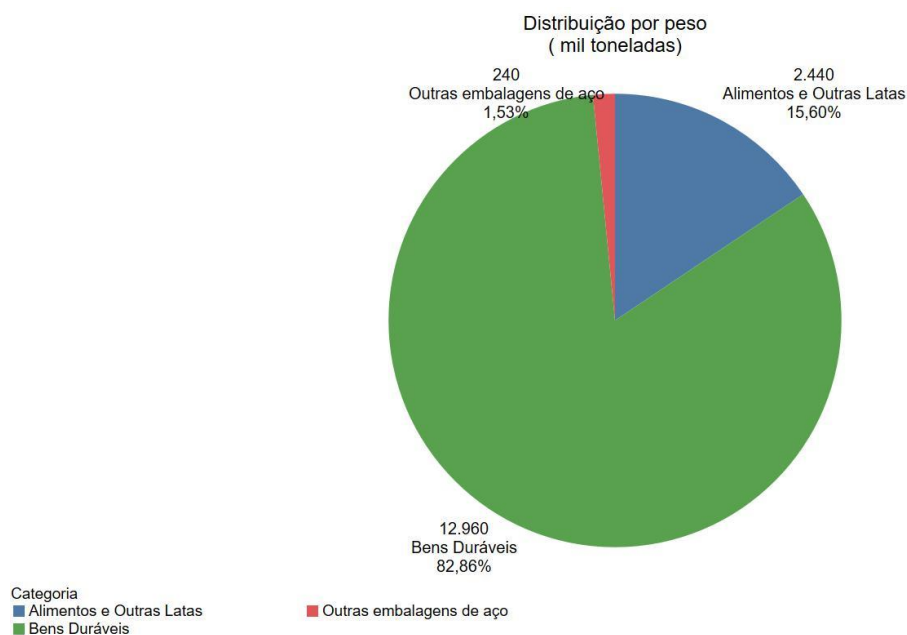


Figura 10– Distribuição das categorias de produtos ferrosos presentes nos RU's dos EUA,2007.

Fonte: Adaptado de EPA, 2007, p.46. Elaboração do Autor.

Obtenção

O primeiro passo para o processamento do aço é a produção do ferro fundido. Isso é feito misturando-se basicamente o minério de ferro, coque e calcário utilizando-se altas temperaturas no alto-forno. Redução do minério de ferro é o maior processo de consumo de energia na produção de aço primário. O ferro fundido é colocado em um recipiente com uma porcentagem de aço reciclado e outros químicos, depois se injeta oxigênio e a mistura é submetida a alta temperatura para a produção do aço (ABEAÇO, 2018).

O aço usado para a confecção das latas costuma ser processado e transformado em grandes bobinas e então transportado para a fabricação da folha de aço. Durante a fabricação é aplicada uma fina camada de estanho, formando as folhas de flandres, ou uma camada de cromo, formando as folhas cromadas. Esses revestimentos são utilizados para proteger o aço da oxidação. Bobinas de aço (flandres ou cromo) são então enviadas aos fabricantes de embalagem. Para alimentos ácidos, como os derivados de tomate, é necessária aplicação interna de estanho e verniz. Isso é feito na fábrica produtora da lata antes da confecção dos corpos da embalagem. Mais de 50 tipos de revestimentos foram desenvolvidos e testados para aplicação em embalagem de aço para contato com alimentos apresentando baixo risco a saúde (ABEAÇO, 2018).

Produção e Consumo

A produção brasileira de aço bruto alcançou 8,6 milhões de toneladas no primeiro trimestre de 2018, o que representa uma elevação de 4,9% frente ao mesmo período do ano anterior. A produção de laminados no mesmo período foi de 5,8 milhões, aumento de 7,3% em relação a 2017. A produção de semiacabados para vendas totalizou 2,3 milhões de toneladas no acumulado de 2018, um aumento de 2,9% na mesma base de comparação segundo o Instituto do Aço Brasil (2018).

A tabela 5, por sua vez, apresenta a evolução do consumo aparente de aço no Brasil, que também vem crescendo de forma significativa.

Tabela 5 – Consumo aparente de aço.

Aço	Unidade	2005	2006	2007	2008
Consumo aparente	1 mil t	19.851,60	20.249,70	24.989,50	27.192,30
Embalagens	1 mil t	936	873	891	886

Fonte: Adaptado de IPEA, 2012.

Uso de Energia

O uso final de energia para a indústria de ferro e aço flutuou significativamente entre 1958 e 1994. Entre 1958 e 1994, a participação de carvão e coque usados como fontes de energia caiu de cerca de 75% para 57% do total de combustíveis, seguida por uma queda na participação do petróleo de 10% para 3%. A quota de gás natural utilizada em a indústria aumentou de 10% para 28%. A participação da eletricidade aumentou de 4% para 11% durante o mesmo período, em grande parte devido ao aumento da produção secundária de aço. A figura 11 mostra a flutuação no uso de energia para o setor.

Já, no Brasil, Segundo o Ministério de Minas e Energias, os setores de ferro-gusa e aço ampliaram sua participação conjunta no consumo total de energia do país de 5,3% em 1970 para 8,4% em 2006. Considerando a origem dessa energia, em 2006, as principais fontes foram o coque de carvão mineral (34%), carvão vegetal (27%) e eletricidade (8,5%) (MME, 2007). As siderúrgicas brasileiras têm tentado reduzir sua dependência energética, principalmente, através de ganhos de eficiência. Entre 1970 e 2006, a energia necessária para produzir uma tonelada de aço foi reduzida de 0,6 tonelada equivalente de petróleo (tep) para 0,55 tep (MME, 2007). Entretanto, do ponto de vista comparativo, as

siderúrgicas brasileiras ainda são pouco eficientes; segundo as estimativas de Worrel et al (1997), de uma lista de sete países, o Brasil era o sexto em eficiência energética, ficando atrás da Alemanha, Japão, França, Estados Unidos e Polônia, e apenas na frente da China. Considerando a riqueza gerada, em 1970, o setor metalúrgico¹ usava 0,454 tep (tonelada equivalente de petróleo) para gerar US\$1.000 de riqueza; em 1980, essa relação subiu para 0,541 e atingiu 0,844 em 2006 (MME, 2007).

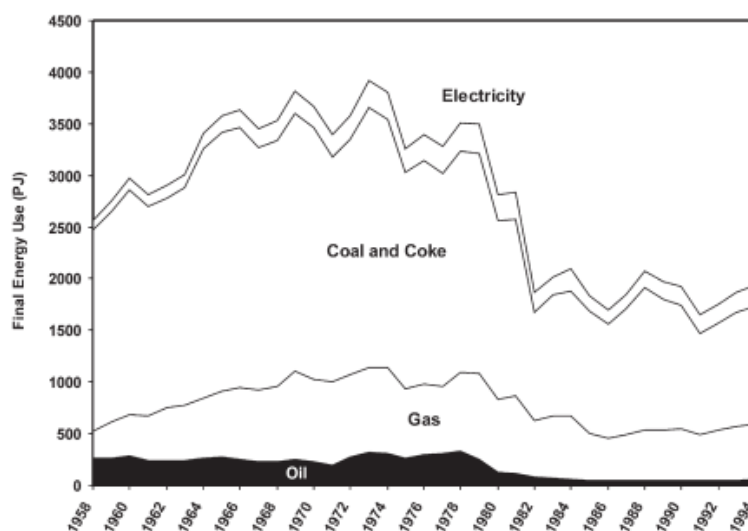


Figura 11– Uso de energia para produção de ferro e aço nos EUA, até 1994, expresso em PJ.

Impacto Ambiental

Como consequência da grande intensidade energética do setor siderúrgico, assim como de suas fontes de energia, outro importante problema ambiental associado à produção de ferro e aço é a poluição atmosférica. O processo siderúrgico emite uma série de poluentes como óxidos de enxofre (SO_x), gás sulfídrico (H₂S), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), etano (C₂H₆), material particulado e diferentes hidrocarbonetos orgânicos, como o benzeno. O CO₂ e CH₄ contribuem para o aumento da quantidade de carbono na atmosfera e, conseqüentemente para as mudanças climáticas. Quanto ao uso dos recursos hídricos pelas siderúrgicas, duas questões vêm sendo consideradas mais relevantes: o consumo de água e a contaminação dos corpos d'água pelos efluentes industriais. Com relação ao consumo d'água, o volume usado pelas usinas é elevado, principalmente devido à necessidade de resfriamento dos equipamentos. Quanto a contaminação, entre os poluentes encontrados estão amônia, benzeno e outros componentes aromáticos, sólidos em suspensão, cianetos, fluoretos e zínco, óleos, cobre, chumbo, cromo e níquel. Para lidar com esse problema, todas as usinas

devem ser equipadas com estações eficientes de tratamento de efluentes. Ainda assim, o problema não pode ser considerado resolvido, já que o lodo dessas estações deve ser tratado como resíduo sólido, cujo impacto ambiental dependerá da qualidade final de sua destinação (MILANEZ; PORTO, 2008).

A tabela 7, a seguir, mostra uma avaliação (método Ecoindicador 95) de impacto ambiental para produção de alguns produtos feitos de aço comumente utilizados.

Tabela 6 – Índice de impacto para produção de aços (Ecoindicador 95).

Produção de Aço (millipontos por kg)		
Material	Indicador	Descrição
Aço inoxidável	17	Material de folha, grau 18-8
Aço secundário	1,3	Material do bloco feito de sucata de 100%
Aço	4,1	Bloco de material feito com sucata média de 20%
Chapa de aço	4,3	Folha laminada a frio com sucata média de 20%

Fonte: GOEDKOOOP, M., 1995, p. 52.

2.2.6.3 Alumínio

Esse metal possui inúmeras vantagens, ele é leve, atóxico, maleável, impermeável a luz, umidade e odores, apresenta alta relação resistência/peso e resistência à corrosão. Este metal é comumente usado no formato de bisnaga, lata, bandeja, folhas final e aerossol. É amplamente usado para acondicionar alimentos, bebidas, produtos de higiene e beleza e, ainda, medicamentos sensíveis à luz, água e calor ABRE (2017).

A Figura 12 mostra a participação do setor de embalagens fabricada a partir de alumínio nos resíduos sólidos urbanos dos Estados Unidos em 2007. As embalagens representam 56% dos resíduos ferrosos totalizando 1.870 mil toneladas.

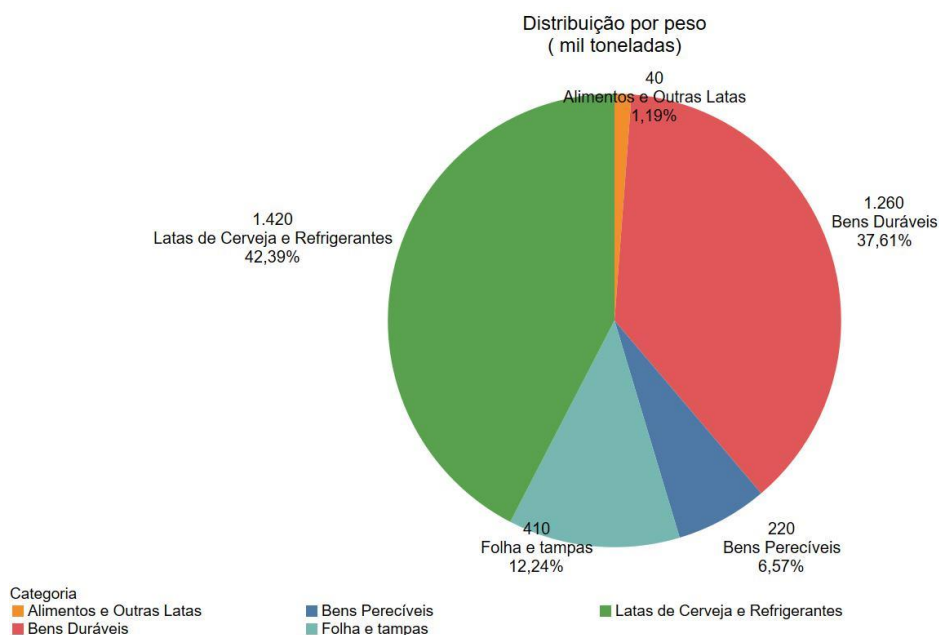


Figura 12– Distribuição das categorias de produtos feitos de alumínio presentes nos RU's dos EUA,2007.

Fonte: Adaptado de EPA, 2007, p.46. Elaboração do Autor.

Obtenção

O Alumínio não é encontrado em estado metálico na natureza, mas é o terceiro elemento mais abundante da crosta terrestre, sendo obtido a partir da bauxita submetida às etapas de refino e redução. A cadeia produtiva do alumínio inicia-se na exploração da bauxita. Após o tratamento e o processamento do minério, que envolvem a passagem por um sistema de lavagem e dissolução em soda cáustica, obtém-se a alumina, que posteriormente é transformada em alumínio metálico, através de processo eletrolítico, utilizando-se corrente elétrica contínua. (LANDIM, 2003).

Produção e Consumo

A maior parcela do consumo mundial de alumínio primário, da ordem de 24 milhões de t, está concentrada nos segmentos de embalagem (cerca de 25%), transporte (cerca de 22%) e construção civil (cerca de 20%). No caso das embalagens, o alumínio para a fabricação de latas de cerveja e refrigerantes ocupa lugar de destaque. Mais recentemente, por força das crises energéticas, tanto nos Estados Unidos quanto no Brasil, a produção do alumínio tem sofrido cortes, ajustando-se à redução de demanda. Entretanto o Brasil ainda se mantém como sexto produtor mundial de alumínio primário, precedido pelos Estados Unidos, Rússia, Canadá, China e Austrália. (ANDRADE; CUNHA; GANDRA, 2001). A

tabela 7 apresenta as estimativas do tamanho do mercado de alumínio no Brasil de 2005 a 2008.

Tabela 7 – Consumo aparente de alumínio.

Alumínio	Unidade	2005	2006	2007	2008
Consumo aparente	1 mil t	832,6	892,8	984,6	1.126,70
Embalagens	1 mil t	256,4	275	303,3	347
Latas	1 mil t	132,6	147,4	166,5	180,9

Fonte: Adaptado de IPEA, 2012.

Uso Energia

A base de energia para a produção mundial de alumínio²² (excluindo China e alguns outros países) são mostrados nos gráficos acima. Considerando que a produção considerável da China é em grande parte baseada no carvão, a porcentagem real de energia hidrelétrica em todo o mundo é provavelmente em torno de 55 % e a quota de carvão ligeiramente acima de 30 %.

World ex. China

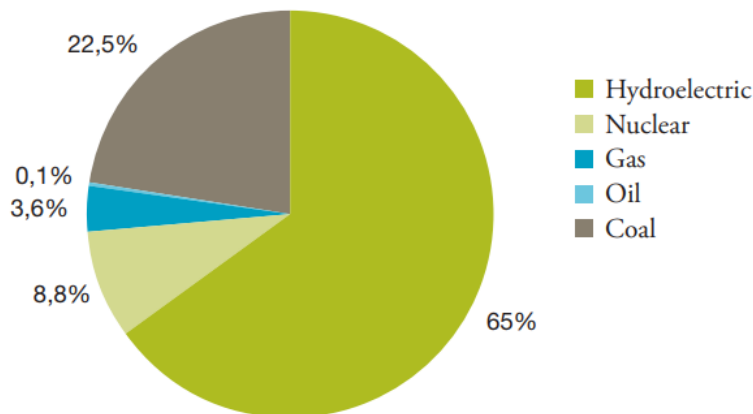


Figura 13– Base de energia para produção de alumínio primário no mundo, exceto China.

Fonte: HYDRO (2012)

Em 2009, para a produção de uma tonelada do metal foram consumidos em média 15,4Mwh de energia elétrica (ABAL, 2010). Neste sentido, os grandes produtores mundiais de alumínio, necessariamente, são importantes produtores de energia elétrica. Souza e Jacobi (2007) sustentam a existência de uma relação entre os países, grandes detentores de parques hidrelétricos e os principais produtores de alumínio primário. No ano de 2004, com exceção da Austrália, os oito maiores produtores de alumínio (China, Rússia, Canadá,

Estados Unidos, Brasil, Austrália, Noruega e Suécia), tinham na hidroeletricidade uma das mais importantes fontes de energia. Da energia elétrica gerada no Brasil durante o ano de 2009, 445 662,85Gwh – algo em torno de 5,8% desse total – foi consumido pelas indústrias produtoras de alumínio. Em termos de comparação, vale mostrar que esse volume corresponde a quase metade de toda a energia elétrica produzida na região Nordeste (47,6%) e a 62,50% da energia gerada na região norte do país (HENRIQUE, 2013).

Impacto Ambiental

A cadeia produtiva do alumínio implica sérios impactos ambientais. Os impactos são difusos e manifestam-se em todas as etapas do processo produtivo. Para a exploração da bauxita é retirada a vegetação superficial através do uso de tratores. Em seguida, a camada de solo fértil é removida e estocada em separado para ser usada durante o processo de recuperação. Na extração de bauxita os principais impactos relacionam-se ao processo de retirada, transporte e beneficiamento. Material particulado, erosão e lixiviação de áreas mineradas, contaminação e assoreamento de recursos hídricos fazem parte dos problemas ambientais produzidos (HENRIQUE, 2013).

A associação dos insumos durante a produção de alumina e alumínio caracteriza-se pela emissão de gases altamente impactantes sobre ambiente e à saúde, como os clorofluorcarbono). Inventários produzidos recentemente por alguns estados brasileiros mostram a participação das indústrias de alumínio na emissão de gases do efeito estufa: em Minas Gerais no ano de 2005, a indústria do alumínio participou com 13% do total de emissão de gases, ficando atrás, apenas, das indústrias de cimento (43,9%) e cal (38,2%) (FEAM, 2010). No estado de São Paulo, no inventário de emissões de fontes fixas de CO², elaborado pela CETE SB, no ano de 2008, as indústrias de minerais não metálicos – nesta tipologia estavam incluídos além da produção de alumínio primário, fornos de cal, cimento e produção de vidro –, ocupavam a segunda posição como emissores de CO², contribuindo com 26,4% do total estadual. (HENRIQUE, 2013). A tabela 8, a seguir, mostra uma avaliação (método Ecoindicador 95) de impacto ambiental para o alumínio.

Tabela 8 – Índice de impacto para produção do alumínio (Ecoindicador 95).

Produção de Alumínio (millipontos por kg)		
Material	Indicador	Descrição
Alumínio secundário	1,8	Feito completamente de material secundário
Alumínio	18	Contendo um material secundário médio de 20%

2.2.6.4 Vidro

O vidro é um sólido amorfo geralmente transparente, não cristalino, que tem muitas aplicações importantes em todo o mundo em uma variedade de indústrias. É talvez mais amplamente conhecido por seu uso extensivo em janelas de vidro e garrafas. É um dos materiais mais antigos usados na fabricação de embalagens. As embalagens podem ser lavadas e reutilizadas, o vidro é reciclável e não sofre perda de qualidade ou pureza. (ABRE, 2017). Os vidros possuem inúmeras vantagens, é inerte, impermeável à gases e a vapor, transparência, podendo apresentar variações de cor o que possibilita proteção aos produtos sensíveis à luz.

A Figura 14 mostra a participação do setor de embalagens fabricada a partir do vidro nos resíduos sólidos urbanos dos Estados Unidos em 2007. As embalagens representam 84% dos resíduos de vidro totalizando 11.470 mil toneladas.

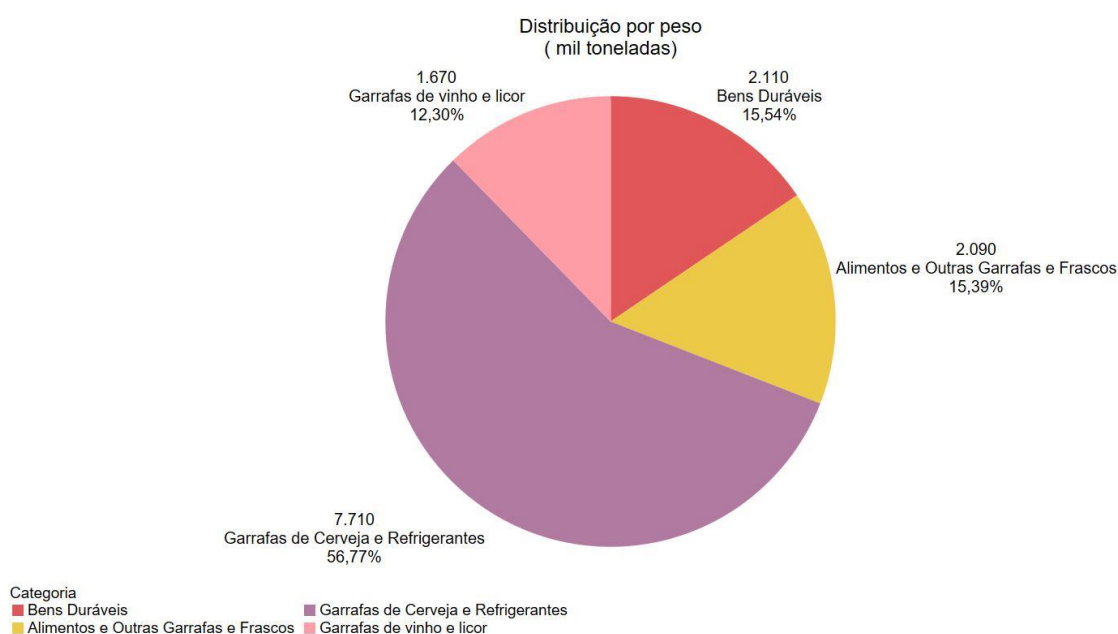


Figura 14 – Distribuição das categorias de produtos feitos de vidro presentes nos RU's dos EUA,2007.

Fonte: Adaptado de EPA, 2007, p.43. Elaboração do Autor.

Obtenção

Os vidros normalmente são fabricados através das matérias primas: areia, barrilha, calcário e cacos de vidros. O processo consistente na mistura desses materiais em proporções variadas e na sua fundição em temperatura elevada, entre 1350 °C e 1600 °C, o

que possibilita, se necessário, sua moldagem em diferentes formas e tamanho. O material é obtido por resfriamento de uma massa em fusão que endurece pelo aumento contínuo de viscosidade até atingir a condição de rigidez, sem sofrer cristalização. Existem dois métodos principais de produção de vidro. O primeiro é o processo de vidro float que é usado para fabricar vidro arquitetônico. O segundo é o processo de glassblowing que produz recipientes como garrafas e potes SANTOS (2003).

Do ponto de vista físico, o vidro pode ser definido como um líquido subresfriado, 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 9 são apresentadas as composições químicas de diversos vidros.

Tabela 9 – 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

Produção e Consumo

A indústria do vidro é continuamente crescente. A demanda global por vidro plano fabricado está crescendo a um ritmo acelerado, e deve chegar a 102.300 milhões de dólares em 2018, quase o dobro de seu valor desde 2008. Mais de dois terços da produção total de vidro plano são usados na construção, com o resto usado na indústria automobilística e outros usos variados. China, Europa Ocidental e América do Norte são as regiões com maior demanda por vidro. Nos Estados Unidos, a produção bruta de fabricação de vidro permaneceu estável, tendo subido apenas marginalmente de 22,5 bilhões de dólares em 1998 para 24,8 bilhões de dólares em 2015. A demanda americana por vidro plano deve

aumentar gradualmente, com a demanda por planos avançados vidro projetado para ser 795 milhões de pés quadrados em 2019 segundo o The Statistics Portal.

Na tabela 10 são apresentados os dados relativos ao consumo de vidro no Brasil. A participação do vidro nos resíduos sólidos urbanos possui algumas particularidades: em primeiro lugar, existem dificuldades técnicas para se reciclar vidros diferentes, como vidros de embalagem juntamente com vidros planos. Além disso, há a possibilidade da reutilização das embalagens, seja pela própria indústria, como no caso do setor de bebidas, seja pelo mercado informal. Estas possibilidades precisam ser levadas em consideração em uma política de logística reversa e responsabilidade compartilhada para estas embalagens.

Tabela 10– Consumo aparente de vidro.

Vidro	Unidade	2005	2006	2007	2008
Consumo aparente	1 mil t	2482	2533	2372	2411
Embalagens	1 mil t	939	961	1063	1041

Fonte: Adaptado de IPEA, 2012.

Uso de Energia

A fabricação de vidro pode ser classificada como intensiva em energia, considerando-se que consome, por tonelada, cerca de 1,8 milhão de kcal de energia térmica na fusão (o que equivale a cerca de 200 m³ de gás) e cerca de 200 kWh/t de energia elétrica em outras etapas do processo. A energia térmica era obtida, tradicionalmente, do óleo combustível. Em meados da década de 1990, no entanto, teve início a substituição do óleo por gás natural, que atualmente está praticamente concluída. O gás natural oferece vantagens significativas em relação ao óleo, como a queima mais uniforme – que permite melhor controle das variáveis de processo – e a redução considerável na emissão de poluentes. No caso brasileiro, porém, o fator decisivo para que a substituição tenha sido quase total foi provavelmente o grande aumento na oferta de gás, tanto o proveniente da produção interna quanto o importado da Bolívia. A disponibilidade muito maior de gás natural – aliada a suas vantagens como combustível – representou forte incentivo para os fabricantes de vidro efetuarem a substituição ROSA et al. (2007).

Impacto Ambiental

Durante a fabricação há o consumo de recursos naturais está ligado à matéria-prima principal que provém da areia, calcário, dolomita, feldspato, barrilha e nos compostos utilizados para coloração do vidro. Também há o consumo de água nas operações lavagem de equipamentos. A utilização de compostos com metais pesados na pigmentação do vidro gera toxinas no ar, que podem causar sérios problemas à saúde humana. O consumo de energia elétrica e térmica (queima de óleo e gás) contribui para o efeito estufa e aquecimento global principalmente pela liberação CO₂, CO, MP. Os gases de combustão geram emissões atmosféricas que são responsáveis pelos efeitos fotoquímicos (CO, HC); acidificação (HCl, NH₃, NO_x, SO₂) e aquecimento global (CO, CO₂, HC, N₂O). Quanto à geração de resíduos sólidos, a maior parte é perda de processo (embalagens falhadas) e podem ser recicladas, pois estão limpas, ou seja, sem contaminantes RIEGEL et al (2012).

A tabela 11, a seguir, mostra uma avaliação (método Ecoindicador 95) de impacto ambiental para produção de vidro.

Tabela 11 – Índice de impacto para produção de vidro (Ecoindicador 95).

Produção de Vidro (millipontos por kg)		
Material	Indicador	Descrição
Vidro	2,1	Vidro secundário de 57%
Lã de vidro e fibra de vidro	2,1	Para isolamento e reforço

Fonte: GOEDKOOOP, M., 1995, p. 53.

2.2.6.5 Celulose (papel/papelão)

O termo papelão abrange a cartolina, papelão aglomerado e placas de papelão corrugada ou sólidas. Esses materiais possuem vantagens como, possibilidade de serem fabricados em diversos tipos e formatos, são recicláveis, sua matéria prima é biodegradável levando cerca de 6 meses para serem degradadas a natureza. Entretanto, as embalagens formadas por celulose são altamente susceptíveis a danos ocasionados pela água e umidade, devido à sua natureza hidrofílica. Na indústria, a necessidade de materiais impermeáveis faz com que haja a combinação do papel com outros materiais como plásticos e metais. O que acaba tornando essas embalagens caras e difíceis de serem recicladas (LANDIM,2003).

A Figura 15 mostra a participação do setor de embalagens fabricada a partir de papel e papelão nos resíduos sólidos urbanos dos Estados Unidos em 2007. As embalagens representam 48% dos resíduos totalizando 39.940 mil toneladas.

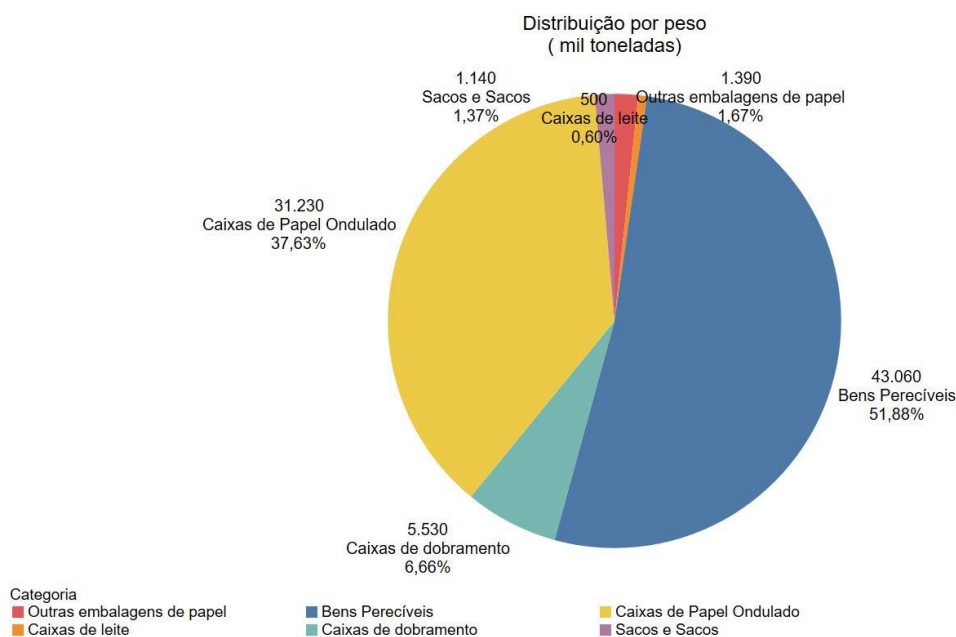


Figura 15– Distribuição das categorias de produtos feitos de papel e papelão presentes nos RU's dos EUA,2007.

Fonte: Adaptado de EPA, 2007, p.37. Elaboração do Autor.

Obtenção

A celulose é a matéria prima para produção de embalagens de papel e papelão. O papel consiste essencialmente em um aglomerado de fibras celulósicas de diferentes tamanhos entrelaçadas umas com as outras e finalmente, prensadas, oferecendo uma superfície adequada para colar, escrever ou imprimir (ROBERT, 2007).

A primeira etapa da fabricação de papel é dada pela coleta de troncos de árvores nas áreas de reflorestamento. Ao chegar à fábrica, a madeira é descascada e suas cascas podem ser queimadas para geração de energia dentro da própria instalação industrial. As toras são então picotadas na forma de cavacos, indo para a etapa de polpação. O processo de polpação tem como objetivo principal obter a pasta celulósica. O processo de polpação pode ser realizado por meio de um processo químico (com pH neutro, ácido ou básico), no qual a maior parte da lignina é removida, por processos mecânicos, no qual a maior parte da madeira é aproveitada (polpações de alto rendimento), por processos físicos e biotecnológicos. O método de polpação mais utilizado no Brasil é o processo Kraft. Nele, os cavacos são submetidos à reação química através de uma solução contendo hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S) dentro de um equipamento chamado digestor.

Nele, altas pressões e temperaturas fazem com que os produtos químicos entrem em contato com a lignina, fragmentando-a e solubilizando-a na solução alcalina. Através de processos de lavagem, a lignina solubilizada é removida das fibras (SANTOS et al., 2001).

Devido sua coloração escura, a pasta de celulose obtida após a polpação passa por outro processo químico, de branqueamento. Nele, a lignina residual que não foi retirada dos processos anteriores é finalmente removida. Dependendo da aplicação final do produto, vários aditivos são incorporados à fabricação, como por exemplo, colas, cargas minerais, corantes, pigmentos, água e demais elementos. Além disso, fibras recicladas obtidas de papéis pós-consumo podem ser empregadas. Após a etapa de branqueamento da polpa, ela é lançada em telas formadoras que, aliadas a um sistema a vácuo, retira a maior parte da água formando assim uma folha de papel. Essa folha é então prensada para remoção da umidade final e passa por um processo de secagem, com cilindros aquecidos a vapor. O papel é enrolado em grandes bobinas, seguindo então para acabamento final, embalagem e destinação ao mercado consumidor (SANTOS et al., 2001).

Produção e Consumo

A produção mundial de papel cresceu de cerca de 50 milhões de toneladas em 1950 para 398 milhões em 2013. Até 2030, esse volume deverá alcançar perto de 482 milhões de toneladas, o que significa uma taxa de crescimento de 1,1% ao ano. Essa taxa é composta por um decréscimo de consumo no mundo desenvolvido, como Japão, Europa Ocidental, América do Norte e Oceania, apresentando um valor de -0,7% a 1,0% ao ano de CAGR (Compound Annual Growth Rate). No período considerado (2004 a 2014), a produção de papéis no Brasil cresceu cerca de 3% a.a., acompanhando o crescimento da demanda no mercado doméstico. Nesses últimos dez anos, os maiores destaques de crescimento na indústria brasileira ficaram por conta dos papéis para embalagem e tissue. Em 2014 a produção de papel totalizou 10,39 milhões, desse volume, os papéis para embalagens corrugadas são os principais tipos produzidos no Brasil, representando 52% do total. (ABTCP, 2016).

Os dados sobre consumo aparente de papel/papelão são apresentados na tabela 12. O papel/papelão se diferencia dos demais materiais descritos anteriormente pelo fato de grande parte de seus produtos terem um ciclo de vida curto e acabarem sendo descartados como resíduos sólidos urbanos, caso de jornais, revistas e uma grande parte do papel de imprimir e escrever. Todavia, para manter a consistência com os demais setores e devido

à dificuldade de se estimar o quanto dos outros segmentos da indústria de papel seria descartado, manteve-se o destaque apenas para as embalagens. Os dados apresentados mostram a importância das embalagens para o setor de papel/papelão, uma vez que elas representam quase 50% do consumo aparente destes.

Tabela 12 – Consumo aparente de papel/papelão.

Papel e Papelão	Unidade	2005	2006	2007	2008
Consumo aparente	1 mil t	7328	7702	8099	8755
Embalagens	1 mil t	3535	3595	3808	4154

Fonte: Adaptado de IPEA ,2012.

Uso de Energia

O setor de papel e celulose é intensivo em energia, com uma participação de 4,3% no consumo total no Brasil em 2014 (EPE, 2015). A maior parte da energia consumida pelo setor é gerada a partir de fontes renováveis, subprodutos de seus processos produtivos. Em 2014 (EPE, 2015), 71% da energia consumida pelo setor foi proveniente de fontes renováveis, destacando-se a participação de 63% de energia térmica e elétrica gerada a partir de biomassa e licor negro (que são zero gases efeito estufa (GEE) pelo Greenhouse Gas Protocol), o que faz com que a emissão de GEE da atividade industrial seja mais baixa do que, a princípio, o consumo de energia indicaria (HORA; MELO, 2015).

Impacto Ambiental

Os resíduos sólidos gerados na indústria de papel e celulose são considerados pela legislação brasileira como não-perigosos (classe III). No entanto, são consideráveis em quantidade e em variedade. A maior parte das unidades possui aterros controlados para a deposição segura dos resíduos. Os resíduos gasosos têm sua emissão atmosférica mais significativa, e passíveis de controle na indústria de papel e celulose são geradas no processo Kraft. São os materiais particulados (MP), compostos de enxofre reduzido total (TRS), óxidos de nitrogênio e de enxofre, compostos orgânicos voláteis, cloro e dióxido de cloro, quando usados no branqueamento (MIELI, 2007). Em relação aos resíduos líquidos, as fábricas de papel e celulose, principalmente as que utilizam o processo Kraft, geram grande volume de efluentes líquidos, devido à grande quantidade de água utilizada nos processos. Estes efluentes são ricos em sólidos suspensos, matéria orgânica dissolvida, cor e, principalmente compostos organoclorados (em fábricas que utilizam o cloro e seus derivados) (MIELI, 2007). Os resíduos gerados pela empresa podem agredir de forma

intensa a natureza assim gerando um passivo ambiental que deverá ser recuperado. A tabela 13, a seguir, mostra uma avaliação (método Ecoindicador 95) de impacto ambiental para produção de papel.

Tabela 13 – Índice de impacto para produção de papel (Ecoindicador 95).

Produção de Papel (millipontos por kg)		
Material	Indicador	Descrição
Papel	3,3	Clareamento sem cloro, qualidade normal
Papel Reciclado	1,5	Resíduo de papel 100%, não branqueado

Fonte: GOEDKOOOP, M., 1995, p. 53.

2.3 Características sobre a Reciclagem dos Materiais de Embalagens

Os estágios do ciclo de dos materiais de reciclagem e descarte são muito importantes. Nessas etapas a ciência e a engenharia de materiais desempenham um papel expressivo. Esses estágios são importantes na etapa de seleção de materiais, em que o descarte dos materiais empregados deve ser um critério importante. Sob uma perspectiva ambiental, o material ideal deveria ser ou totalmente reciclável ou totalmente biodegradável. Reciclável significa que um material, pode ser reprocessado após o uso, reentrar no ciclo dos materiais e ser utilizado em outro componente – processo que poderia ser repetido infinitas vezes. Por completamente biodegradável, refere-se que o material se deteriora e retorna virtualmente ao mesmo estado no qual existia antes de seu processamento inicial através de interações com o meio ambiente (produtos químicos naturais, microorganismos, oxigênio, calor, luz do sol etc). Os materiais aplicados em engenharia exibem graus variáveis de reciclabilidade e biodegradabilidade CALLISTER (2012).

2.3.1 Plásticos

Uma importante característica dos materiais plásticos utilizados como embalagem de alimentos nas operações de reciclagem é o seu comportamento termo-físico. Os materiais de embalagem termoplásticos caracterizam-se como produtos de reações de polimerização completas com cadeias lineares ou ramificadas. As propriedades físicas são afetadas quando submetidos ao calor e resfriamento em indefinidos ciclos, ocorrendo a formação de reduzido índice de ligações cruzadas, as quais estão associadas com a rigidez dos mesmos (SELKE, 1990). Os materiais termoplásticos compõem quase integralmente o volume dos plásticos utilizados como embalagens primárias em alimentos.

Os materiais plásticos termofixos são produtos de polimerização em que ocorre a formação de elevado número de ligações cruzadas. Quando amolecidos, pela ação do calor e resfriados, endurecem irreversivelmente, fenômeno conhecido como cura, conferindo-lhes características de extrema rigidez. As resinas epóxi e os componentes moldáveis à base de formaldeído e fenol são alguns exemplos desses materiais. Em embalagens plásticas a maior utilização de materiais termofixos é verificada na confecção e preparação de tintas, vernizes, termosselantes, adesivos, sistemas rígidos para embalagens flexíveis (tampas, sistemas de dosagem, etc.), entre outros. Em função de suas características físico-químicas, quando em composição com materiais termoplásticos de embalagens de alimentos (laminados, garrafas e potes plásticos, etc.), diminuem o valor relativo de reciclabilidade destes materiais, constituindo-se em elementos contaminantes dos mesmos (FORLIN; FARIA,2012).

A presença de materiais estranhos, como aço, alumínio, vidro, papel/cartão, tintas, vernizes, entre outros, utilizados nos processos de laminação e conversão de materiais plásticos com a finalidade de otimizar ou aumentar a eficiência do sistema de embalagem, constituem-se, em contaminantes na reciclagem de embalagens plásticas, bem como os resíduos de alimentos remanescentes na embalagem pós-consumo, ou sujidades adquiridas após o seu descarte (FORLIN; FARIA,2012).

De forma geral, quanto menor o número de componentes poliméricos e complexidade do sistema de embalagem, maior o seu valor de reciclagem, consequência da redução das etapas e recursos tecnológicos dispendidos no processo, como limpeza, separação dos materiais que compõe a embalagem (delaminação), recuperação de coadjuvantes utilizados na limpeza e delaminação (água e solventes) e energia necessária para estas operações. A fim de facilitar a identificação e a separação de materiais plásticos no processo de reciclagem está regulamentada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) a simbologia apresentada na figura 16, em consonância com a regulamentação internacional, devendo ser observada pelos produtores de materiais plásticos (FORLIN; FARIA,2012).

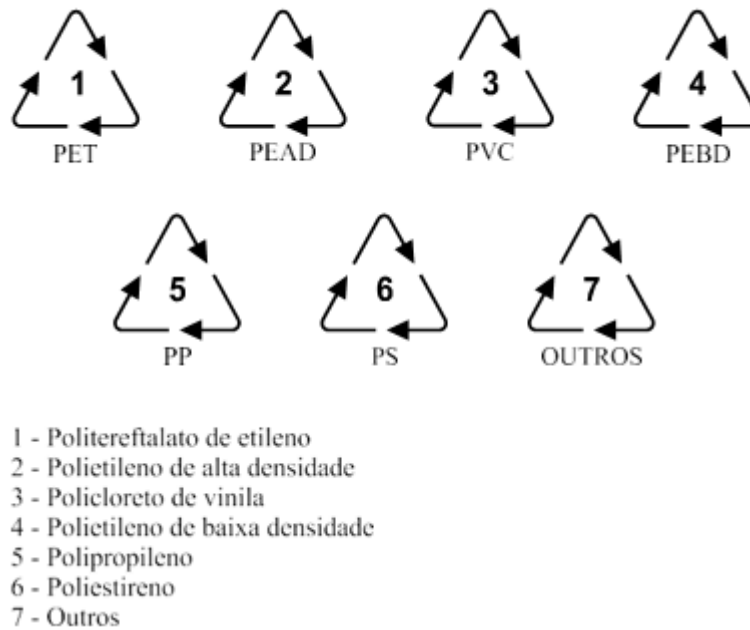


Figura 16 – Simbologia utilizada para identificação e separação de materiais-plásticos em processo de reciclagem.

Fonte: ABNT/NBR 13230.

A reciclagem de embalagens plásticas pode ser entendida como sendo a implementação de processos e técnicas para otimizar a utilização de energia, matérias-primas, produtos e materiais empregados na fabricação de embalagens, preservando-lhe com segurança a função intrínseca quando re-destinados para a preservação de alimentos, ou sua funcionalidade como novas matérias-primas ou produtos, amparada em conceitos econômicos, sociais, sanitários e de impacto ambiental adequados. Neste contexto, as rotas potenciais ou com viabilidade econômica disponíveis para a reciclagem de materiais plásticos podem envolver: (a) a transformação mecânica em novos materiais ou produtos; (b) a recuperação de resinas; (c) a reutilização de embalagens; (d) a transformação energética; e, (e) a degradação ambiental (FORLIN; FARIA,2012).

A tabela 14 apresenta alguns produtos reciclados provenientes de polímeros comumente utilizados.

Tabela 14 – Produtos reciclados para vários polímeros comerciais.

Nome do Polímero	Produtos Reciclados
PET	Frascos para sabão líquido, correias, enchimento de fibras para casacos de inverno, pranchas de surf, pincéis para pintura, revestimento exterior de bolas de tênis, garrafas de refrigerantes, filmes caixas de ovos, esquis , carpetes, barcos
PEAD	Bases de garrafas de refrigerantes, vasos de flores, tubulações de drenagem e ralos, placas, assentos de estádios, latas de lixo, latas para reciclagem de lixo, cones para sinalização de trânsito, revestimento de mochilas, fracos para detergentes e brinquedos
PVC	Tapetes, tubulações, mangueiras, para-lamas
PEBD	Sacos para latas de lixo, sacolas de supermercado, sacolas para usos diversos
PP	Latas de tinta, raspadores de gelo, bandejas de lanchonetes, rodas de cortadores de grama, peças para baterias de automóveis
PS	Suportes para placas de automóveis, sistemas de drenagem para campos de golfe e tanques sépticos, acessórios de mesa para escritórios, arquivos de pastas suspensas, bandejas de alimentos, vasos de flores, latas de lixo

Fonte: Adaptado de Callister, 2012, p.749.

Dados Reciclagem

A avaliação da reciclagem de plásticos, conforme apresentado na tabela 15, requer uma análise mais cuidadosa, devido à diversidade de polímeros envolvidos. Como não há uma única organização por trás da indústria do plástico, a tabela precisou ser criada a partir de fontes diversas no estudo do IPEA. Outra dificuldade da coleta de dados sobre a reciclagem de plástico é a grande quantidade de pequenas empresas envolvidas (IPEA,2012).

Tabela 15 – Dados para reciclagem dos plásticos no Brasil.

Plástico	Unidade	2.005	2.006	2.007
Resíduo reciclado	1 mil t	860	914	962
PEAD	1 mil t	52	...	72
PEBD	1 mil t	90	...	112
PET	1 mil t	244	...	289
PP	1 mil t	33	...	53
OS	1 mil t	18	...	31
PVC	1 mil t	10	...	22
Taxa de Reciclagem pós consumo	%	13	11	12

Fonte: Adaptado de IPEA ,2012, p. 33.

2.3.2 Aço

O aço é 100% reciclável, podendo voltar a cadeia infinitas vezes sem a perda de características mecânicas do material. O aço pós consumo destinado a reciclagem não precisa ser separado por cor da embalagem ou tipo de revestimento, pode ser destinado a siderúrgica para beneficiamento com até 5% de impurezas. Quando reciclado, volta ao mercado em forma de automóveis, ferramentas, vigas para construção civil, arames, vergalhões, utensílios domésticos e outros produtos, inclusive novas latas. As latas devem estar livres de impurezas contidas no lixo, principalmente terra e outros materiais metálicos, como alumínio. A presença de matéria orgânica gera mais escória nos fornos de fundição. Por serem magnéticas, as latas de aço podem ser separadas mecanicamente por meio de eletroímãs antes ou depois da incineração. Se incineradas em temperatura acima de 1500 graus centígrados, as latas viram novamente ferro gusa, produto siderúrgico. As latas de aço que não são recicladas enferrujam. Elas se decompõem, voltando ao estado natural - óxido de ferro (CEMPRE,2018).

Depois de separadas do lixo, por processo manual, ou através de separadores eletromagnéticos, as latas de aço precisam passar por processo de limpeza em peneiras para a retirada de terra e de outros contaminantes superficiais. Em seguida, são prensadas em fardos para facilitar o transporte nos caminhões até as indústrias recicladoras. Ao chegar na usina de fundição ou siderúrgica a sucata vai para fornos elétricos ou a oxigênio, aquecidos a 1550 graus centígrados, em média. Após atingir o ponto de fusão e chegar ao estado de líquido fumegante, o material é moldado em tarugos e placas metálicas, que serão cortados na forma de chapas de aço. A sucata demora somente um dia para ser reprocessada e transformada novamente em lâminas de aço usadas por vários setores industriais - das montadoras de automóveis às fábricas de latinhas em conserva. O material pode ser reciclado infinitas vezes, sem causar perdas ou prejudicar a qualidade. Aciarias de porte médio equipadas com fornos elétricos processam a sucata por custo inferior ao das siderúrgicas convencionais (CEMPRE,2018).

Dados Reciclagem

Neste caso, o resíduo interno às usinas é aquele gerado pelo próprio setor siderúrgico na confecção de produto de aço; o resíduo industrial refere-se àquele gerado durante a produção de bens, como a indústria automobilística e de eletrodomésticos; por

fim, a sucata de obsolescência seria o “ferro velho” propriamente dito (IPEA,2012). A tabela 17 apresenta dados da reciclagem do aço.

Tabela 16 – Dados para reciclagem de aço no Brasil.

Aço	Unidade	2.005	2.006	2.007	2.008
Resíduo reciclado	1 mil t	8.125	8.544	8.853	9.405
Embalagens	1 mil t	224	235	244	97
Taxa reciclagem embalagens	%	24	27	27	

Fonte: Adaptado de IPEA ,2012, p. 32.

2.3.3 Alumínio

Destaque-se o crescimento da reciclagem do alumínio, que já atinge cerca de 30% na composição da oferta do metal no mundo, tendo em vista a vantagem em relação ao custo de energia para a produção de lingote secundário, que representa cerca de 5% do custo relativo à produção do alumínio primário (ANDRADE;CUNHA;GANDRA, 2001).

As ligas de alumínio são muito resistentes à corrosão e, portanto, não são biodegradáveis. Felizmente, no entanto, elas podem ser recicladas; de fato, o alumínio é o metal não ferroso reciclável mais importante. Uma vez que o alumínio não é corroído com facilidade, ele pode ser totalmente recuperado. Menos energia é necessária para refinar o alumínio reciclado em comparação à energia necessária para sua produção primária. Aproximadamente 28 vezes mais energia é necessária para refinar minérios naturais de alumínio que para reciclar os resíduos de latas de bebidas de alumínio. Além disso, um grande número de ligas comercialmente disponíveis foram projetadas para acomodar a contaminação por impurezas. As principais fontes de alumínio reciclado são as latas de bebidas usadas e as sucatas de automóveis (CALLISTER,2012).

Dados Reciclagem

No caso do alumínio, conforme apresentado na tabela 17, a taxa geral de reciclagem se tem mantido estável nos últimos anos, oscilando na faixa dos 37%. A taxa de reciclagem das latas de alumínio também se tem mantido estável, porém em um patamar bastante superior, já acima dos 90%.

Tabela 17– Dados para reciclagem de alumínio no Brasil.

Alumínio	Unidade	2.005	2.006	2.007	2.008
Resíduo reciclado	1 mil t	301	370	340	412
Latas recicladas	1 mil t	128	139	161	166
Taxa de reciclagem	%	36	41	36	37
Taxa de reciclagem latas	%	96	94	97	92

Fonte: Adaptado de IPEA ,2012, p. 31.

2.3.4 Vidros

O material cerâmico consumido pelo público em geral em maiorias quantidades é o vidro na forma de recipientes. O vidro é um material relativamente inerte, e como tal, não se decompõe, dessa forma, ele não é biodegradável. Uma proporção significativa dos aterros municipais consiste em sucatas de vidros, e o mesmo ocorre com resíduos de incineradores.

Além disso, não há estímulo econômico significativo para a reciclagem do vidro. Suas matérias-primas básicas (areia, soda cáustica e calcário) são baratas e amplamente disponíveis. Além disso, a sucata de vidro (também chamada cacos de vidro) deve ser classificada pela cor (transparente, âmbar, verde), pelo tipo (de chapas ou de recipientes) e pela composição (cal, chumbo, e borossilicato); esses procedimentos de classificação demandam tempo e são caros. Portanto, a sucata de vidro reciclado tem baixo valor de mercado, o que diminui sua reciclabilidade. As vantagens de utilizar o vidro reciclado incluem taxas de produção mais rápidas e maiores e uma redução na emissão de poluentes. (CALLISTER,2012)

Dados Reciclagem

A tabela 18 resume as principais características da reciclagem de vidro. Os dados disponíveis referem-se apenas ao segmento de embalagens, sendo este o principal componente reciclado.

Tabela 18 – Dados para reciclagem de vidro no Brasil.

Vidro	Unidade	2.005	2.006	2.007	2.008
Embalagens reutilizadas	1 mil t	188	192	213	208
Resíduo reciclado	1 mil t	423	442	499	489
Taxa de Reciclagem embalagens	%	45	46	47	47

Fonte: Adaptado de IPEA ,2012, p. 33.

Conforme mencionado anteriormente, o vidro é caracterizado pela possibilidade de reutilização, sendo estimado que cerca de 20% das embalagens sejam reutilizadas pela indústria. Além do reuso industrial, estimativas indicam que o reuso caseiro e informal seria responsável por 33% dos destinos destas embalagens (ABRELPE, 2010).

2.3.5 Papel/Celulose

Os papéis coletados geralmente chegam a fábrica misturados com outras substâncias. Na primeira parte do processo, todo o material coletado é triturado formando uma pasta de celulose. Feito isso, esta pasta é peneirada para retirar todos os tipos de impurezas contidas na pasta como fitas adesivas, plástico, e alguns metais. A retirada de tintas da pasta de celulose é feita então com a adição de compostos químicos (água e soda cáustica). Nos refinadores acontece um processamento da pasta para melhorar a ligação entre as fibras de celulose para que esta finalmente possa ser branqueada e segurem para as máquinas de fazer papel. Para que o papel seja passível de reciclagem com qualidade, ele não pode estar “contaminado” com materiais tais como ceras, plásticos, manchas de óleo e tinta, terra, pedaços de madeira, barbantes, cordas, metais, vidros, etc, os quais podem dificultar o processo de reciclagem. Por isso, adota-se uma subdivisão indicativa para papel reciclável e papel não reciclável (KLOCK; ANDRADE; HERNANDEZ, 2013).

A reciclagem de papel é uma alternativa para redução do uso de energia, pois o consumo na produção de polpa de celulose virgem é superior ao da reciclagem, o que gera um balanço final positivo a favor do reaproveitamento do papel. O impacto nas emissões, contudo, não é claro, pois depende principalmente dos combustíveis utilizados nas unidades de reciclagem em comparação com as unidades que produzem a polpa de celulose virgem (ABDI, 2012).

Dados Reciclagem

A reciclagem de aparas de papel e papelão no Brasil também é uma atividade bastante consolidada, seja pelo próprio sistema de retorno de resíduos de gráficas e empresas de embalagem, seja pela atuação dos catadores de material reciclável. Considerando os setores estudados neste relatório, este seria aquele com taxa de recuperação de resíduos mais elevada, conforme a tabela 20, embora isto se deva, conforme discutido anteriormente, à natureza dos produtos de papel, que, em sua maioria, têm um ciclo de vida curto.

Tabela 19 – Dados para reciclagem de papel e papelão no Brasil.

Papel e Papelão	Unidade	2.005	2.006	2.007	2.008
Resíduo reciclado	1 mil t	3.438	3.497	3.643	3.828
Embalagens recicladas	1 mil t	2.411	2.437	2.595	2.762
Taxa reciclagem embalagens	%	68	68	68	67

Fonte: Adaptado de IPEA ,2012, p. 32.

3 METODOLOGIA

De modo a desmistificar o uso de materiais plásticos como embalagens comparando aspectos relacionados com sua produção e ciclo de vida com outros materiais comumente empregados, a pesquisa se deu em duas etapas maiores concentradas em revisões bibliográficas e uma etapa final concentrada na análise dos dados coletados.

Quanto aos objetivos a pesquisa procurou descrever os parâmetros comumente utilizados para avaliação do desenvolvimento sustentável de um produto, a importância do setor de embalagens nesse quesito e as características dos materiais comumente utilizados, de modo a estabelecer correlações com os dados e avaliar sob a ótica ambiental as características dos materiais de forma comparativa.

A avaliação foi feita de forma qualitativa-quantitativa. Os dados foram levantados através da consulta de autores em produções científicas, como artigos, livros, dissertações, e relatórios de desempenho da indústria. A análise dos dados foi realizada através da sistematização dos dados levantados nas revisões bibliográficas e através do enriquecimento do conteúdo com base em autores em produções científica aumentando a prospecção à descoberta.

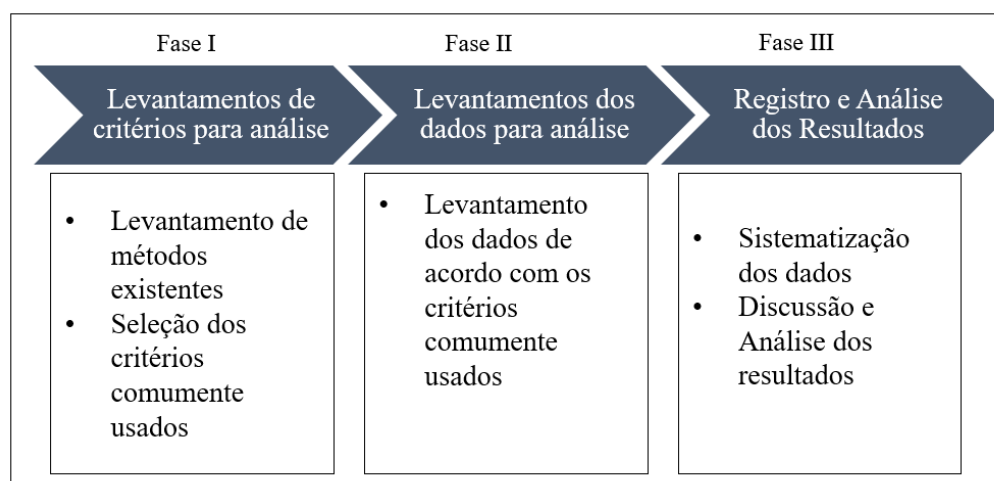


Figura 17– Diagrama das etapas de desenvolvimento da pesquisa.

Fonte: Próprio Autor.

A fase I e a fase II foram compostas de revisões bibliográficas. Durante a fase I, foi elaborada uma revisão bibliográfica para melhor compreensão de conceitos essenciais sobre a sustentabilidade, desenvolvimento sustentável, métodos para o desenvolvimento,

papel dos materiais, ciclo de vida, entre estes tópicos. O quadro geral de pesquisa, de acordo com Voss, Tsiriktsis e Frohlich (2002), deve apresentar uma visão geral do que está sendo estudado, e os principais fatores e as relações entre eles a fim de levantar as principais variáveis que devem ser consideradas na condução do estudo. Desta forma, a revisão bibliográfica deu suporte para a identificação de lacunas de pesquisa a fim de justificar o propósito do presente estudo, como também para o conceito ou fenômeno da literatura a ser verificado. Na etapa II foram coletados dados sobre o setor de embalagens, com base nos parâmetros levantados na fase I com relação ao avaliação de ciclo de vida e outras ferramentas de desenvolvimento sustentável.

Por fim na etapa III, os dados levantados na etapa II foram sistematizados e foi realizada a análise comparativa entre os materiais com foco nos materiais plásticos. Esta etapa foi complementada com a adição de pensamentos de autores sobre o assunto, a fim de estimular o pensamento crítico a respeito do tema e pontuar focos para discussões futuras.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da revisão bibliográfica das ferramentas usadas para se atingir o desenvolvimento sustentável, foram levantados quatro pontos-chaves citados na maioria das ferramentas para se discutir e realizar uma comparação entre os materiais utilizados em embalagens. Esses pontos foram:

- Considerações sobre a fonte dos recursos das matérias-primas;
- Considerações sobre o uso energético para produção dos materiais;
- Considerações sobre o consumo e descarte dos produtos de embalagem;
- Considerações sobre o uso de água e o impacto ambiental na produção dos materiais.

Os dados coletados foram então sistematizados de acordo com esses pontos para realização da análise a seguir.

4.1.1 Considerações sobre a Fonte dos Recursos

Uma das grandes discussões a respeito dos materiais plásticos referem-se ao fato deles serem produzidos a partir do petróleo ou gás natural, que são recursos “ não renováveis”, e seu uso deveria ser desencorajado para prolongar a vida útil de suas matérias-primas para outros fins. Entretanto, comparando a fonte das principais matérias-primas utilizada para a fabricação dos outros materiais utilizados embalagem nota-se que apenas o papel é originado de fonte renovável, como pode ser observado na tabela 20.

Tabela 20– Origem das fontes das principais matérias primas utilizadas para fabricação dos materiais de embalagem.

Material	Principal Matéria Prima	Tipo de Fonte
Plástico	Petróleo	Não Renovável
Aço	Óxido de Ferro	Não Renovável
Alumínio	Bauxita	Não Renovável
Vidro	Calcário	Não Renovável
Papel	Celulose	Renovável

Fonte: Próprio autor

Além disso, como apresentado anteriormente, as matérias-primas químicas, consomem apenas de 4% a 5% da produção total de petróleo em todo mundo. Segundo o autor Guillet (1997), a restrição de velocidades de automóveis a 55 milhas por hora nos

EUA e a legislação mais recente sobre economia de combustível para automóveis, economizaram mais petróleo do que o necessário para produzir todos os plásticos do mundo.

Ainda segundo Andraday (2003), a enorme conveniência e a economia de energia oferecida pelos plásticos em uma gama desconcertante de aplicações facilmente justificam esse gasto mínimo de combustível fóssil. Cerca de 60% da matéria-prima, bem como a energia do processo para a fabricação de plásticos são derivados de gás natural de queima relativamente limpa e apenas 33% são de fontes de carvão ou petróleo.

Em aplicações de transporte, particularmente no projeto de automóveis e aeronaves, a substituição de peças metálicas pelos materiais poliméricos mais leves contribui para uma economia de energia muito superior ao custo mínimo das matérias-primas envolvidas na produção de resina. Diversos estudos de caso ilustram casos em que o uso de uma quantidade relativamente pequena de material plástico leva a economias significativas de energia (assim como níveis de emissão). Essas descobertas são baseadas em análises abrangentes do tipo “berço ao túmulo” relatadas para os materiais relevantes. (ANDRADY,2003).

Além disso, a produção de materiais plásticos não está restringida apenas a utilização de petróleo e gás natural como fonte de matéria-prima, esses materiais podem ser feitos de uma ampla variedade de fontes de carbono. Os materiais plásticos, são baseados em carbono, hidrogênio, nitrogênio e oxigênio, e quantidades menores de cloro, flúor e enxofre, que estão entre os elementos mais comuns na superfície da Terra. Seu custo varia mais ou menos, dependendo da energia necessária para convertê-los em intermediários químicos úteis. Poucas pessoas percebem que o polietileno, que é o maior volume de plástico comercial, foi originalmente produzido na Grã-Bretanha pela fermentação de grãos para produzir álcool e desidratação do álcool para produzir etileno. Ele e muitos outros plásticos comuns, incluindo o estireno e o poliéster, podem ser produzidos conhecendo processos químicos de fontes renováveis, como trigo, celulose, amido e outras formas de biomassa (GUILLET, 1997).

Como exemplo, ao longo dos últimos 30 anos inúmeros polímeros biorrenováveis foram sintetizados com propriedades comparáveis às dos materiais derivados do petróleo, o mais conhecido dentre esses polímeros é ácido poli-l-lático (PLA), derivado do ácido

lático, tendo como matérias-primas para sua fabricação são produtos renováveis ricos em amido, tais como milho, açúcar de beterraba e trigo (CALLISTER, 2012).

Neste caso, para utilização de matérias-primas renováveis, no entanto, há um preço a se pagar. Como apontado em publicações anteriores e segundo o autor Guillet (1997) o uso de “recursos renováveis” como a biomassa, para substituir plásticos sintéticos ou fibras, implicaria na utilização de vastas áreas de terras agrícolas para fornecer matérias-primas, um cenário que seria inaceitável em um mundo em que milhões de pessoas passam fome todos os anos. Além disso, outros fatores devem ser levados em contas, como o custo de produção, por exemplo, o qual seria provavelmente muitas vezes maior do que o uso de gás, petróleo ou carvão como matéria-prima. Qualquer estratégia que requer um retorno ao uso dos chamados recursos renováveis, como madeira, algodão, couro e lã, resulta em um esgotamento da biosfera, as finas camadas verdes que cobrem a terra. Mais árvores estarão sendo cortadas e usando mais terra para cultivar milho caso decida-se substituir os materiais sintéticos.

Esta é uma estratégia, portanto, pode não seria sustentável a longo prazo e causaria dificuldades físicas e econômicas incalculáveis, mesmo a curto prazo, particularmente entre os países menos desenvolvidos do mundo.

4.2 Considerações sobre o Uso de Energia

Outra grande preocupação do movimento ambientalista tem sido o uso crescente de embalagens descartáveis (frequentemente de plástico), que são consideradas como resíduos de recursos não renováveis e impõem encargos inaceitáveis às instalações municipais de eliminação. Em concordância com políticos suscetíveis, leis e regulamentações foram promulgadas em muitas jurisdições, o que aumenta tanto o custo para os contribuintes do depósito de lixo quanto os recursos de energia perdidos.

Usando a análise de energia, pode-se estabelecer uma justificativa para avaliar os possíveis benefícios (se houver) de várias propostas legislativas. Os custos de energia para a produção de vários materiais de embalagem apresentados na tabela 21 são baseados nos dados de Guillet (1997).

Tabela 21– Energia necessária para produção dos materiais usados para aplicação em embalagens.

Material (libras)	Energia necessária (Kwh, térmica)
Alumínio	33.6
Aço	6.3
Vidro	3.6
Papel	3.2
Plástico	1.4

Fonte: Adaptado de Guillet, 1997, p. 224

Tabela 22 – Energia necessaria para os recipientes selecionados.

Recipiente	Peso (onças*)	Energia utilizada por recipiente (kWh)
Lata de alumínio	1,41	3,00
Garrafa de refrigerante retornável	10,60	2,40
Garrafa de cerveja de vidro retornáv	8,83	2,00
Lata de aço	1,76	0,70
Caixa de leite de papel (1litro)	0,92	0,18
Recipiente de bebida de plástico	1,23	0,11

*1 onça = 28,35gramas

Fonte: Adaptado de Guillet, 1997, p.225.

A partir da análise dos dados acima, não pode-se afirmar com total certeza a economia de energia a partir da utilização de embalagens de materiais distintos, pois isso dependerá, em grande parte, do número de retornos que se pode esperar com a utilização de uma garrafa de vidro retornável, por exemplo, e também da quantidade de energia necessária para transportar, lavar durante o reuso e etc. Aqui caberia portanto, realizar uma análise detalhada a respeito do ciclo de vida do produto, que pode a chegar em diferentes conclusões de acordo com a aplicação.

No caso do vidro, segundo os autores ROSA et al (2007) pode-se afirmar que a comercialização de bebidas em garrafas retornáveis implica em impactos positivos para o consumo de energia e a qualidade do ambiente, através do dimensionamento precisa que pode apresentar dificuldades consideráveis, pois devem ser levados em conta fatores como distância média percorrida, índice de quebra, necessidade de higienização das garrafas e etc. Assim, de acordo com estudo elaborado na Bélgica, analisado em trabalho do Centro de Tecnologia de Embalagem (Cetea), da Unicamp, o sistema de embalagens retornáveis

seria vantajoso somente quando o índice de quebra for inferior a 5%, o que segundo os autores é particularmente difícil quando a distribuição envolve grandes distâncias.

O que fica claro, portanto, a partir dessas tabelas é que os sistemas retornáveis não economizam automaticamente energia ou matérias-primas. O que se deve considerar é que em uma sociedade como as dos EUA, por exemplo, em que grande parte da energia elétrica é obtida da queima de hidrocarbonetos, fica claro que uma quantidade considerável de petróleo, é consumida na fabricação de uma garrafa de vidro do que um recipiente de plástico, para a mesma quantidade de líquido.

Uma consideração adicional, agora que o extenso sistema de reciclagem está em vigor, é reavaliar o uso de latas de alumínio que são promovidas porque elas são fáceis de reciclar e fornecem uma grande economia de recursos quando recicladas, cerca de 28 vezes conforme dados levantados anteriormente na revisão bibliográfica.

No entanto, no caso dos EUA, mesmo após extensa publicidade e muito apoio popular, segundo, a recuperação máxima de recipientes de alumínio para bebidas nos EUA e no Canadá raramente excede 50%, conforme apresentado na tabela 25 para os EUA isso ocorre ainda hoje. Assim, esperando-se que um país como o Canadá use cerca de 10 bilhões de contêineres de bebidas por ano. Com uma recuperação de 50%, o desperdício de energia dos cinco mil milhões de contentores não recuperados representa um total de 15×10^9 kWh, comparado com $0,3 \times 10^9$ kWh para a garrafa de plástico que é um fator 30 vezes menor, conforme demonstrado por Guillet (1997).

4.3 Considerações sobre Consumo e Descarte

A tabela a seguir apresenta o consumo aparente dos principais materiais em forma de embalagens.

Tabela 23 – Consumo aparente dos materiais de embalagens por material.

Material	Consumo aparente (1mil t) 2005	Consumo aparente (1mil t) 2006	Consumo aparente (1mil t) 2007	Consumo aparente (1mil t) 2008
Papel e Papelão	3.535	3.595	3.808	4.154
Vidro	939	961	1.063	1.041
Aço	936	873	891	886
Plástico	605	650	723	782
Alumínio	256	275	303	347

Fonte: Adaptado de IPEA, 2012. Elaboração do próprio autor.

Ao analisar a tabela 23, pode-se notar que o maior consumo de embalagens em massa se deve ao papelão disparadamente correspondendo em média a 57% do setor no período analisado. Já os materiais plásticos são responsáveis por em média 11% do consumo em massa de embalagens. Entretanto, a percepção dos materiais plásticos como resíduos urbanos é muito maior com relação ao papel e ao papelão. Provavelmente isso se deve ao fato de as taxas de reciclagem das embalagens de plástico ser a menor dentre os outros tipos de materiais utilizados como embalagens, como pode-se ver na tabela 24.

Tabela 24 – Consumo aparente dos materiais de embalagens por material.

Material	Taxa	Taxa	Taxa	Taxa
	Reciclagem (1mil t) 2005	Reciclagem (1mil t) 2006	Reciclagem (1mil t) 2007	Reciclagem (1mil t) 2008
Papel e Papelão	68%	68%	68%	67%
Vidro	45%	46%	47%	47%
Aço	24%	27%	27%	
Plástico*	13%	11%	12%	
Alumínio	36%	41%	36%	37%
Alumínio Latas	96%	94%	97%	92%

*os dados para os materiais plásticos representam todo o setor.

Fonte: Adaptado de IPEA, 2012. Elaboração do próprio autor.

Em relação aos outros materiais, nesse âmbito, os plásticos apresentam algumas dificuldades para que seja feita sua reciclagem. Essas dificuldades, segundo Santos et al. (2004), pode ser dividida em três fontes de problemas principais relacionados com: suprimento incerto da matéria-prima; na ociosidade e na falta de logística.

Já a reciclagem de latas de alumínio é um exemplo bem-sucedido, que é favorecido principalmente, pela alta relação peso x volume dessas embalagens. Como as garrafas de PET são volumosas, esse fator acaba por limitar o crescimento exponencial de seus índices de reciclagem. Resumidamente, as principais dificuldades inerentes do mercado do plástico reciclado são a ausência de comprometimento entre a demanda e o fornecimento das matérias-primas, o baixo custo das resinas virgens e a alta contaminação dos resíduos. Esses fatores, na maioria, são responsáveis pela menor competitividade e qualidade final do plástico reciclado. Além disso, existe um jargão que precisa ser vencido para que a divulgação do uso de material reciclado incentive as vendas e não tenha efeito contrário e visão pejorativa. Um exemplo típico da presença desse comportamento é a baixa

divulgação do uso de reciclado em todo o revestimento de estofamento dos automóveis (SANTOS et al, 2004).

Com relação aos processos de reciclagem si, um fator relevante a ser considerado no caso das embalagens de plástico, é o fato de a maior parte do volume de embalagens plásticas serem materiais termoplásticos, e as propriedades físicas desses materiais são afetadas durante o processo de submissão de calor e resfriamento em ciclos indefinidos, uma vez há a formação de ligações cruzadas, as quais estão associadas com a rigidez dos plásticos. Além disso, em alguns casos são utilizados plásticos termofixos, que como discutido anteriormente, não possuem a propriedade de reciclabilidade.

Nesse sentido, os processos de transformação energética (combustão e pirólise) representam uma redução significativa do volume de materiais de embalagem pós-consumo lançados sem destinação racional no meio ambiente ou em aterros sanitários, para os quais não exista processos de reciclagem apropriados. E também, permite uma redução considerável da utilização de outras fontes de matérias-primas não renováveis, tradicionalmente utilizadas para obtenção de energia, como é o caso do óleo combustível extraído do refino do petróleo, ou a queima de madeira. Aproximadamente 70% dos resíduos sólidos estão em aterros sanitários na Europa e nos EUA. No Japão, esta proporção está em torno de 40%, pois grande parte vai para recuperação de energia. Este procedimento reduz o consumo de combustível e gás queimado para geração de energia e permite usar as quantidades economizadas de óleo para produção de plásticos virgens. (SANTOS, et al 2004).

Na combustão, em geral, as misturas de plásticos encontradas nos lixos urbanos possuem um poder combustível de cerca 9.000 BTUs/Kg, enquanto que nas suas frações específicas (separados de outros materiais e/ou por naturezas de plásticos) podem apresentar um saldo energético positivo de até 42.000 BTUs/Kg de resíduo. As madeiras secas apresentam um valor energético de 12.000 a 16.000 BTUs/Kg e o carvão cerca de 24.000 BTUs/Kg. O óleo bruto do refino do petróleo possui um valor energético aproximado de 12.000 BTUs/Kg (FORLIN, FARIA, 2002).

Desta forma, no processo de reciclagem energética, em que se aproveita o poder calorífico para geração de energia, pode-se considerar que o uso de um recipiente de plástico é simplesmente emprestado um barril de petróleo para fazer o plástico, usando uma vez ou duas vezes como um recipiente, e depois recuperando a mesma quantidade de calor

como se o barril de petróleo tinha sido em primeiro lugar. Tais aplicações obviamente representam uma conservação considerável de energia e matérias-primas (GUILLET, 1997).

Ainda conforme os dados de taxa de reciclagem apresentados na tabela 24. Pode-se supor que um substituto para o uso dos plásticos em embalagens poderia ser o papel ao comparar sua taxa de reciclagem relativamente alta e o seu alto consumo presente na tabela 23. Além disso, existe uma pressão do senso comum, para substituição do uso de embalagens de plásticas por papéis, devido ao fato de existir uma percepção sobre os plásticos serem potencialmente tóxicos e incompatíveis com a natureza.

Assim, considerando-se que uma sacola típica feita de polietileno de alta densidade pesa aproximadamente 5g, enquanto uma sacola pesada de papel kraft pesa 35g. A substituição do saco de mercearia de plástico por papel aumentaria assim o peso real do lixo desta fonte por um fator de cerca de sete. Mercados de polietileno de baixa densidade e sacolas de compras são um pouco mais pesados, mas ainda são cerca de um terço do papel. Existem vantagens semelhantes ao uso de recipientes de fast food de poliestireno expandido em comparação com produtos de papel.

As consequências da origem de uma mudança do plástico de volta para o papel são enormes. A demanda por papel e celulose cresceria de forma exorbitante, caso o uso de embalagens plásticas fossem proibidas, e novos hectares de florestas teriam de ser cortadas para o suprimento da demanda. Quando a estratégia ambiental, entende que as florestas são essenciais para a redução da concentração de CO₂ na atmosfera.

Finalmente, há a questão do custo energético de uma conversão de plástico para papel. Segundo Guillet (1997), Estimam-se as necessidades de energia para a produção de papel e plástico (polietileno) a 3,2 e 1,4 kWh por libra, respectivamente. Um cálculo simples indica que a energia extra necessária para produzir papel custaria cerca de 224 bilhões de quilowatts-hora, ou 25,5 milhões de quilowatts-anos. Seria insensato gerar essa energia extra usando carvão, petróleo ou gás por causa dos gases de efeito estufa produzidos. A questão dos materiais para embalagem é muito complexa, e uma solução simples, como a proibição de plásticos, pode resultar em consequências ecológicas indesejáveis.

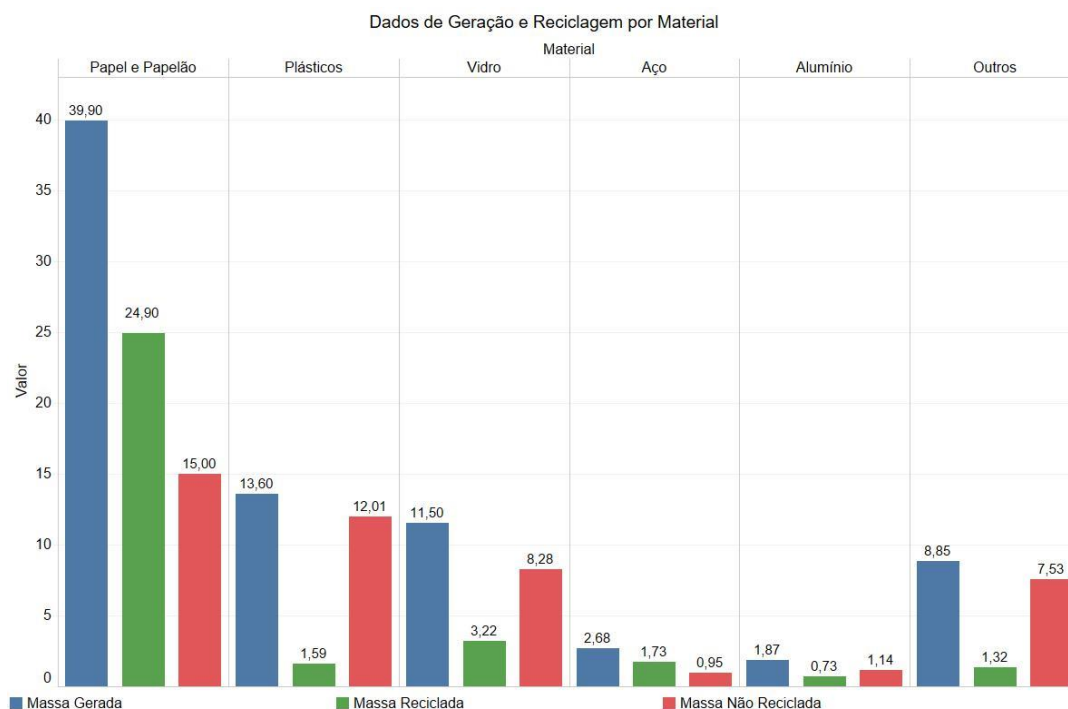


Figura 18–Dados de geração e reciclagem por material em mil toneladas nos EUA, 2007.

Fonte: Adaptado de EPA, 2007. Elaboração do Autor.

Analisando em termos de massa a quantidade de embalagens não recicladas por material presentes nos resíduos sólidos urbanos dos EUA, conforme a figura 25. Notamos que a massa de papelão e papel não reciclado é maior em comparação com os materiais plásticos. Entretanto os materiais plásticos não são biodegradáveis. O que é um fator preocupante frente a sua baixa taxa de reciclagem. Por outro lado, a pesquisa e o planejamento, de embalagens com componentes que favoreçam a sua degradação ambiental é um desafio e um dilema para estes setores, pois envolvem itens que se contrapõem à função primordial da embalagem de proteção e manutenção da estabilidade de alimentos. (FARIA,2002). Uma alternativa, portanto, seria focar em ações para o aumento das taxas de reciclagem desses materiais.

4.4 Considerações sobre Impacto Ambiental

Uma das abordagens utilizadas para o desenvolvimento de um produto sustentável engloba avaliar os recursos e os processos envolvidos na produção de um material. Objetiva-se, nesse aspecto, a escolha de materiais que apresentem um menor impacto ambiental em relação aos serviços ou às funções que oferecem. É na fase de produção e extração dos recursos naturais para produção dos materiais que são consumidas energias e matérias primas que determinam várias emissões (MANZINI;VEZZOLI,205). Nesse

sentido, existem avaliações elaboradas para vários tipos de materiais no qual é medido o impacto ambiental causado nessas etapas.

Em termos de emissões, os materiais plásticos se comparam favoravelmente com os materiais concorrentes, como papel branqueado e não branqueado, como pode ser visto na figura 19. O alumínio reciclado (e talvez até mesmo o vidro reciclado) parece ser um material competitivo de baixa energia e pouco poluente em comparação com os plásticos virgens. É importante ressaltar que as estimativas individuais de energia, bem como as emissões variam de acordo com o mix de fontes de energia utilizadas (portanto, pelo país de origem), bem como com o tipo de matéria-prima e o processo empregado. A metodologia de análise de ciclo de vida usada e as hipóteses nela também podem afetar os números. Entretanto, uma comparação aproximada válida pode ser feita usando dados de uma única fonte publicada segundo Andrady (2003).

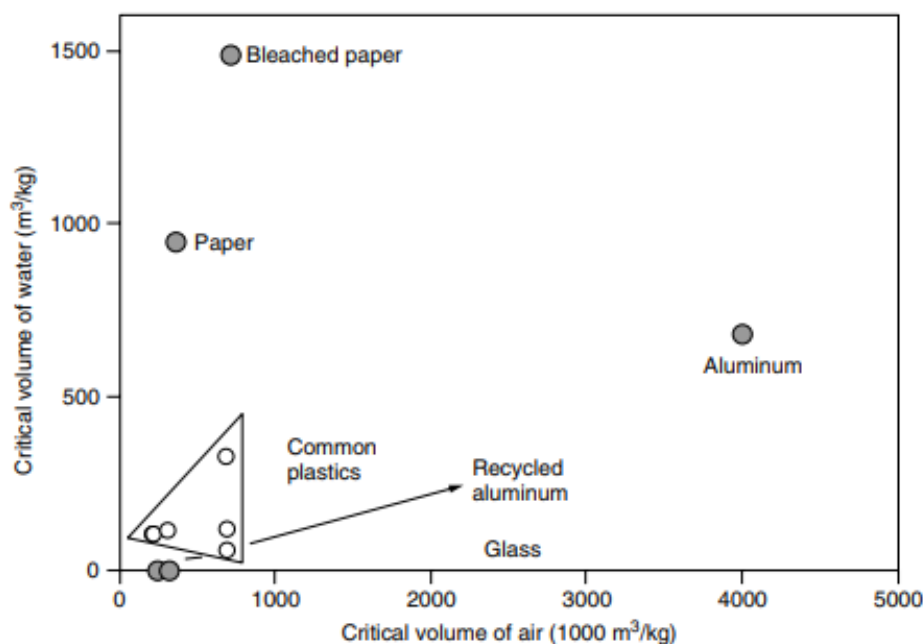


Figura 19– Emissões de ar e água associadas à produção de vários materiais, incluindo termoplásticos comuns.

Fonte: ANDRADY, L. A., 2003, p.46.

É importante quantificar quaisquer poluentes associados à indústria de plásticos, avaliar seus impactos no meio ambiente e adotar medidas de prevenção da poluição para minimizar o impacto de tais liberações no meio ambiente.

O histograma a seguir mostra uma avaliação (Método Ecoindicador 95) de impacto ambiental para alguns materiais mais conhecidos e utilizados.

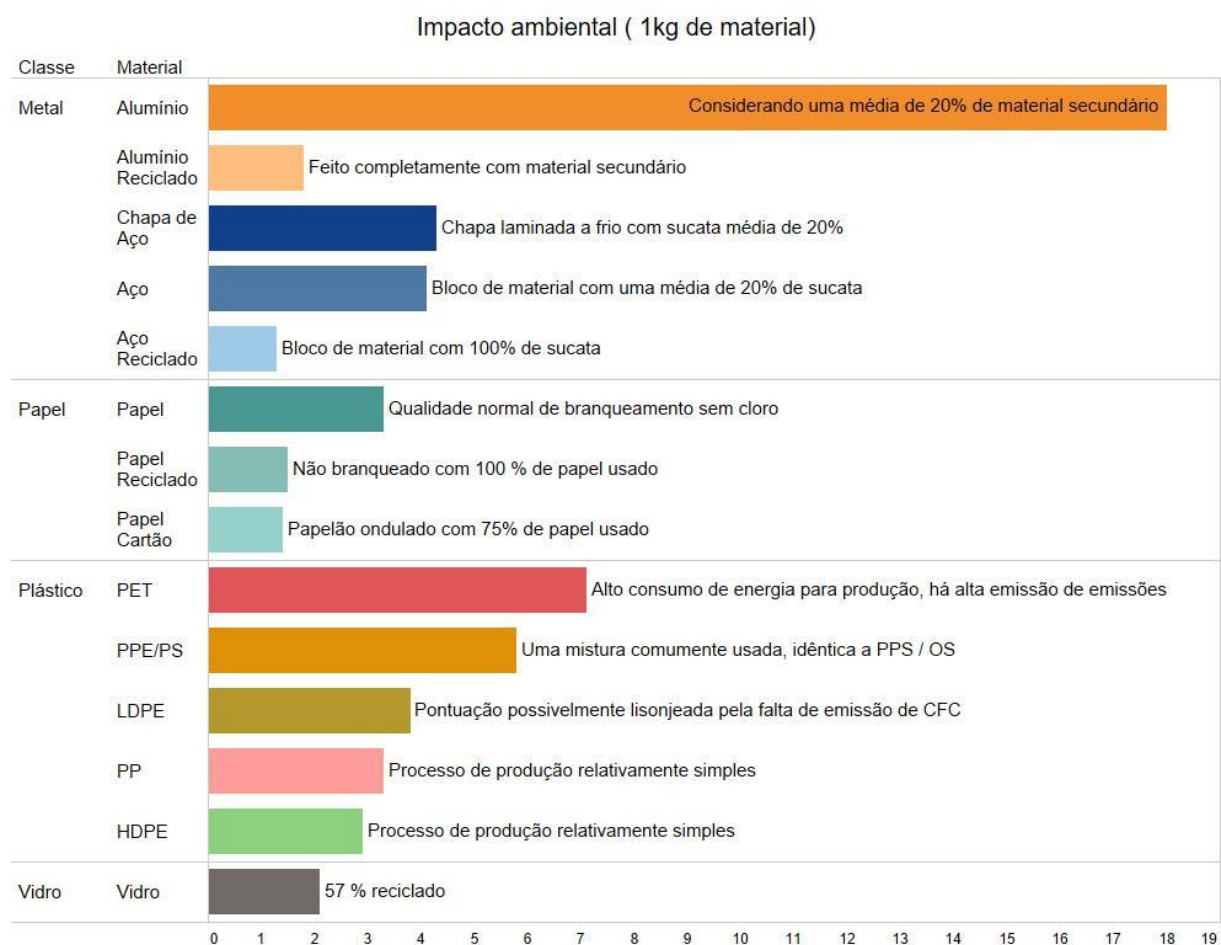


Figura 20 - Índice de impacto para produção de alguns materiais mais utilizados como matéria prima para confecção de embalagens (Eco Indicador 95).

Fonte: Adaptado de GOEDKOOOP, M., 1995, p. 53. Elaboração do próprio autor.

O Histograma acima demonstra a nocividade para o meio ambiente proveniente de alguns materiais comumente utilizados na produção industrial. Como pode-se observar de forma geral os materiais reciclados possuem menos nocividade ao meio ambiente, quando comprado à sua produção a partir dos materiais virgens. Pode-se notar também, que a produção de PET e PPE/PS, apresentam grande nocividade ao meio ambiente quando comparado aos outros materiais, exceto ao alumínio primário.

É importante ressaltar, que apesar desta ser uma consideração importante, a avaliação do impacto ambiental por si só não basta. Outras fases do ciclo de vida do produto, que podem vir a justificar vantagens e desvantagens na escolha de um processo de produção devido à fatores que extrapolam a fase de pré-produção.

É certo que, todos os materiais determinam um certo nível de impacto ambiental. Para se fazer comparações a nível de desenvolvimento de produtos sustentáveis e com um olhar mais cuidadoso para o ciclo de vida de um produto como um todo, as comparações devem ser feitas com relação ao tipo e função e de serviço que os produtos – e não apenas os materiais irão desenvolver. Como foi feito em alguns exemplos apresentados anteriormente, mas que ainda cabem aprofundamento para o melhor aprofundamento e compreensão, o que deverá ser realizado de forma isolada para cada produto e aplicação devido à alta complexidade do tema.

5 CONCLUSÕES

Essa pesquisa teve como objetivo apresentar os parâmetros relacionados com o desenvolvimento sustentável de produtos, e realizar uma avaliação para materiais utilizados em embalagens com o foco na utilização dos materiais plásticos. Tendo como finalidade disseminar o conhecimento sobre o assunto.

Através das revisões bibliográficas levantadas e das discussões realizadas, pode-se notar que o tema deste estudo é extremamente amplo e complexo, o que corrobora para a inexistência de uma opinião única e estabelecida sobre o assunto.

Entretanto, apesar da complexidade, a partir dos dados levantados e das literaturas estudadas, pode-se concluir que o uso de materiais plásticos como embalagens, comparado a uso de outros materiais, apresenta inúmeras vantagens, mesmo que exista uma percepção negativa do público em geral a respeito desses materiais.

Quanto ao desenvolvimento sustentável, foram encontrados uma enorme variedade de conceitos e com pouco aprofundamento na literatura de como medir a sustentabilidade de um produto. Muitos dos pensamentos a respeito do desenvolvimento sustentável, amplamente divulgadas e que corroboram para a má reputação dos materiais plásticos foram amplamente debatidos nesta pesquisa, como é o caso da recomendação da utilização de fontes renováveis.

Um método que provou ser de grande importância é o método de avaliação do ciclo de vida. Entretanto esse método é muito complexo e deve ser realizado de forma individual para cada aplicação, considerando fatores regionais, específicos de cada região, o qual a priori não estava no escopo deste trabalho.

A partir da avaliação dos parâmetros presentes no método de avaliação do ciclo de vida de forma independente, e dos parâmetros presentes em outras ferramentas de gestão ambiental como o Ecodesign, pode-se confirmar a hipótese de que os materiais plásticos oferecem inúmeras vantagens comparados a utilização de outros materiais.

No entanto, foi possível avaliar os impactos negativos da utilização desses materiais também quando comparados a outros materiais. Concluiu-se que a grande produção e utilização dos materiais plásticos associados ao descarte muitas vezes desordenados,

contribui para o impacto negativo para o meio ambiente desses materiais, e para sua má percepção.

Embora utilização de outros materiais nesse sentido, possam parece ser mais interessante, como o caso é o caso do papel e do alumínio, outros fatores devem ser considerados relacionados a possibilidade do aumento da demanda desses materiais. Relacionados à necessidade de matérias primas e aos impactos ambientais inerentes à produção desses materiais.

A pesquisa, portanto, demonstrou que ações devem ser tomadas na etapa de descarte de embalagens plásticas, afim de minimizar os problemas ambientais causados com seu uso, sendo potenciais alvos para políticas específicas de estímulo à reciclagem. Outro ponto importante é que avaliação de substituições de materiais devem ser realizadas com cauteladas e através de fundamentos científicos, de forma a possibilitar a utilização dos recursos de maneira eficiente e garantir sua disponibilidade no futuro, conforme o conceito de desenvolvimento sustentável. O conhecimento, portanto, das características de cada material, dos processos de obtenção, da cadeia de consumo e utilização e finalmente de descarte final, são primordiais nesse sentido.

6 REFERÊNCIAS

ANDRADE, Maria Lúcia Amarante; CUNHA, Luiz Maurício da Silva; GANDRA, Guilherme Tavares. **A indústria do alumínio: desempenho e impactos da crise energética**. 14. ed. Rio de Janeiro: BNDES Setorial, 2001.

ANDRADY, Anthony L. **Plastics and the environment**. 1. ed. New Jersey: NJ: John Wiley & Sons, 2003.

ANDRADY, Anthony L., Neal, M. A. (2009). Applications and societal benefits of plastics. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences**, 364(1526), 1977-1984.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. **Subsídios para a elaboração de uma estratégia industrial brasileira para a economia de baixo carbono: caderno 2 notatécnica papel e celulose**. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.abdi.com.br/Estudo/caderno-Papelecelulose.pdf>>. Acesso em: 1 mar. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO - ABIPLAST . **Perfil 2013**. São Paulo, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ALUMÍNIO - ABAL. **Estatísticas Nacionais**. Disponível em <: <<http://www.abal.org.br/estatisticas/nacionais/>> Acesso em 19 mar. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS QUÍMICAS - ABIQUIM. **Os plásticos**. Disponível em:<<http://www.abiquim.org.br/plastivida/plasticos.htm>>. Acesso em 02 abr. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13230: Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis: identificação e simbologia**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM - ABRE. **Estudo Macroeconômico da Embalagem ABRE/FGV: 2017**. Disponível em :<<http://www.abre.org.br>> Acesso em 15 mar. 2018.

BARBIERI, José Carlos, CAJAZEIRA, Jorge Emanuel Reis, BRANCHINI, Oziel. Cadeia de suprimento e avaliação do ciclo de vida do produto: revisão teórica e exemplo de aplicação. **Artigo técnico – Peer-reviewed article**.vol. 70, n 9, p. 57-72 SEP, out. 2009.

BELGACEM, Mohamed Naceur; GADINI, Alessandro. **Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources**. 1.ed. Oxford: Elsevier, 2008. Cap 1, p.1-16.

BONINI S., KOLLER, T. M., MIRVIS, P. H. Valuing social responsibility programs. *Mckinsey on Finance*, n 32. Summer, 2009.

CALLISTER, D. Willian; RETHWISCH, David G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. John Wiley & Sons, Inc., 2012. Cap 22, p. 744-753.

CAVALCANTE, Ana Luisa Boavista Lustosa. et al. Design para a Sustentabilidade – um conceito interdisciplinar em construção. **Projética Revista Científica de Design, Londrina**, v. 3, n. 1, p. 252-263, jul. 2012.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – CEMPRE. **Latas de aço**. Disponível em < <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/1/latas-de-aco>> Acesso em 1 mar. 2018.

CHEHEBE, José Ribamar. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2002.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE O MEIO AMBIENTE - CMMAD. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro. Fundação Getúlio Vargas/FGV, 1988.

CURRAN, M. A. Life Cycle Assessment: Principles and Practice. **Scientific Applications International Corporation**, 2006.

DONNELLY, K.; Beckett-Furnell, Z.; Traeger, S.; Okrasinski, T.; Holman, S. Eco-design emplemented through a productbased environmental management system. **Journal of Cleaner Production**, v. 14: 1357-1367, jun. 2006.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DE MINAS GERAIS - FEAM, **“Inventário de emissões de gases do efeito estufa do estado de Minas Gerais, ano base 2005”**. Minas Gerais, 2010.

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

GREENPEACE. Produção Limpa. Disponível em <http://www.greenpeace.org.br/toxicos/pdf/producao_limpa.doc> Acesso em: 15 mar. 2018.

GUILLET, J. E. Environmental aspects of photodegradable plastics. **Macromolecular Symposia**. 123, 209-224 (1997). Department of Chemistry, University of Toronto, Toronto, Canada M5S 3H6.

GOEDKOOOP, M. **The Eco-Indicator 95**: Weighting method for environmental effects damage ecosystems or human heath on a Europea scale. Final Report. Colophon, 1995.

HENRIQUES, A. B; PORTO, M.F.S. **Território, ecologia política e justiça ambiental: o caso da produção de alumínio no Brasil**. E-cadernos CES. Coimbra, n. 17, p. 31-55, 2013.

HORA, André Barros; MELO, Luciane. **Panoramas setoriais mudanças climáticas: papel e celulose**. BNDS,2015.

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.

INSTITUTO DO AÇO – ABEAÇO. **Preliminar Estatístico**: Março 18. São Paulo, 2018.

ISO. **Environmental Management**: The ISO 14000 family of International Standard. 2009 Disponível em < <https://www.iso.org/iso-14001-environmental-management.html>> Acesso em: 21 abri. 2018.

KLOCK, Umberto; ANDRADE, Alan Sulato de Andrade; HERNANDEZ, José Anzaldo. **Polpa e Papel**. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciência Agrárias, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. 3.ed.Cnpq: Curitiba,2013.

LANDIM, A. P. M. et al. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**, 26, p. 82-92, 2016.

MANGET; J., ROCHE C., MUNNICH, F. **Capturing the Green Advantage for Consumer Companies**, 2009, Disponível em <<http://www.bcg.com>> Acesso em: 20 abr. 2018

MANZINI, Ezio; VEZZOLI,Carlo. **O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. 1.ed. São Paulo: Edusp, 2005. Cap 4, p. 147-180.

MIELI, J. C. A. **Sistema de avaliação ambiental na indústria de celulose e papel**. 2007. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

MILANEZ, Bruno; PORTO, Marcelo F. S. **A ferro e fogo: impactos da siderurgia para o ambiente e a sociedade após a reestruturação dos anos 1990**. IV Encontro Nacional da Anppas, junho de 2008.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, MMA. **Agenda Ambiental na Administração Pública A3P**. Brasil. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/>> Acesso em: 21 mar. 2018.

PLASTIC, V., The Business Case for Measuring, Managing and Disclosing Plastic Use in the Consumer Goods Industry. 2014, UNEP.

RIEGEL et al. Identificação de aspectos ambientais relacionados à produção de embalagens de perfumaria: contribuição para projetos sustentáveis. **Gest. Prod.** vol.19 no.3 São Carlos, 2012.

