



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo**

**TAINÁ ÂNGELA VEDOVELLO BIMBATI**

**POR QUE OS RECICLÁVEIS NÃO SÃO RECICLADOS?**  
**– UMA ABORDAGEM DA RECICLABILIDADE DE MATERIAIS NA**  
**CADEIA PRODUTIVA –**

**CAMPINAS**

**2017**

**TAINÁ ÂNGELA VEDOVELLO BIMBATI**

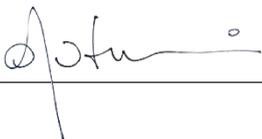
**POR QUE OS RECICLÁVEIS NÃO SÃO RECICLADOS?  
— UMA ABORDAGEM DA RECICLABILIDADE DE MATERIAIS NA  
CADEIA PRODUTIVA —**

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil na área de concentração Saneamento e Ambiente.

**Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Emília Wanda Rutkowski**

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA TAINÁ ÂNGELA VEDOVELLO BIMBATI E ORIENTADA PELA PROFA. DRA. EMÍLIA WANDA RUTKOWSKI.

ASSINATURA DA ORIENTADORA



---

**CAMPINAS**

**2017**

## FICHA CATALOGRÁFICA

**Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s):** CAPES, 01P-04376/2015

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-9171-7482>

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura  
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

B51 Bimbati, Tainá Ângela Vedovello, 1989-  
Por que os recicláveis não são reciclados? - uma abordagem da  
reciclabilidade de materiais na cadeia produtiva - / Tainá Ângela Vedovello  
Bimbati. – Campinas, SP : [s.n.], 2017.

Orientador: Emília Wanda Rutkowski.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade  
de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Cadeias produtivas. 2. Ciclos de materiais. 3. Reciclagem. I. Rutkowski,  
Emília Wanda, 1955-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de  
Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

### Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Why recyclables aren't recycled? - a materials recyclability  
approach in the supply chain -

**Palavras-chave em inglês:**

Production chain

Material cycles

Recycling

**Área de concentração:** Saneamento e Ambiente

**Titulação:** Mestra em Engenharia Civil

**Banca examinadora:**

Emília Wanda Rutkowski [Orientador]

Orlando Fontes Lima Junior

Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira

**Data de defesa:** 19-04-2017

**Programa de Pós-Graduação:** Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo**

**POR QUE OS RECICLÁVEIS NÃO SÃO RECICLADOS?**  
**– UMA ABORDAGEM DA RECICLABILIDADE DE MATERIAIS NA**  
**CADEIA PRODUTIVA –**

**TAINÁ ÂNGELA VEDOVELLO BIMBATI**

**Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:**

**Profa. Dra. Emília Wanda Rutkowski**  
**Presidente e Orientadora/Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP**

**Prof. Dr. Orlando Fontes Lima Junior**  
**Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP**

**Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira**  
**Universidade Federal de São Carlos – UFScar**

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

Campinas, 19 de abril de 2017

*À minha família,  
minha fortaleza e porto seguro  
em todos os momentos.*

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Bia e Jean, pela vida, pelo amor e carinho que sempre dedicaram à minha vida e que hoje me possibilitam viver este momento. Obrigada pelo suporte, compreensão e por sempre me incentivarem na busca da felicidade e do (auto)conhecimento.

À minha irmã Maitê, pelo amor, amizade e por ser inspiração e companhia em todos os momentos da vida.

Às minhas avós, Lita e Evanilde, pelo exemplo de força, fé e perseverança.

Ao Lucas, pelo amor, por compartilhar a vida comigo, pelo companheirismo, compreensão, paciência e pelos muitos momentos de conversas e reflexões sobre este trabalho.

À professora Emília, pela orientação e por tornar este trabalho possível. Por incentivar um novo modo de olhar sobre as coisas e pela acolhida no Laboratório FLUXUS, que me proporcionou uma experiência transformadora multi e interdisciplinar.

Aos colegas do Laboratório FLUXUS, especialmente ao Antônio, Natália, Jefferson, Elói, Gabi e aos alunos e alunas do PIBIC-EM de 2015 e 2016, pela amizade, incentivo, bons momentos, risadas compartilhadas, conversas e suporte sempre.

Aos funcionários da Secretaria de Pós Graduação da FEC, Eduardo, Francisco e Rosana, pela atenção, carinho e prontidão em todos os momentos.

À FEC e ao Departamento de Saneamento e Ambiente, pela oportunidade de vivenciar esta experiência acadêmica enriquecedora.

E finalmente à CAPES, pelo auxílio financeiro que permitiu a realização deste trabalho.

*“O começo de todas as ciências  
é o espanto de as coisas serem o que são”.  
(Aristóteles)*

## RESUMO

A recuperação dos materiais que compõem os produtos descartados como resíduos contribui para a melhoria da qualidade ambiental do planeta. No entanto, alguns materiais presentes nos resíduos sólidos recicláveis não são recuperados e acabam encaminhados inadequadamente aos aterros sanitários. Diversos fatores ao longo da cadeia produtiva podem interferir no potencial de reciclagem dos materiais e impedi-los de circular de produto a produto. Esta pesquisa teve como objetivo validar a ferramenta de avaliação da reciclabilidade de materiais em uma abordagem da cadeia produtiva “do berço ao berço” – que integra as etapas de desenvolvimento de produtos, produção, armazenamento, distribuição, consumo, pós-consumo e reciclagem. Foi realizado o estado da arte da reciclabilidade de materiais, a partir do qual obteve-se um conjunto de 23 parâmetros inseridos nas etapas da cadeia produtiva. A pesquisa possibilitou o desenvolvimento de uma ferramenta para subsidiar a qualificação do potencial de reciclagem dos materiais no ciclo “do berço ao berço”. A análise qualitativa dos parâmetros de reciclabilidade e suas variáveis mostrou situações de fragilidade e potencialidade com relação à reciclagem dos materiais desde a etapa de desenvolvimento do produto até o processo industrial da reciclagem. Em função da variedade das informações advindas dos atributos e parâmetros, observou-se que o processo de reciclagem é complexo e que somente mediante uma abordagem integral da cadeia produtiva pode-se determinar a reciclabilidade dos materiais.

**Palavras-chave:** cadeia produtiva de ciclo fechado, reciclagem, potencial de reciclagem, parâmetros de reciclabilidade.

## **ABSTRACT**

*The recovery of the materials composing products discarded as waste contributes to the improvement of the environmental quality of the planet. However, some materials in recyclable solid waste are not recovered and are improperly sent to landfills. Several factors along the production chain may interfere in the recycling potential of materials and hinder them to circulate from product to product. This research aimed to validate the assessment tool of material recyclability in a "cradle to cradle" production chain approach - which integrates the product development, production, storage, distribution, consumption, post-consumption and recycling stages. The "state of art" of materials recyclability was carried out and a set of 23 parameters inserted in the stages of the production chain was obtained. A tool was developed to support the qualification of the recycling potential of the materials in the "cradle to cradle" cycle. The qualitative analysis of the recyclability parameters and its variables showed fragility and potentiality situations regarding the recycling of the materials from the product development stage to the industrial recycling process. Due to the variety of information derived from the attributes and parameters, it was observed that the recycling process is complex and that only through an integral approach to the production chain the recyclability of the materials can be determined.*

**Key-words:** *closed-loop supply chain, recycling, recycling potential, recyclability parameters.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sequência lógica conceitual.....	21
Figura 2 – Etapas de trabalho .....	22
Figura 3 – Sistema produtivo "do berço ao perço" .....	45
Figura 4 – Cadeia produtiva de ciclo fechado .....	46
Figura 5 – Símbolo do descarte seletivo conforme NBR 16182.....	70
Figura 6 – Símbolo de identificação de materiais conforme NBR 16182 e 13230 ....	70
Figura 7 – Ferramenta de avaliação da reciclabilidade .....	77
Figura 8 – Lacunas e interfaces das políticas de reciclagem da América do Norte	104
Figura 9 – Lacunas e interfaces das políticas de reciclagem da Europa.....	105
Figura 10 – Lacunas e interfaces das políticas de reciclagem da Ásia .....	106
Figura 11 – Lacunas e interfaces da política de reciclagem da Austrália.....	106
Figura 12 – Lacunas e interfaces da política de reciclagem do Brasil.....	107
Figura 13 – Identificação de materiais plásticos conforme NBR 16182 e 13230 ....	127
Figura 14 – Interferência da coloração na reciclagem dos materiais plásticos .....	131
Figura 15 – Camadas da embalagem <i>tetrapack</i> .....	135

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Histórico das abordagens da reciclagem pela indústria .....	33
Tabela 2 – Instrumentos orientados a produtos .....	34
Tabela 3 – Instrumentos orientados a processos produtivos .....	35
Tabela 4 – Estratégias orientadas à cadeia produtiva.....	35
Tabela 5 – Definições de reciclabilidade e sua abordagem .....	38
Tabela 6 – Atributos físico-químicos dos materiais .....	39
Tabela 7 – Atributos de uso do produto .....	39
Tabela 8 – Atributos mecânicos .....	39
Tabela 9 – Atributos de quantidade de resíduos .....	40
Tabela 10 – Atributos de qualidade de resíduos .....	40
Tabela 11 – Atributos econômicos .....	40
Tabela 12 – Atributos infraestruturais da reciclagem .....	41
Tabela 13 – Atributos de gestão.....	41
Tabela 14 – Parâmetros de reciclabilidade de acordo com autores.....	42
Tabela 15 – Reciclabilidade em função dos atributos físico-químicos dos materiais	80
Tabela 16 – Reciclabilidade em função dos atributos de uso dos materiais .....	81
Tabela 17 – Reciclabilidade em função dos atributos mecânicos dos materiais .....	82
Tabela 18 – Reciclabilidade em função dos atributos de quantidade de resíduos ....	82
Tabela 19 – Reciclabilidade em função dos atributos de qualidade de resíduos .....	82
Tabela 20 – Reciclabilidade em função dos atributos econômicos .....	83
Tabela 21 – Reciclabilidade em função dos atributos infraestruturais.....	84
Tabela 22 – Reciclabilidade em função dos atributos de gestão.....	85
Tabela 23 – Principais resinas poliméricas .....	126
Tabela 24 – Qualidades positivas e negativas dos materiais .....	128
Tabela 25 – Tipos de aditivos, suas características e exemplos.....	129
Tabela 26 – Compatibilidade de materiais plásticos em embalagens de alimentos	137
Tabela 27 – Compatibilidade de materiais metálicos .....	137
Tabela 28 – Reciclabilidade dos materiais em função do tipo de união .....	139
Tabela 29 – Exigências sobre a quantidade mínima de material fornecida .....	147
Tabela 30 – Exigências da indústria quanto ao enfardamento de materiais .....	151

Tabela 31 – Exigências da indústria quanto à qualidade do material.....	152
Tabela 32 – Custos de instalação e operação de centrais de beneficiamento.....	154
Tabela 33 – Custos com instalação de PEVs.....	154
Tabela 34 – Exigência quanto à responsabilidade sobre o transporte .....	155
Tabela 35 – Preços dos materiais recicláveis (por tonelada) .....	156
Tabela 36 – Comportamento da indústria quanto ao tempo de pagamento.....	160
Tabela 37 – Relação de custos e receitas em Centrais de Triagem .....	163

## LISTA DE SIGLAS

**ABAL** – Associação Brasileira do Alumínio

**ABIPET** – Associação Brasileira da Indústria do PET

**ABIPLAST** – Associação Brasileira da Indústria do Plástico

**ABIVIDRO** – Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro

**ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas

**ABRALATAS** – Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio

**ABRELPE** – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

**ACV** – Avaliação do Ciclo de Vida

**ANAP** – Associação Nacional dos Aparistas de Papel

**ANCAT** – Associação Nacional dos Carroceiros e Catadores de Materiais Recicláveis

**ANFPC** – Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose

**BCSD** – *Business Council for Sustainable Development*

**CEBDS** – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável

**CEMPRE** – Compromisso Empresarial para a Reciclagem

**CETEA** – Centro de Tecnologia de Embalagem

**CNUMAD** – Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento

**DfE** – *Design for Environment*

**DfR** – *Design for Recycling*

**EI** – Ecologia Industrial

**FIESP** – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

**ISO** – *International Organization for Standardization*

**OECD** – *Organization for Economic Co-operation and Development*

**ONU** – Organização das Nações Unidas

**P+L** – Produção mais Limpa

**P2** – Prevenção à Poluição

**PE** – Polietileno

**PEAD** – Polietileno de Alta Densidade

**PEBD** – Polietileno de Baixa Densidade

**PET** – Politereftalato de etileno

**PNUMA** – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

**PP** – Polipropileno

**PS** – Poliestireno

**PSAU** – Pagamento por Serviços Ambientais e Urbanos

**PVC** – Policloreto de polivinila

**REP** – Responsabilidade Estendida do Produtor

**SETAC** – *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*

**UNEP** – *United Nations Environment Programme*

**USEPA** – *United States Environmental Protection Agency*

**WBCSD** – *World Business Council for Sustainable Development*

**WICE** – Conselho Mundial da Indústria Para o Meio Ambiente

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1. Objetivo Geral .....	20
1.2. Objetivos Específicos .....	20
1.3. Metodologia.....	20
<b>2. DESENVOLVIMENTO DA ABORDAGEM INDUSTRIAL PARA A RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....</b>	<b>24</b>
<b>3. RECICLABILIDADE DE MATERIAIS .....</b>	<b>36</b>
3.1. Conceito, definições e constructos.....	36
3.2. Identificação de atributos e parâmetros de reciclabilidade.....	38
<b>4. INSERÇÃO DE PARÂMETROS DE RECICLABILIDADE DE MATERIAIS NA CADEIA PRODUTIVA .....</b>	<b>44</b>
4.1. Desenvolvimento de produtos.....	47
4.2. Produção.....	51
4.3. Armazenamento e Distribuição .....	54
4.4. Consumo.....	56
4.5. Manutenção .....	58
4.6. Pós-consumo .....	61
4.7. Reciclagem .....	69
<b>5. DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE RECICLABILIDADE.....</b>	<b>80</b>
<b>6. INTERFACES E LACUNAS COM POLÍTICAS INTERNACIONAIS E NACIONAL DE RECICLAGEM .....</b>	<b>86</b>
6.1. Políticas internacionais.....	86
6.1.1. América do Norte.....	86
6.1.1.1. Canadá.....	86
6.1.1.2. Estados Unidos.....	88
6.1.2. Europa.....	89

6.1.1.1. Alemanha.....	91
6.1.1.2. Suécia.....	93
6.1.1.5. Reino Unido .....	94
6.1.3. Ásia.....	95
6.1.3.1. Japão .....	95
6.1.3.2. China .....	97
6.1.4. Oceania .....	99
6.1.4.1. Austrália.....	99
6.2. Política nacional de reciclagem.....	100
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>108</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>111</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>122</b>
APÊNDICE I – ANÁLISE: ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS .....	123
APÊNDICE II – ANÁLISE: ATRIBUTOS DE USO DOS MATERIAIS.....	142
APÊNDICE III – ANÁLISE: ATRIBUTOS MECÂNICOS.....	145
APÊNDICE IV – ANÁLISE: ATRIBUTOS DE QUANTIDADE DE RESÍDUOS.....	147
APÊNDICE V – ANÁLISE: ATRIBUTOS DE QUALIDADE DE RESÍDUOS.....	149
APÊNDICE VI – ANÁLISE: ATRIBUTOS ECONÔMICOS .....	154
APÊNDICE VII – ANÁLISE: ATRIBUTOS INFRAESTRUTURAIS .....	166
APÊNDICE VIII – ANÁLISE: ATRIBUTOS DE GESTÃO.....	170

## 1. INTRODUÇÃO

O tema deste trabalho refere-se à reciclabilidade dos materiais presentes nos resíduos sólidos. Para Pento (1999) e Hubbe (2010), a reciclabilidade é o nível de facilidade da reciclagem de um determinado produto. Peters et al. (2012) utilizam o termo como sendo o potencial de recuperação máxima de materiais com o mais elevado grau de pureza e o menor uso de tecnologias. Já a Diretiva Europeia de 2005<sup>1</sup> define como o potencial do produto em ser reciclado no fim de sua vida útil - após o consumo.

A pesquisa trata dos materiais classificados pela Norma Brasileira NBR 10.004 de 2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) como Classe II, presentes especificamente nos resíduos recicláveis secos – constituídos especificamente por metais, vidros, papel, papelão e plásticos. Desse modo, não se limita a uma abordagem específica dos resíduos sólidos urbanos (RSU), pois entende que resíduos de outras origens também são constituídos por materiais com potencial de reciclagem. Os resíduos contidos na Classe I não são tratados no trabalho por apresentarem características de periculosidade que inviabilizam seu tratamento a partir da reciclagem.

Uma grande quantidade de resíduos considerados recicláveis não é recuperada pela indústria. Estes chegam a ser coletados e triados, mas são destinados inadequadamente a aterros sanitários, aterros controlados e lixões a céu aberto. Todavia, o desperdício de recursos que o aterramento de resíduos representa, a redução de espaços disponíveis para a construção de novos aterros no entorno das grandes cidades e o fato de que apenas os rejeitos devem ser dispostos em aterros sanitários, justificam a busca por soluções que reinsiram os materiais na cadeia produtiva.

Considerada uma das premissas da economia circular segundo a Agência Ambiental Europeia, a reciclagem reduz a demanda de matéria prima virgem na produção de novos materiais e o consumo de energia. As fronteiras planetárias são

---

<sup>1</sup> Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32005L0064>

respeitadas por meio da conservação dos recursos e não mais ignoradas como no modelo linear de desenvolvimento (EEA, 2016). Quando os materiais são reinseridos na cadeia produtiva, há redução do volume de resíduos sólidos aterrado, diminuição dos impactos ambientais e aumento da saúde e qualidade de vida da população.

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2016), em 2014 foi recuperada apenas 1 milhão de toneladas de resíduos recicláveis secos do total de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) coletados no Brasil – cerca de 1,6%, entre papel, plástico, metal e vidro. Este cenário demonstra um estágio bastante primário da reciclagem no Brasil. Conforme o Relatório de Pesquisa sobre Pagamento por Serviços Ambientais Urbanos para Gestão de Resíduos Sólidos (2010) do IPEA, o país perde R\$ 8 bilhões por ano ao encaminhar aos aterros e lixões os resíduos recicláveis que poderiam ser reciclados.

A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992 reconheceu a importância da gestão ambientalmente adequada dos resíduos sólidos. Desde então tem sido incentivada uma mudança dos padrões insustentáveis de produção e consumo que envolve pensar o conceito de gestão integrada do ciclo de vida dos produtos. Programas no mundo todo passaram a incentivar a redução, a reutilização e a reciclagem no manejo de resíduos sólidos urbanos. Verifica-se a necessidade da substituição do processo produtivo de ciclo aberto para um processo de ciclo fechado que reconheça os resíduos como recursos para um novo processo produtivo. Esse ciclo fechado é denominado por McDonough e Braungart (2002) como “do berço ao berço”.

A recuperação dos materiais mantém a cadeia de produção “do berço ao berço”, fomentando uma economia circular. Assumindo a importância de manter todos os materiais em ciclos contínuos, nos quais os recursos sejam usados numa lógica de criação e recuperação, este trabalho pretende mostrar que diversos fatores podem interferir na reciclagem dos materiais. Para Varella e Lima (2011) o termo reciclável é difundido como uma característica técnica inerente aos materiais caso existam tecnologias capazes de processá-los e transformá-los em insumos ou novos produtos. No entanto, isso é insuficiente na garantia de que o resíduo seja efetivamente reciclado.

Desde o momento de desenvolvimento do produto podem ser incorporados princípios que determinam a reciclabilidade dos materiais, facilitando ou dificultando a sua reintrodução como matéria de volta ao ciclo produtivo. Abramovay (2013) observou que o *design* dos produtos e embalagens tornam-se elementos estratégicos adotados pelas empresas para o desmonte dos produtos e o maior reaproveitamento do material coletado.

A estratégia Projetar para o Meio Ambiente preconiza que o vetor ambiental é tão relevante quanto os outros vetores a serem considerados na etapa da concepção dos produtos, priorizando não só a reutilização do produto como a recuperação dos materiais. Ao considerar todo o ciclo de vida do produto, os custos de fabricação e retorno são internalizados no processo produtivo (SRIVASTAVA, 2007). Enquanto Eichner e Pethig (2001) destacam a importância do projeto para facilitar a desmontagem dos produtos ao Projetar para o Desmonte, Sakundarini et al. (2014) chamam a atenção para o Projetar para a Reciclagem, que combina a concepção do produto com as práticas de reciclagem. Alguns fatores como as características físico-químicas, o tipo de união e a combinação de materiais podem interferir na reciclabilidade dos materiais.

Durante a produção, o armazenamento, a distribuição e a manutenção, o modo como os materiais e os produtos são manuseados e suas características de deterioração interferem na qualidade do processamento pós-consumo. Nas etapas de consumo, pós-consumo e reciclagem, fatores referentes à qualidade e quantidade da triagem de resíduos, frequência de oferta e preço dos materiais recicláveis, forma de pagamento, poder de comercialização, custos envolvidos, lucro da atividade, infraestrutura e a gestão compartilhada também interferem na determinação do potencial de reciclagem dos materiais que compõem os resíduos sólidos.

A contribuição da pesquisa se faz pelo desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação da reciclabilidade de materiais, através da inserção dos parâmetros de reciclabilidade em todas as etapas da cadeia produtiva, permitindo a compreensão do processo de recuperação dos materiais em uma visão integrada dos fluxos dos materiais — do projeto do produto até sua reinserção como recursos no processo produtivo.

### **1.1. Objetivo Geral**

Validar a ferramenta de avaliação da reciclabilidade de materiais considerando a cadeia produtiva “do berço ao berço”.

### **1.2. Objetivos Específicos**

- Discutir o conceito de reciclabilidade e as definições encontradas na literatura;
- Identificar parâmetros de reciclabilidade dos materiais considerando a cadeia produtiva “do berço ao berço”;
- Propor a ferramenta de avaliação de reciclabilidade de materiais considerando a cadeia produtiva “do berço ao berço”;
- Analisar os parâmetros de reciclabilidade dos materiais em função de suas variáveis;
- Comparar os resultados obtidos com políticas internacionais de reciclagem e, no cenário brasileiro, com a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

### **1.3. Metodologia**

Esta pesquisa possui uma abordagem qualitativa que busca a interpretação de fenômenos e a atribuição de significado (SILVA e MENEZES, 2005). Segundo Gerhardt e Silveira (2009), o método qualitativo propõe-se a explicar o porquê das coisas, mas não quantifica os valores nem se submete à prova dos fatos, pois a análise dos dados se vale de diferentes abordagens e de maneira indutiva. Sendo assim, não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas, pois considera que há um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números (SILVA e MENEZES, 2005).

Quanto aos objetivos, a pesquisa possui um caráter descritivo à medida em que se propõe a identificar fatores que contribuem para a ocorrência de um fenômeno (GIL, 2007), especificado neste trabalho como a reciclabilidade dos materiais. Jung

(2009) afirma que a pesquisa descritiva visa identificar, registrar e analisar as características, fatores ou variáveis que se relacionam com o fenômeno ou o processo em questão. Possui um caráter bibliográfico fundamentado no estado da arte do tema, que segundo Ferreira (2002), possui a finalidade de compreender aspectos e dimensões sobre o tema que se busca investigar. A autora cita Soares (1987):

“Essa compreensão do estado de conhecimento sobre um tema, em determinado momento, é necessária no processo de evolução da ciência, afim de que se ordene periodicamente o conjunto de informações e resultados já obtidos, ordenação que permita indicação das possibilidades de integração de diferentes perspectivas, aparentemente autônomas, a identificação de duplicações ou contradições, e a determinação de lacunas e vieses” (SOARES, 1987).

Sendo assim, a pesquisa segue uma sequência lógica conceitual que parte do conceito de reciclabilidade, do qual derivam diferentes definições e que fomentam a formação de constructos teóricos. Segundo Kaplan (1969) apud Freitas (1994), os conceitos descrevem um objeto ou fenômeno através da designação de características observáveis ou perceptíveis e das ilações acerca de detalhes a eles inerentes. Os constructos, por sua vez, são elaborações ideativas criadas ou adotadas com uma finalidade científica sistematicamente que representam o início da formulação de uma teoria. São esquemas teóricos que podem se relacionar de diversas maneiras com outros constructos e intendam definições e especificações que permitem sua observação e mensuração. Os constructos variam de autor para autor de acordo com a sua base teórica e interpretação dos fatos. Destes constructos se originam atributos e parâmetros que os sustentam. A Figura 1 apresenta a estrutura lógica conceitual norteadora do processo de pesquisa.

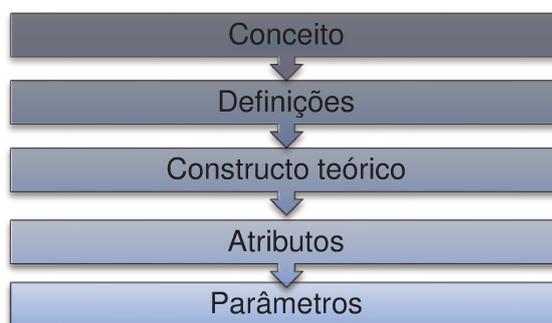


Figura 1 – Sequência lógica conceitual

Os procedimentos metodológicos do trabalho basearam-se, inicialmente em um estado da arte acerca da reciclabilidade dos materiais, na qual foram identificadas diferentes definições para este conceito em um conjunto de 23 autores. Por meio deste levantamento, identificou-se atributos e parâmetros de reciclabilidade de resíduos sólidos independentemente da tipologia do resíduo reciclável.

Abordou-se os parâmetros sob uma perspectiva da cadeia produtiva – descritos e inseridos nas etapas produtivas que fazem a diferença na reciclabilidade dos materiais. Neste momento, desenvolveu-se uma ferramenta para avaliar a reciclabilidade dos materiais baseada em 8 conjuntos de atributos contendo um total de 23 parâmetros.

Nas etapas a seguir foi realizada a validação da ferramenta. A análise destes parâmetros possibilitou avaliar qualitativamente o potencial de reciclagem dos materiais, e posteriormente comparar as lacunas e interfaces encontradas nas legislações internacionais e nacional acerca da reciclabilidade dos materiais. As etapas de trabalho são esquematizadas na Figura 2.

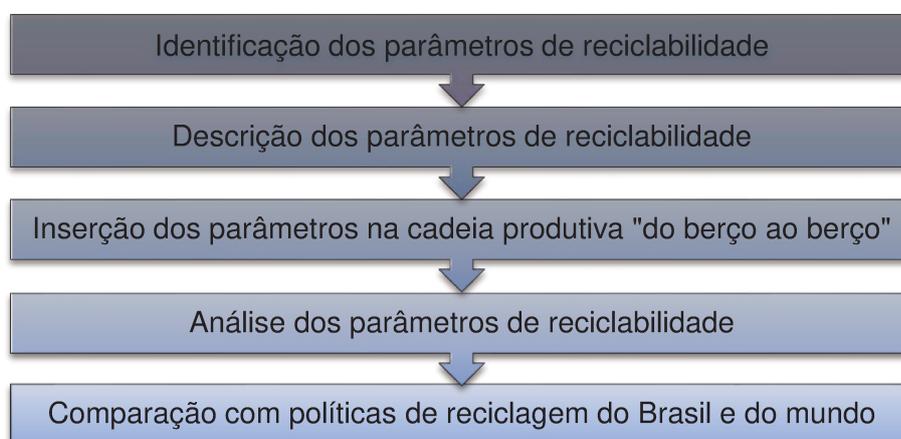


Figura 2 – Etapas de trabalho

Para possibilitar o conhecimento sobre o fenômeno e suas variáveis, foi necessária a obtenção de dados representativos da realidade que fossem bem formulados e interpretáveis. Neste sentido, Magalhães Junior (2007) afirma que os dados são elementos informativos ou representações de fatos ou instruções em forma apropriada para armazenamento, processamento ou transmissão por diversos meios.

Quando interpretados, se tornam uma informação que pode vir a ser uma propriedade (medida, observada ou avaliada) cuja variação altera a interpretação do fenômeno que representa: o parâmetro. Os parâmetros podem ser constantes ou variáveis, quando apresenta diversos valores e aspectos (SANTOS, 2004). Para Deponti et al. (2002) são limites idealizados que representam o nível ou a condição em que o sistema deve ser mantido para que seja sustentável.

---

A dissertação está estruturada em sete capítulos. O primeiro refere-se à introdução ao tema da pesquisa, seus objetivos e a metodologia adotada. No capítulo 2 é apresentado um histórico da abordagem da reciclagem de resíduos sólidos pela indústria a partir de uma revisão bibliográfica, de modo a permitir a compreensão de como a reciclagem foi abordada ao longo da história.

A partir do capítulo 3 são apresentados os resultados do trabalho. O terceiro capítulo apresenta o conceito de reciclabilidade e sua definição de acordo com alguns autores, assim como os constructos que adotam. Também são apresentados e descritos os parâmetros de reciclabilidade identificados na literatura.

No capítulo 4 são identificadas e descritas todas as etapas de uma cadeia produtiva generalizada e são inseridos os parâmetros nas etapas em que são considerados fundamentais na abordagem da reciclagem dos materiais, resultando no desenvolvimento da ferramenta de avaliação da reciclabilidade dos materiais.

Nos capítulos 5 e 6 são apresentadas validações da ferramenta. O capítulo 5 apresenta a síntese da análise qualitativa dos parâmetros de reciclabilidade dos materiais que foram agrupados de acordo com seus atributos afim de qualificar o potencial de reciclagem dos materiais. No capítulo 6 é realizada uma comparação dos parâmetros com legislações ao redor do mundo, destacando-se a legislação brasileira acerca da reciclagem dos materiais, que possibilitou identificar algumas lacunas e interfaces existentes com o constructo teórico criado durante a pesquisa. Concluindo o trabalho, o capítulo 7 apresenta as considerações e recomendações finais.

## **2. DESENVOLVIMENTO DA ABORDAGEM INDUSTRIAL PARA A RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

Ao longo do tempo, eventos na área ambiental contribuíram para o desenvolvimento de uma abordagem dos resíduos sólidos por parte das indústrias com vistas à reciclagem. Desde o início da história da humanidade, os resíduos oriundos das atividades humanas, que envolviam basicamente a agricultura, pesca e caça, eram aproveitados pela própria natureza nos ciclos biogeoquímicos e facilmente decompostos (BRAGA, 2005). Essa realidade, no entanto, sofreu influências dos adventos da industrialização e da mudança do padrão de produção e consumo de bens e serviços, que viriam a exercer grandes impactos sobre a sociedade e o meio ambiente.

Em meados do século XVIII, durante a Revolução Industrial, a ânsia pela produção em massa passou a exercer grandes impactos sobre a sociedade e o meio ambiente. A extração de recursos de maneira descuidada e a uma velocidade maior que a sua capacidade de renovação, ameaçava o esgotamento dos recursos e menosprezava os custos sociais e ambientais da produção. Aliado a isto, a industrialização ocasionou a concentração da população em grandes centros urbanos, aumentando significativamente a geração de resíduos.

Na segunda fase da Revolução Industrial, na metade do século XIX, o surgimento das indústrias química e petrolífera se intensificaram e orientaram a transição do uso de energia a vapor para o uso do petróleo (BRITO e PONTES, 2009). O desenvolvimento tecnológico, intensificado durante a terceira fase da Revolução Industrial e a Segunda Guerra Mundial, possibilitou a criação de materiais cada vez mais descartáveis e com mais embalagens para garantir a estabilidade dos produtos durante o transporte (BRITO e PONTES, 2009). A complexidade e o aumento dos resíduos dificultaram a decomposição da matéria, representando graves problemas de degradação ambiental (DEMAJOROVIC, 1995; BRAGA, 2005).

A disposição de resíduos no solo caracteriza um processo linear denominado por McDonough e Braungart (2002) como “do berço ao túmulo”, no qual os produtos são projetados na lógica dos seres vivos e ao perderem sua vitalidade são

aterros. O fato é que a redução de espaços disponíveis para a construção de novos aterros em qualquer lugar do mundo e o desperdício de recursos que representam, tornaram claro que esta opção não é a melhor alternativa.

Os primeiros movimentos a questionarem esse modelo de produção e geração de resíduos surgiram no início da década de 60. A partir de então, foram sugeridas novas abordagens para lidar com os problemas de poluição ocasionados pelo sistema produtivo. Na Dinamarca, em Kalundborg, ocorreu o primeiro exemplo de Simbiose Industrial, que assim como na ecologia, refere-se a uma associação benéfica entre seres vivos. Segundo Chertow (2000), isto envolve integrar as indústrias possibilitando trocas de materiais, energia, água e subprodutos, tais como refinarias de petróleo, de energia, de fabricação de gesso e farmacêutica compartilharam águas subterrâneas, superficiais e residuais, vapor e eletricidade e trocaram uma variedade de resíduos que se tornam matérias-primas em outros processos. Além disso, essa sinergia oferecida pela proximidade geográfica traria às indústrias alguma vantagem competitiva (CHERTOW, 2000).

A partir desta primeira iniciativa, em 1963, Frederick Barnard introduziu o conceito de Ecologia Industrial, que fora difundido mais tarde por Frosch e Gallopoulos, em 1989. Esta estratégia fundamenta-se na criação de processos industriais em ciclos fechados tal como os processos naturais. Essa abordagem trouxe uma nova perspectiva ao tratamento e à destinação dos resíduos sólidos no setor industrial. Os resíduos gerados durante o processo produtivo passam a ser utilizados como insumos em outro estágio.

Segundo Demajorovic (1995), na década de 70, surgiram movimentos ambientalistas do mundo todo que intensificaram os questionamentos às tradicionais formas de destinação dos resíduos sólidos. A Conferência de Estocolmo, em 1972, foi o primeiro grande encontro internacional com representantes de diversas nações que se propôs a discutir os problemas ambientais. A publicação do livro "Limites do Crescimento" atentou para as taxas de utilização dos recursos naturais não renováveis como materiais e energia que não poderia continuar inadequadamente. Na ocasião, o setor industrial foi reconhecido como o principal gerador de poluição. A Declaração de Estocolmo estabeleceu 26 princípios orientados para a preservação e

melhoria do meio ambiente referente à utilização de recursos naturais e poluição atmosférica, da água e do solo provenientes da industrialização.

Em 1987, a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento da ONU publicou o Relatório de *Brundtland* “Nosso Futuro Comum” para orientar as indústrias a adotarem processos mais eficientes na utilização de recursos para que gerem menos resíduos e poluição a fim de minimizar os impactos negativos sobre a saúde humana e o ambiente (MCDONOUGH e BRAUNGART, 2002). A introdução do conceito de desenvolvimento sustentável viria a sugerir um novo padrão de uso de recursos naturais, produção e consumo que considerasse a garantia de recursos para as próximas gerações.

As discussões de Estocolmo e do Relatório *Brundtland* foram amadurecidas na RIO 92 por 179 países presentes. Foi assinada a Agenda21<sup>2</sup>, que reconheceu a necessidade estratégica da adoção de novos instrumentos de gestão ambiental no processo produtivo para embasar a indústria na sustentabilidade socioambiental e passou a incentivar a adoção da ecoeficiência (LIMA, 2008; CABRERA, 2010). Especificamente no que diz respeito aos resíduos sólidos, em seu capítulo 21, a Agenda21 discorre para além da disposição final ou de seu aproveitamento. Sugere que para um manejo saudável e adequado é fundamental uma mudança dos padrões insustentáveis de produção e consumo e utilizar o conceito de gestão integrada do ciclo de vida a partir da redução, reutilização e reciclagem. A introdução do conceito ciclo de vida do produto e a diferenciação de rejeitos e resíduos contribuíram para priorizar um comportamento diferenciado nos setores de produção e consumo (DEMAJOROVIC, 1995).

Dez anos depois da RIO92, durante a reunião da Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável em Johannesburgo, na África do Sul, foram estabelecidas metas para a implementação da Agenda 21 em âmbito mundial e a avaliação dos obstáculos encontrados para atingir as metas da RIO92 e dos resultados alcançados. E em 2012, na Conferência das Nações Unidas sobre

---

<sup>2</sup> Um programa de ação baseado em um documento de 40 capítulos que destaca as esferas de atuação econômica, ambiental e social no caminho da sustentabilidade que propôs aos governos e indústrias, dentre outras, a necessidade de novos modelos e instrumentos para a gestão ambiental.

Desenvolvimento Sustentável (CNUDS) Rio + 20, que aconteceu no Rio de Janeiro, Brasil, a participação dos líderes dos países com relação ao desenvolvimento sustentável foi renovada e reafirmada. O documento final “O Futuro que Queremos” criou os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), que devem substituir os Objetivos do Milênio da ONU a partir de 2015.

No início da década de 90, o setor empresarial passou a participar das discussões ambientais. Nas preparativas para a RIO 92, 48 dos maiores líderes empresariais do planeta criaram, em 1990, o Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável (BCSD), uma Organização Não Governamental para responder às exigências da sociedade quanto às questões ambientais e estabelecer um diálogo sobre o desenvolvimento sustentável. Em 1995, o Conselho Mundial da Indústria para o Meio Ambiente<sup>3</sup> (WICE) e o Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável (BCSD) se unem para formar o Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável<sup>4</sup> (WBCSD).

Esta representação das indústrias mostrou a tomada da responsabilidade de se tornarem parte da solução à medida em que incluíram a ecoeficiência em seus programas de trabalho difundindo-a como uma estratégia de negócio rumo à sustentabilidade. A sustentabilidade ambiental passou a ser considerada uma palavra-chave na agenda industrial. A indústria passou a reconhecer os impactos decorrentes de seus produtos e processos e se propôs a desenvolver instrumentos e estratégias de gestão ambiental e alterações no modelo de produção de maneira preventiva adotados aos produtos, processos e à cadeia produtiva adequando sua postura perante o meio ambiente.

Em 1990, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) estabeleceu princípios que constituíram a Produção Mais Limpa (P+L), que funcionam como medidas preventivas integrada aos processos, produtos e serviços para aumentar a ecoeficiência e reduzir os riscos ao homem e ao meio ambiente. Assumindo que a geração de resíduos é uma ineficiência do processo produtivo e um desperdício de matéria prima e insumos, a P+L prioriza a melhoria contínua das

---

<sup>3</sup> Tradução de *World Industry Council for the Environment*

<sup>4</sup> Tradução de *World Business Council for Sustainable Development*

atividades produtivas, tanto nas tecnologias de processos como na própria gestão da empresa (LIMA, 2008). Além da conservação de recursos naturais e de energia, incluem a redução da quantidade e da toxicidade dos resíduos, rejeitos e emissões resultantes do processo produtivo. A adoção destas medidas contribui para a redução dos impactos negativos ao longo do ciclo de vida de um produto (PNUMA, 2005).

No mesmo ano, a Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana (USEPA) lançou o Programa de Prevenção à Poluição (P2) com o objetivo de controlar as emissões e reduzir, eliminar e prevenir os resíduos industriais por meio da modificação dos processos produtivos para produzir menos resíduos, reutilizar e reciclar materiais ao invés de descartá-los<sup>5</sup>. Estas iniciativas concentraram-se a orientar mudanças significativas no processo produtivo, implicando em uma série de alterações no comportamento de diversos atores da cadeia produtiva.

Ainda em 1990, na Suécia, é citado pela primeira vez nos discursos ambientais o termo Responsabilidade Estendida do Produtor (REP), caracterizando um instrumento que viria a interferir significativamente na gestão dos resíduos sólidos e nos processos produtivos do mundo todo. O termo foi utilizado pelo Ministro de Recursos Ambientais e Naturais da Suécia, Thomas Lindhqvist, como uma estratégia de proteção ambiental na diminuição dos impactos ambientais dos produtos (ROSSEM, TOJO e LINDHQVIST, 2006). Segundo a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) trata-se de uma “abordagem da política ambiental na qual a responsabilidade física e/ou financeira dos fabricantes de um produto é estendida ao estágio de pós-consumo de seu ciclo de vida”<sup>6</sup>.

Esta iniciativa europeia responsabilizou os fabricantes por todo o ciclo de vida de seus produtos, especialmente por seu retorno, reciclagem e disposição final e serviu de influência para a criação de legislações sobre responsabilidade pós-consumo no mundo todo como um princípio norteador para orientar e viabilizar a reinserção dos materiais. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabeleceu em 2010 o conceito de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. Neste sentido, tanto a REP quanto a responsabilidade compartilhada

---

<sup>5</sup> Disponível em: <https://www.epa.gov/p2/learn-about-pollution-prevention>

<sup>6</sup> Disponível em: <http://www.oecd.org/env/tools-evaluation/extendedproducerresponsibility.htm>

pelo ciclo de vida dos produtos funcionam como princípios norteadores na reinserção dos materiais à cadeia produtiva.

Em 1992, o setor de eletroeletrônicos, por meio da Associação Americana de Eletrônicos, passou a reconhecer os impactos ambientais ocasionados na produção e no descarte dos equipamentos eletrônicos e observou a necessidade de integrar preocupações ambientais na etapa da concepção dos produtos eletrônicos (BEVILACQUA, CIARAPICA e GIACCHETTA, 2012) através do conceito de Projetar para o Meio Ambiente<sup>7</sup>. Embora tenha surgido especificamente para produtos eletrônicos, sua adoção começou a ser amplamente utilizada pelas indústrias de todos os setores. O termo foi adotado como um programa da Agência de Proteção Ambiental Americana. Hoje recebe nomes como *Life Cycle Design*, *Green Design* e, conforme Vezzoli e Manzini (2008), numa perspectiva mais ampla, *Ecodesign*.

Os produtos são projetados de modo que sejam o menos danoso possível ao meio ambiente, tanto na concepção, produção, distribuição e utilização (VEZZOLI e MANZINI, 2008). O Projetar para o Meio Ambiente reforça a necessidade de que cada parte do produto seja projetada priorizando a reutilização ou, quando não for possível, a recuperação do material. A intenção é trazer os materiais de volta ao ciclo técnico ou ao ciclo biológico. Ao considerar todo o ciclo de vida do produto, o projeto inclui os custos de fabricação, reparo, retorno e destinação final (SRIVASTAVA, 2007), ocasionando em uma redução de custos, tempo e energia a longo prazo. Eichner e Pethig (2001) destacam a importância do Projetar para o Desmonte, já Sakundarini et al. (2014) chama a atenção para o Projetar para a Reciclagem - *Design for Recycling (DfR)* que se fundamenta na combinação da concepção do produto com as práticas de reciclagem a fim de minimizar a perda dos materiais.

Segundo Coltro (2007), os estudos sobre a Análise de Ciclo de Vida (ACV), embora tenham se iniciado na década de 60 com a crise do petróleo e a preocupação acerca dos limites da extração de recursos minerais e tomado força na década de 80, só expandiram de fato na década de 90 com a sua normalização pela série de normas da ISO 14040. A primeira metodologia de ACV somente foi elaborada e divulgada em

---

<sup>7</sup> Tradução de *Design for Environment (DfE)*

1993 pela Sociedade de Química e Toxicologia Ambiental<sup>8</sup>. Muitos conceitos foram adotados pela *International Organization for Standardization* (ISO) que, em 1997 elaborou a ISO 14040 - Gestão ambiental, avaliação do ciclo de vida, princípios e estrutura, e as subsequentes 14041, 14042, 14043. Em 2006, junto com a ISO 14044, recebeu uma nova versão que cancelou as anteriores.

A ACV trata-se de uma ferramenta de avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a produtos e/ou atividades ao longo de todo o ciclo de vida do produto, desde a extração da matéria-prima e produção até a circulação, o uso, disposição final ou reciclagem. A abrangência da avaliação depende das características do próprio produto e da decisão estratégica de ampliar a ferramenta ou de ajustar a características selecionadas ou mais relevantes.

Baseado nisso, em 1998 a indústria criou um mecanismo para comunicar ao consumidor os ganhos em eficiência ambiental de um produto e sua embalagem: a Rotulagem Ambiental. A ISO estabeleceu uma série de normas 14020 que, além de descrever os princípios gerais, regulamenta o desenvolvimento e o uso dos rótulos e declarações ambientais em três tipos: rotulagem ambiental (tipo I)<sup>9</sup>, autodeclarações ambientais (tipo II)<sup>10</sup> e declarações ambientais do (tipo II)<sup>11</sup> (ABRE, 2016). Estabelecem a criação de selos para produtos com destaque criados por entidades independentes e que passam por processo de concessão e licença de uso (LIMA, 2008).

---

<sup>8</sup> Tradução de *Society for Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC)

<sup>9</sup> ISO 14024:1999 e ABNT NBR ISO 14024:2004 - Estabelece os princípios e procedimentos para o desenvolvimento de programas de rotulagem ambiental do Tipo I, incluindo a seleção de categorias de produtos, critérios ambientais e características funcionais dos produtos, e parâmetros para avaliar e demonstrar sua conformidade. Essa norma também estabelece os procedimentos de certificação para a concessão de rótulos ambientais para identificar produtos com menor impacto ambiental se comparados com os similares em suas categorias, baseados num conjunto de critérios e definidos por estudos de ACV.

<sup>10</sup> ISO 14021:1999 e ABNT NBR ISO 14021:2004 - Especifica os requisitos para autodeclarações ambientais no que se refere aos produtos, incluindo textos, símbolos e gráficos. Além da metodologia de avaliação e verificação geral para autodeclarações ambientais e métodos específicos de avaliação e verificação para as declarações selecionadas na própria norma, descreve também os termos usados comumente em declarações ambientais e fornece qualificações para o uso deles.

<sup>11</sup> ISO 14.025:2006 - Exige a avaliação de ciclo de vida segundo as normas da série ISO 14.040 (ABNT NBR ISO 14.040 e 14.044, 2009).

Mesmo com a existência de instrumentos e estratégias que já comprovassem a sua aplicação, em 2002, McDonough e Braungart (2002) criaram o conceito “do berço ao berço”<sup>12</sup> para reforçar a ideia de manter todos os materiais em ciclos contínuos em que os recursos sejam usados numa lógica de criação e recuperação. Caracteriza um sistema de produção de ciclo fechado que reconhece os resíduos como recursos, no qual os produtos são especialmente projetados para que não haja perda de matéria, priorizando a seleção de materiais seguros à saúde e ao meio ambiente.

Mais tarde, essas abordagens cíclicas dos materiais foram integradas ao que se denominada como economia circular. Segundo o primeiro Relatório da Fundação Ellen MacArthur da série “*Towards the Circular Economy*” em 2013, o conceito tem origens em raízes profundas e não pode ser atribuída em uma única data ou autor. A economia circular refere-se a uma economia regeneradora que tem como objetivo manter os produtos, componentes e materiais no maior grau de reaproveitamento e valor em todos os momentos dos ciclos técnicos e biológicos.

Corroborando o cenário, em 2002, no Brasil, foi estabelecida a Bolsa de Resíduos pela Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) com o objetivo de estabelecer um mecanismo de divulgação de ofertas de compra e venda de resíduos industriais recicláveis. Funcionava como um banco de dados *online* de oferta de resíduos produzidos dentro das indústrias para possíveis compradores, possibilitando a disponibilização de resíduos de um segmento industrial a outro.

Em 2004, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) lança uma Norma Brasileira para a Classificação de Resíduos Sólidos que define os resíduos como sendo: Classe I – Perigosos; Classe II – Não perigosos, nas quais a Classe II A são não-inertes e Classe II B são inertes. A partir desta classificação é possível identificar os resíduos passíveis de reciclagem em um primeiro momento.

Em 2008 a ABNT cria a NBR 13230 para normatizar a identificação de materiais plásticos para a reciclagem, facilitando a sua separação, possibilitando o aumento da qualidade da triagem e incorporação à indústria. É fundamental no

---

<sup>12</sup> Tradução de *Cradle-to-cradle*® - marca registrada de McDonough e Braungart (2002)

estabelecimento de um sistema de logística reversa. Já a identificação dos materiais em vidro, aço, alumínio e papel é orientada pela NBR 16182 em 2013. Essa mesma norma estabeleceu o símbolo de “descarte seletivo” direcionado ao consumidor para o descarte dos resíduos sólidos recicláveis à coleta seletiva.

Dois anos depois, em 2010, foi aprovada a Lei Federal 12.305 que instituiu Política Nacional de Resíduos Sólidos. Ela dispõe sobre os princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos as responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis, inclusive no tratamento de resíduos a partir da reciclagem.

No mesmo ano, o Decreto nº 7.404 estabelece normas para execução da Política Nacional de Resíduos Sólido, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos - com a finalidade de apoiar a estruturação e implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos por meio da articulação dos órgãos e entidades governamentais, e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa.

O histórico mostra que ao longo dos anos existiu um consenso sobre a necessidade de que o setor industrial precisaria adaptar seu processo produtivo de modo a fabricar produtos a partir de um viés ambiental. Especificamente no que diz respeito à recuperação e reciclagem dos materiais, os instrumentos e estratégias orientados aos produtos, processos produtivos e à cadeia produtiva permitiram a incorporação de princípios para facilitar a reciclagem dos materiais que compõem os resíduos sólidos, assim como a otimização do uso de energia e matérias primas e a redução de perdas desnecessárias.

A Tabela 1 apresenta os eventos ambientais ao longo da histórica que influenciaram na abordagem referentes à reciclagem de resíduos sólidos pelas indústrias e as Tabelas 2, 3 e 4 apresentam instrumentos e estratégias adaptadas de Lima (2008).

Tabela 1 – Histórico das abordagens da reciclagem pela indústria

Momento	Abordagem	Referências
1ª fase da Revolução Industrial (séc XVIII)	Aumento na escala de extração de recursos, produção, consumo e geração de resíduos. Disposição final de resíduos no solo – fluxo “do berço ao túmulo”.	(DEMAJOROVIC, 1995); (BRAGA, 2005).
2ª fase da Rev. Industrial (séc XIX)	Industrialização e surgimento da indústria química e petrolífera. Transição do uso de vapor para petróleo.	
3ª fase da Rev. Industrial (séc XX) e 1ª Guerra Mundial (GM) (1914 - 1918)	A urbanização e o desenvolvimento da indústria química alteraram as características dos resíduos sólidos gerados.	(BRITO e PONTES, 2009)
2ª Guerra Mundial (1945)	Desenvolvimento e introdução de novos materiais – especialmente polímeros, no mercado. Surgimento de resíduos mais complexos.	
Conferência de Estocolmo (1972)	Aumentou a preocupação com a gestão ambiental quanto à utilização de recursos naturais e a disposição dos resíduos.	(ONU, 1972)
Relatório <i>Brundtland</i> (1987)	Introduziu o conceito de desenvolvimento sustentável. Sugere que as indústrias adotem processos mais eficientes quanto ao uso de recursos e menor geração de resíduos.	(ONU <sup>13</sup> )
Criação do BCSD (1990)	Criação do Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável (BCSD) em 1990 com 48 líderes empresariais para representar a voz do setor industrial durante a Rio 92.	(WBCSD <sup>14</sup> )
Rio 92 - CNUMAD Agenda 21 (1992)	Reconheceu a necessidade de mudança dos padrões insustentáveis de produção e consumo, assim como orientou a redução, reutilização e reciclagem de resíduos.	(ONU <sup>13</sup> )
Criação do WBCSD (1995)	O Conselho Mundial da Indústria para o Meio Ambiente (WICE) e o BCSD se unem no Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD). Incluiu a ecoeficiência no programa de trabalho e difundiu como uma estratégia de negócio rumo à sustentabilidade.	(WBCSD <sup>14</sup> )
Pacto Global (2000)	Entre o setor industrial na promoção da responsabilidade social empresarial. Orientou uma postura preventiva frente aos desafios ambientais, responsabilidade ambiental e incentivo ao desenvolvimento e tecnologias ambientalmente amigáveis.	(ONU <sup>13</sup> )
Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável - Rio+10 (2002)	Implementou a Agenda 21 mundial e avaliou os obstáculos encontrados para atingir as metas da Rio 92 e dos resultados alcançados em dez anos.	(CEBDS <sup>15</sup> )

<sup>13</sup> Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>

<sup>14</sup> Disponível em: <http://old.wbcsd.org/about/history.aspx>

<sup>15</sup> Disponível em: <http://cebds.org/linha-do-tempo-da-sustentabilidade/>. O Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS) é o órgão representante no Brasil da rede do World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).

Lei Federal 12.305 - Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010)	Dispõe sobre os princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, as responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis, inclusive no tratamento de resíduos a partir da reciclagem.	(BRASIL, 2010a)
Decreto Federal nº 7.404 (2010)	Regulamenta a Lei nº 12.305, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências.	(BRASIL, 2010b)
Rio + 20 (2012)	Realizada para renovar e reafirmar a participação dos líderes dos países com relação ao desenvolvimento sustentável.	(CEBDS <sup>15</sup> )

Tabela 2 – Instrumentos orientados a produtos

Instrumento	Descrição	Referência
Análise de Ciclo de Vida (ACV) (1960;1980)	Ferramenta para avaliar os impactos ambientais potenciais associados aos produtos e/ou atividades ao longo de todo o ciclo de vida do produto desde a extração da matéria-prima e produção até a circulação, o uso, disposição final ou reciclagem.	(FURTADO, 2005; COLTRO, 2007)
Responsabilidade Estendida do Produtor (REP) (1990)	Estratégia de proteção ambiental na diminuição dos impactos ambientais dos produtos ao responsabilizar física e financeiramente o fabricante pelo ciclo de vida do produto: retorno, reciclagem e disposição final	(ROSSEM, TOJO e LINDHQUIST, 2006; OECD, 2001)
Rotulagem ambiental (1998)	Visa comunicar ao consumidor os ganhos em eficiência ambiental de um produto e sua embalagem. As normas da ISO orientam a comunicação. Tipo I: selos criados por entidades independentes para produtos com destaque como programas de selo verde; Tipo II: declarações ambientais; Tipo III: rótulos criados por entidades independentes e que passam por processo de concessão e licença de uso.	(BRAGA e MIRANDA, 2002; BARBIERI, 2007).
ABNT NBR 10004 - Classificação de Resíduos Sólidos (2004)	Define os resíduos como sendo: Classe I – Perigosos; Classe II – Não perigosos, nas quais a Classe II A são não-inertes e Classe II B são inertes. A partir desta classificação é possível identificar os resíduos passíveis de reciclagem em um primeiro momento.	(ABNT, 2004)
Identificação do material para a reciclagem (2008)	A identificação dos plásticos recicláveis pela NBR 13230:2008 e dos vidros, aço, alumínio e papéis orientada pela NBR 16182:2013 facilita a triagem e a logística reversa.	(ABRE, 2016)
Simbologia Técnica de Identificação de Materiais (2013)	O símbolo de “descarte seletivo” foi orientado conforme diretrizes da NBR 16182:2013 e direcionado ao consumidor para o descarte dos resíduos sólidos recicláveis à coleta seletiva.	(ABRE, 2016)

Fonte: Adaptado de LIMA (2008)

Tabela 3 – Instrumentos orientados a processos produtivos

<b>Instrumento</b>	<b>Descrição</b>	<b>Referência</b>
Produção Mais Limpa (1990)	Medidas preventivas integrada aos processos, produtos e serviços. Inclui a conservação de recursos naturais e de energia, a redução da quantidade e da toxicidade dos resíduos, rejeitos e emissões resultantes do processo produtivo	(PNUMA, 2005)
Prevenção à Poluição (P2) (1990)	Programa de prevenção à poluição para controle de emissões e resíduos industriais. Reduzir, eliminar e prevenir resíduos industriais a partir da modificação dos processos e reutilização dos materiais.	(USEPA, 1992)
Bolsa de resíduos (2002)	Criada em abril de 2002 pela Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) como um mecanismo de divulgação de ofertas de compra e venda de resíduos industriais recicláveis.	PEREIRA, LIMA e RUTKOWSKI, 2007)

Fonte: Adaptado de LIMA (2008)

Tabela 4 – Estratégias orientadas à cadeia produtiva

<b>Estratégia</b>	<b>Descrição</b>	<b>Referência</b>
Simbiose Industrial (1961)	A estratégia envolve integrar indústrias a partir de uma troca física de materiais, energia, água e subprodutos pela proximidade geográfica. Pode estar estruturada em um sistema maior, denominado de ecoparque industrial.	(CHERTOW, 2000); (TANIMOTO, 2004)
Ecologia Industrial (1963)	Baseia-se nos processos naturais que se dão em ciclos fechados. Resíduos do processo são usados como insumos. Prioriza ações para a otimização do uso de recursos, o fechamento de ciclos de materiais, a minimização de emissões, desmaterialização das atividades, redução e eliminação da dependência de fontes não-renováveis de energia	(BARNARD, 1963); FROSCHE e GALLOPOULOS, 1989)
Projetar para o Meio Ambiente (1992)	Incorporação de critérios ambientais na fase inicial de concepção do produto. O termo foi estabelecido pela Associação Americana de Eletrônicos. Recebe ainda nomes como <i>Life Cycle Design</i> , <i>Green Design</i> e <i>Ecodesign</i> .	(VEZZOLI e MANZINI, 2008)
“Do berço ao berço” (2002)	Um sistema que considera o ciclo de vida do produto em todos os seus estágios e no qual os resíduos passam a ser usados como recursos	(MCDONOUGH e BRAUNGART, 2002)

Fonte: Adaptado de LIMA (2008)

### 3. RECICLABILIDADE DE MATERIAIS

#### 3.1. Conceito, definições e constructos

O conceito de reciclabilidade surgiu no final da década de 90 diante da necessidade de incorporação de princípios ambientais na etapa de *design* que facilitassem a reciclagem dos materiais que compõem os resíduos sólidos. Pento (1999) e Welp, Lindemann e Endebrock (1999) foram os precursores na utilização do termo. Ainda que muitos autores utilizem o conceito de reciclabilidade em suas pesquisas, são poucos os que se propõem a conceituá-lo. Este trabalho apresenta três definições do conceito (Tabela 5), das quais se ramificam alguns constructos.

Uma vez que o conceito de Responsabilidade Estendida do Produtor se tornou um instrumento na política ambiental em muitos países, os impactos ambientais de fim de vida de um produto foram estabelecidos como responsabilidade de seus produtores e comerciantes. Esse instrumento passou a fornecer incentivos aos produtores para orientar mudanças de *design* nos produtos, incluindo a reciclabilidade e a reusabilidade dos produtos, a redução do uso de materiais e uma série de outras atividades da estratégia de *Design for Environment* (DfE), reduzindo os custos de gestão de resíduos (OECD, 2006).

Segundo a OECD (2006), o ideal é que os produtos sejam projetados para serem reciclados, reutilizados, remanufaturados, compostados ou biologicamente degradados de modo a reduzir a demanda de recursos e a geração de resíduos. No entanto, com a tecnologia de reciclagem atual, para a OECD esse ideal raramente é alcançado, vide os casos dos veículos no fim de vida em que até 32% de seu peso acaba em aterros. A reciclabilidade pode ser projetada nos produtos em termos de escolha de materiais e garantir que muitos deles sejam 100% recicláveis. Para a OECD, é responsabilidade do fabricante garantir, não só que os produtos sejam projetados para serem reciclados, mas que os programas de reciclagem dos produtos existam e sejam utilizados.

Para Pento (1999) e Hubbe (2010), que se dedicaram a estudar o potencial de reciclagem de papéis, a reciclabilidade está atrelada ao nível da facilidade de reciclagem de um determinado produto. Pento (1999) discutiu a importância do *design*

para a reciclabilidade de papéis na Alemanha – país com maiores níveis de reciclagem, e constatou que, embora uma grande parte dos papéis e cartões seja reciclada, a reciclagem e a geração de resíduos não têm sido levadas em conta na sua fase de concepção. Para o autor, o aumento de sua reciclabilidade está associado à estratégia de Projetar para a Reciclagem, que produz papéis mais fáceis de serem recuperados e viável economicamente além de reduzir a quantidade de resíduos gerados no consumo.

Hubbe (2010), por outro lado, discorre que a reciclabilidade dos papéis estaria atrelada ao processo de fabricação. Com algumas modificações no processo, seria possível garantir a preservação da qualidade das fibras de celulose do papel, permitindo que seja reciclado mais vezes. Segundo o autor, algumas medidas durante a fabricação são desfavoráveis à reciclagem e por isso deveriam ser alteradas visando ao aumento da reciclabilidade dos papéis.

Welp, Lindemann e Endebrock (1999) também abordam a reciclabilidade dos materiais por um viés do *design* dos produtos. Pesquisaram meios de aumentar a reciclabilidade dos produtos de um modo geral, sem se restringirem a materiais específicos, por meio de uma metodologia com instruções para o projeto em termos de aspectos de reciclagem e manutenção dos bens. Segundo os autores, o potencial de reciclagem de um determinado produto está relacionado com a estratégia de Projetar para a Reciclagem – *Design for Recycling*, que garante a reciclagem eficiente do ponto de vista tecnológico, econômico e ecológico.

Em 2005, a Diretiva Europeia de 2005<sup>16</sup> sobre a reutilização, reciclagem e valorização de veículos automotivos definiu reciclabilidade como o potencial do produto em ser reciclado no fim de sua vida útil, - após o consumo. Juntamente com a reutilização dos componentes e a valorização dos materiais, constituem uma estratégia de gestão de resíduos. A Diretiva orienta que os fabricantes de veículos e os seus fornecedores incluam esses aspectos já nas fases de desenvolvimento de veículos, a fim de facilitar o seu tratamento no momento em que atinjam o fim da sua vida útil.

---

<sup>16</sup> Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32005L0064>

A terceira definição apresentada é feita por Peters et al. (2012), como o potencial de reciclagem dos materiais com o mais elevado grau de pureza e com o menor uso de tecnologias. Os autores também retratam a reciclabilidade por uma abordagem de *design* e priorizam algumas melhorias, integrando a indústria recicladora e os desenvolvedores de produtos. Nesse sentido, desenvolveram uma ferramenta prática de suporte de desenho para engenheiros de produto para aumentar o potencial de reciclagem dos materiais.

Observa-se, de um modo geral, que o conceito de reciclabilidade para a maioria dos autores que o definem está atrelado a uma abordagem do desenvolvimento de produto, como visto na Tabela 5. O trabalho adotará a definição de Peters et al. (2012), no entanto propõe uma nova abordagem a ser apresentada ao longo do texto.

Tabela 5 – Definições de reciclabilidade e sua abordagem

<b>Autores</b>	<b>Definição</b>	<b>Abordagem</b>
Pento (1999)	Nível da facilidade de reciclagem de um determinado produto	<i>Design</i>
Hubbe (2010)		Produção
Diretiva Europeia de 2005	Potencial do produto em ser reciclado no fim de sua vida útil, ou seja, após o consumo	<i>Design</i>
Peters et al. (2012)	Potencial de reciclagem dos materiais com o mais elevado grau de pureza e com o menor uso de tecnologias	<i>Design</i>

### **3.2. Identificação de atributos e parâmetros de reciclabilidade**

Independentemente da tipologia do resíduo, obteve-se um conjunto de 23 autores dos quais originaram 23 parâmetros de reciclabilidade dos resíduos sólidos que podem ser mensurados e/ou observáveis, reunidos em 8 conjuntos de atributos. Os atributos físico-químicos dos materiais dizem respeito à composição, combinação, tipo de união dos materiais e processo de fabricação, que são definidos na Tabela 6 a seguir.

Tabela 6 – Atributos físico-químicos dos materiais

Parâmetro	Descrição	Referências
Composição dos materiais	Tipos de materiais, ligas e resinas utilizadas, incorporação de aditivos químicos e materiais compósitos.	Welp, Lindemann e Endebrock (1999); Reuter et al. (2006); Vezzoli e Manzini (2008); Aguiar et al. (2017).
Combinação dos materiais	É a junção de mais de um tipo de material no produto.	Welp, Lindemann e Endebrock (1999); De Brito e Dekker (2002); Mancini et al. (2007); Vezzoli e Manzini (2008); Al-Salem, Lettieri e Baeyens (2009); Pinto-Coelho (2009); Peters et al. (2012); Sakundarini et al. (2014); Aguiar et al. (2017).
Tipo de união dos materiais	Tipo de junção do produto. Pode ser do tipo adesiva ou montagem. Interfere diretamente no desmonte do material.	Welp, Lindemann e Endebrock (1999); Vezzoli e Manzini (2008); Sakundarini et al. (2014); Aguiar et al. (2017).
Processo de fabricação	Processo pelo qual os materiais são submetidos durante a fabricação.	Hubbe (2010)

A Tabela 7 mostra os atributos de uso do produto e seus parâmetros.

Tabela 7 – Atributos de uso do produto

Parâmetro	Descrição	Referências
Local de uso	É o uso que se faz do produto a partir de locais de uso. Interfere na logística dos materiais.	De Brito e Dekker (2002); Aguiar et al. (2017).
Modo de uso	Uso do produto que varia de acordo com a frequência e intensidade, alterando ou não suas propriedades. Pode ser intenso ou ocasional. Interfere na duração da vida útil do produto.	De Brito e Dekker (2002); Vezzoli e Manzini (2008)
Deterioração dos materiais	Refere-se à durabilidade, reparabilidade, homogeneidade da deterioração e deterioração econômica dos materiais que compõem os produtos.	De Brito e Dekker (2002); Vezzoli e Manzini (2008); Migliano (2012)

Os atributos mecânicos referem-se ao desmonte dos produtos (Tabela 8).

Tabela 8 – Atributos mecânicos

Parâmetro	Descrição	Referências
Desmonte dos produtos	Desmontagem do produto em função dos seus componentes, materiais ou elementos.	Reuter et al. (2006); Vezzoli e Manzini (2008); Sakundarini et al. (2014); Aguiar et al. (2017).

Os atributos de quantidade de resíduos constituem a massa e o volume de resíduos durante a etapa de triagem (Tabela 9).

Tabela 9 – Atributos de quantidade de resíduos

Parâmetro	Descrição	Referências
Massa de resíduos triada	Refere-se à quantidade de massa de resíduos triada em kg ou ton.	Gonçalves (2003); Demajorovic, Besen e Rathsam (2006); Aquino, Castilho e Pires (2009); Varella e Lima (2011)
Volume de resíduos triado	Refere-se à quantidade de volume de resíduos triado em m <sup>3</sup> .	

Os atributos de qualidade de resíduos referem-se ao grau de beneficiando dos resíduos, a integridade e a taxa de rejeitos, como visto na Tabela 10.

Tabela 10 – Atributos de qualidade de resíduos

Parâmetro	Descrição	Referências
Grau de beneficiamento	Tipo e grau de beneficiamento aplicado ao material. Envolve a triagem, enfardamento e/ou fragmentação.	Aquino, Castilho e Pires (2009)
Integridade dos resíduos	Estado de conservação física dos resíduos.	Almeida e Zaneti (2008); Migliano (2012)
Taxa de rejeitos	Proporção de rejeitos ou grau de contaminação do material triado. Contempla o teor de umidade, teor de impureza e teor de materiais proibitivos.	Demajorovic, Besen e Rathsam (2006); Almeida e Zaneti (2008); Aquino, Castilho e Pires (2009); Varella e Lima (2011); Migliano (2012)

Os atributos econômicos referem-se ao custo, preço dos materiais, poder e frequência de comercialização, pagamento, incentivos tributários e a viabilidade econômica da reciclagem, conforme apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Atributos econômicos

Parâmetro	Descrição	Referências
Custo	Somatória do valor de coleta, triagem, tratamento, transporte dos resíduos. Na etapa da reciclagem são incorporados os custos com o processo industrial em si.	Gonçalves (2003); Almeida e Zaneti (2008); Aquino, Castilho e Pires (2009); Varella e Lima (2011); Lakhan (2015); Massote, Demajorovic e Moraes (2015)
Preço dos materiais	Na etapa do pós-consumo, refere-se ao valor de comercialização dos materiais recicláveis pago pela indústria. Já na etapa da reciclagem, refere-se ao insumo comercializado.	Gonçalves (2003); Almeida e Zaneti (2008); Rutkowski, Varella e Campos (2014)
Poder de comercialização	Oportunidades de venda direta às indústrias por melhores preços.	Gonçalves (2003); Demajorovic, Besen e Rathsam (2006); Aquino, Castilho e Pires (2009); Rutkowski, Varella e Campos (2014)

Frequência de comercialização	Estabilidade da comercialização de materiais após a triagem de modo a garantir oferta contínua de matéria prima à indústria.	Gonçalves (2003); Demajorovic, Besen e Rathsam (2006); Aquino, Castilho e Pires (2009)
Pagamento	Refere-se ao prazo de pagamento pelos materiais. Varia em função do comprador.	Gonçalves (2003); Aquino, Castilho e Pires (2009); Rutkowski, Varella e Campos (2014)
Incentivos tributários	Subsídios econômicos à reciclagem, créditos, redução de impostos e taxas.	Nepomuceno (2006)
Viabilidade econômica	É a relação entre o que se gasta e o que se ganha em uma atividade.	Reuter et al. (2006); Sakundarini et al. (2014); Lakhan (2015); Calderoni (1999); Gonçalves (2003).

Os atributos infraestruturais da reciclagem contemplam a tecnologia e a infraestrutura da reciclagem disponível, como visto na Tabela 12.

Tabela 12 – Atributos infraestruturais da reciclagem

Parâmetro	Descrição	Referências
Tecnologia de reciclagem disponível	Refere-se à disponibilidade de tecnologia de reciclagem	Demajorovic, Besen e Rathsam (2006); Rutkowski, Varella e Campos (2014); Sakundarini et al. (2014); Lakhan (2015);
Infraestrutura da reciclagem	Diz respeito à infraestrutura necessária para que ocorra. Depende do tipo de materiais e de incentivos tributários.	Massote, Demajorovic e Moraes (2015); Aguiar et al. (2017).

Inserido nos atributos de gestão, está o parâmetro gestão compartilhada, como descrito na Tabela 13.

Tabela 13 – Atributos de gestão

Parâmetro	Descrição	Referências
Gestão compartilhada	Participação do poder público, setor empresarial, grupos organizados de catadores e comunidade local na gestão integrada dos resíduos sólidos.	Gonçalves (2003); Demajorovic, Besen e Rathsam (2006); Aguiar et al. (2017).

Os atributos e parâmetros foram agrupados em uma matriz de acordo com autores que os citam, como pode ser observado na Tabela 14.

Tabela 14 – Parâmetros de reciclabilidade de acordo com autores

Atributos	Parâmetro	Calderoni (1999)	Pento (1999)	Welp, Lindemann e Endebrock (1999)	De Brito e Dekker (2002)	Gonçalves (2003)	Demajorovic, Besen e Rathsam (2006)	Nepomuceno (2006)	Reuter et al. (2006)	Mancini et al. (2007)	Almeida e Zaneti (2008)	Vezzoli e Manzini (2008)	Al-Salem, Lettieri e Baeyens (2009)	Aquino, Castilho e Pires (2009)	Pinto-Coelho (2009)	Hubbe (2010)	Varella e Lima (2011)	Migliano (2012)	Peters et al. (2012)	Rutkowski, Varella e Campos (2014)	Sakundarini et al. (2014)	Lakhan (2015)	Massote, Demajorovic e Moraes (2015)	Aguiar et al. (2017)	TOTAL	
Atributos físico-químicos dos materiais	Composição dos materiais		X	X					X			X			X	X					X			X	6	
	Combinação de materiais		X	X	X					X		X	X		X	X			X		X			X	X	11
	Tipo de união			X								X									X			X	X	4
	Processo de fabricação															X									X	1
Atributos de uso dos produtos	Local de uso				X																			X	X	2
	Modo de uso				X							X				X										3
	Deterioração dos materiais				X							X				X		X								4
Atributos mecânicos	Desmonte dos produtos							X			X									X			X	X	4	
Atributos de quantidade de resíduos triados	Massa de resíduo triado					X	X							X			X									4
	Volume de resíduo triado					X	X							X			X									4
Atributos de qualidade de resíduos triados	Grau de beneficiamento													X												3
	Integridade dos materiais										X							X								2
	Taxa de rejeitos						X				X			X			X	X								5
Atributos econômicos	Custo	X				X	X				X		X			X						X	X			8
	Poder de comercialização					X	X						X							X						4
	Preço dos materiais	X				X	X				X									X						4
	Frequência de comercialização					X	X						X								X					3
	Pagamento					X							X								X					3
	Incentivos tributários							X															X			2
	Viabilidade econômica	X					X	X													X	X				5
Atributos infraestruturais da reciclagem	Tecnologia de reciclagem						X													X	X	X	X	X		6
	Infraestrutura da reciclagem						X													X	X	X	X	X		6
Atributos de gestão	Gestão compartilhada					X	X				X									X						4
<b>TOTAL</b>		<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>7</b>		

Observou-se que cada parâmetro possui um conjunto de autores que o cita. Os atributos e parâmetros utilizados por cada autor, no entanto, não caracterizam uma abordagem integral da cadeia produtiva, mas de etapas isolada de acordo com suas áreas de atuação por meio de abordagens específicas da reciclagem dos materiais. Todavia, a identificação deste conjunto de 8 atributos e 23 parâmetros mostrou que a reciclabilidade dos materiais não pode ser definida apenas em uma etapa da cadeia produtiva.

Como o fluxo de materiais se dá ao longo de toda a cadeia produtiva, todas as etapas possuem parâmetros que afetam as condições dos materiais, e consequentemente seu potencial de reciclagem. Dessa forma, a reciclabilidade possui uma abordagem que abrange todas as etapas da cadeia produtiva. Neste sentido, no capítulo a seguir os parâmetros são inseridos em cada etapa da cadeia produtiva nas quais devem ser considerados devido sua relevância para o processo de reciclagem de um modo geral.

Na matriz representada é possível visualizar o número de vezes que os parâmetros são considerados entre os autores e o número de parâmetros que cada autor identifica em sua área de estudo, tornando alguns parâmetros mais relevantes que outros em termos de quantidade de citações. É possível analisar que o parâmetro mais citado entre os autores é a combinação dos materiais (11 citações), seguido pelo custo (8 citações). Da mesma forma, é possível identificar que alguns autores contribuem com um maior número de parâmetros que interferem na reciclabilidade dos materiais, tais como Gonçalves (2003) e Demajorovic, Besen e Rathsam (2006). Ambos os autores possuem uma abordagem da cadeia produtiva especificamente após a etapa de consumo, no que refere-se à gestão dos resíduos (a partir dos atributos de quantidade de resíduos triados), demonstrando uma maior participação na quantidade de parâmetros identificados.

Ao analisar os conjuntos de atributos e seus parâmetros, percebe-se que eles se remetem a etapas específicas da cadeia produtiva. Os atributos físico-químicos dos materiais, por exemplo, referem-se ao início do processo produtivo, na etapa de desenvolvimento dos produtos. Nesta perspectiva, optou-se por abordar toda a cadeia produtiva.

#### 4. INSERÇÃO DE PARÂMETROS DE RECICLABILIDADE DE MATERIAIS NA CADEIA PRODUTIVA

Durante muito tempo o processo de fabricação foi considerado, tradicionalmente, como um processo de sentido único no qual as matérias-primas são convertidas em produtos finais e entregues aos clientes (BEAMON, 1999). Essa perspectiva do processo de produção de forma linear representa uma cadeia produtiva de ciclo aberto, na qual os resíduos são descartados logo após o consumo. A deterioração ambiental, a diminuição de recursos e matérias primas e a geração de resíduos são acentuados neste processo linear e caracterizam um cenário insustentável que requer mudanças imediatas nos sistemas produtivos.

Conforme Srivastava (2007), a partir de 1980 passou-se a integrar a gestão ambiental nas operações de produção por meio de uma cadeia de fornecimento verde, a qual Guide et al. (2003) denominam como cadeia de suprimento de ciclo fechado. Esta nova abordagem ocorreu devido às mudanças nos requisitos ambientais, aumentando a atenção dada ao desenvolvimento de estratégias de gestão ambiental (BEAMON, 1999). Em direção à sustentabilidade, a cadeia produtiva de ciclo fechado que considera os vetores ambientais para reduções na utilização de recursos e na geração e descarte de resíduos, passa a incluir a recuperação e a reciclagem. Portanto, a cadeia produtiva de ciclo fechado necessariamente contém a reciclagem dos materiais. Segundo Zhu e Sarkis (2004) a cadeia produtiva de ciclo fechado é definida como

"a integração do pensamento ambiental na gestão da cadeia de suprimentos, incluindo o *design* de produto, a seleção dos materiais, os processos de fabricação, a entrega do produto final aos consumidores, bem como a gestão de fim de vida útil do produto após sua vida útil" (ZHU e SARKIS, 2004).

McDonough e Braungart (2002) afirmam que até então os produtos são projetados na lógica dos seres vivos e ao perder a vitalidade são aterrados, caracterizando um processo linear "do berço ao túmulo". A partir deste momento, verifica-se a necessidade da substituição do processo produtivo de ciclo aberto para um processo de ciclo fechado - um sistema "do berço ao berço" conforme denominado por McDonough e Braungart (2002) e demonstrado na Figura 3.

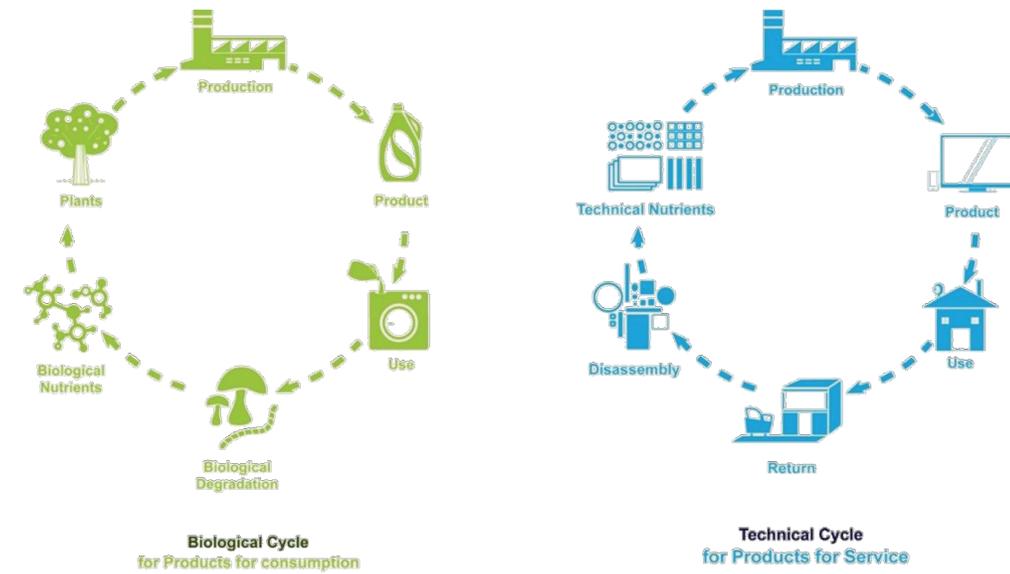


Figura 3 – Sistema produtivo "do berço ao perço"  
 Fonte: McDonough e Braungart (2002)

A cadeia produtiva constitui um conjunto de etapas consecutivas pelas quais vão sendo transformados e transferidos os diversos insumos, permitindo uma melhor compreensão do ciclo de vida do produto (PROCHNIK e HAGUENAUER, 2002), com uma divisão de trabalho especializada nas distintas etapas do processo produtivo (ALBAGLI e BRITO, 2003).

Esta pesquisa adota a cadeia produtiva de ciclo fechado como uma ferramenta ao entendimento de como se dá a circulação dos materiais ao longo do processo desde a etapa do desenvolvimento do produto. Como o trabalho parte da premissa da necessidade de recuperação dos materiais recicláveis após o consumo e sua destinação à reciclagem, é essencial que o ciclo se feche.

A cadeia produtiva de ciclo fechado (Figura 4) a seguir foi elaborada a partir de Beamon (1999) e Vezzoli e Manzini (2008). Beamon (1999) propôs o desenho de uma "cadeia de suprimentos verde" que inclui as operações de recuperação dos materiais, tais como a manutenção, reutilização e reciclagem. Vezzoli e Manzini (2008) inserem o desenvolvimento do produto sob a perspectiva da sustentabilidade ambiental.

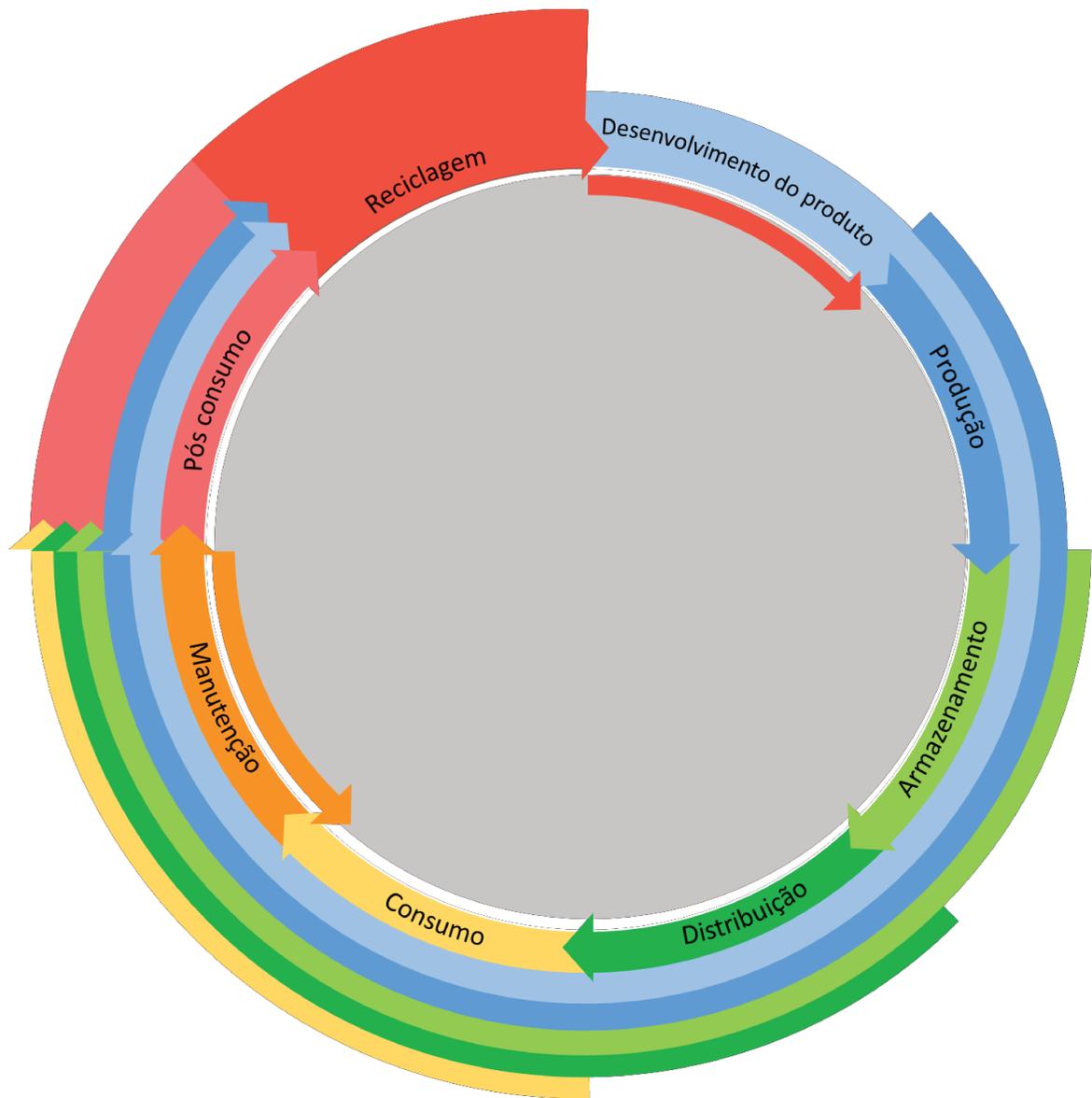


Figura 4 – Cadeia produtiva de ciclo fechado

Fonte: Adaptado de Beamon (1999); Vezzoli e Manzini (2008)

A cadeia produtiva é a representação do funcionamento do fluxo dos materiais ao longo das etapas produtivas, que podem ser visualizadas em cores diferentes. A cadeia se inicia com o desenvolvimento dos produtos, que se liga às etapas subsequentes. Ao longo de toda a cadeia podem ser gerados resíduos que seguem o fluxo dos materiais ou que são encaminhados diretamente ao pós-consumo para beneficiamento e posterior tratamento por reciclagem. No caso de resíduos gerados durante o desenvolvimento dos produtos ou da produção, podem ser encaminhados

diretamente à industrial recicladora já no momento de sua geração ou ainda reciclados no próprio processo produtivo que o gerou, utilizando-o agora como recurso. Nesta representação é possível identificar que cada etapa da cadeia produtiva tem responsabilidade pelo resíduo gerado. A largura das faixas em cada etapa aumenta conforme acumulam-se as responsabilidades. A etapa final que envolve a reciclagem dos materiais contém todas as outras etapas.

Assumindo a importância da matéria em se manter em condições de ser recuperada e reciclada pela indústria para fechar a cadeia produtiva, este trabalho pretende mostrar que há alguns parâmetros a serem adotados nas diversas etapas do ciclo de vida do produto. Desde o momento de projeto, alguns fatores podem ser considerados para facilitar a recuperação dos materiais contidos nos produtos, fazendo toda a diferença na sua reciclagem e no aproveitamento como recursos em um novo processo de produção. Nos tópicos a seguir, as atividades e os parâmetros relevantes que contêm são descritos e detalhados.

#### **4.1. Desenvolvimento de produtos**

O desenvolvimento de produtos compreende a primeira etapa da cadeia produtiva, na qual os dados sobre oportunidades de mercado e possibilidades técnicas são transformados em bens e informações para a fabricação de um produto (CLARK e FUJIMOTO, 1991; AMARAL FILHO, 2002).

O desenvolvimento de produtos representou, inicialmente, um instrumento importante de vantagem competitiva para muitas empresas. A busca pelo desenvolvimento de melhores produtos de maneira mais rápida, mais eficiente ou mais efetiva (CLARK e FUJIMOTO, 1991; BROWN & EISENHARDT, 1995) fez com que as organizações se diversificassem, se adaptassem e se reinventassem quanto às evoluções do mercado e das técnicas de produção, impactando significativamente no custo, na qualidade e na satisfação do cliente (CLARK e FUJIMOTO, 1991).

Um projeto de produto orienta a concepção e o planejamento com relação à sua forma física, seu propósito e seu processo de fabricação (SLACK, CHAMBERS e

JONSTON, 2002). Nesta etapa de desenvolvimento do produto podem ser considerados alguns vetores ambientais de modo a otimizar a vida útil do produto e facilitar a separação das partes ou dos materiais (VEZZOLI e MANZINI, 2008).

A partir do momento em que a ideia de produto inclui a satisfação das necessidades dos consumidores, o seu desenvolvimento deve ser orientado para o mercado consumidor, interpretando suas necessidades e expectativas (BAXTER, 1995). À medida em que passa a existir uma responsabilidade ecológica, tanto por parte dos consumidores quanto da empresa, há uma reorientação da demanda de produtos e serviços, reprojutados como produtos de baixo impacto ambiental (VEZZOLI e MANZINI, 2008).

A Suécia, a Noruega e a Dinamarca utilizam medidas para incentivar a indústria a adotar a estratégia do *ecodesign*. Na Itália, os italianos Vezzoli e Manzini (2008) são referências no *design* de produtos voltados para a sustentabilidade ambiental. Os autores afirmam que essa nova abordagem no desenvolvimento de produtos ambientalmente responsáveis baseia-se em uma visão mais ampla do que a geralmente adotada. Destacam que o produto deve ser projetado considerando todas as suas fases e que projetar um produto especificamente para a reciclagem exige estimar a capacidade de reciclagem dos materiais baseada na viabilidade econômica e tecnológica do processo como um todo. Assim, o *design* precisa abranger um conjunto de indicações que visam facilitar cada uma das etapas de coleta, transporte, desmontagem e, eventualmente, limpeza, identificação e a reciclagem.

- **Composição do produto**

Alguns autores observam que a composição dos produtos interfere no seu potencial de reciclagem. De Brito e Dekker (2002) atentam para a composição do produto como uma característica relevante que advém de quatro aspectos:

- facilidade de desmonte do produto e/ou de suas partes,
- homogeneidade dos elementos constituintes;
- presença de materiais perigosos

- facilidade de transporte

Para Reuter et al. (2006) as propriedades e as classes minerais dos materiais, o tamanho das partículas, o grau de libertação e a eficiência da separação física dos produtos determinam a sua reciclabilidade. Welp, Lindemann e Endebrock (1999) complementam que o tipo dos materiais, a forma das peças e a estrutura do produto também interferem.

Pento (1999) estuda especificamente a reciclabilidade dos papéis de impressão e afirma que a composição do material – presença de fibras, minerais e tintas, interfere diretamente no seu potencial de reciclagem. Acredita que a melhoria das propriedades dos materiais contribui para que sejam técnica e economicamente mais fáceis de reciclar e produzem menos resíduos quando reutilizados.

Para Vezzoli e Manzini (2008) os *designers* possuem um papel fundamental na seleção e aplicação dos materiais que serão empregados nos produtos, assim como atentar-se à composição dos materiais. Os *designers* têm opções muito limitadas de materiais que podem ser reciclados facilmente. Muitas vezes há restrições diretas sobre os requisitos para os produtos, como a capacidade de carga, a temperatura ou os custos de material. Sakundarini et al. (2014) observam que os *designers* são desafiados a manter o objetivo do produto frente ao custo, requisitos funcionais ou técnicos e de desempenho de reciclagem do produto.

- **Combinação dos materiais**

Considerando que um dos princípios da estratégia de Projetar para a Reciclagem objetiva o desenvolvimento de produtos de modo que o seu tratamento seja eficiente (BARROS, 2012), a combinação do material é um fator importante (REUTER et al., 2006; WELP, LINDEMANN e ENDEBROCK, 1999; DE BRITO e DEKKER, 2002).

Sakundarini et al. (2014) afirmam que a combinação de materiais influencia o processo de reciclagem, em particular, durante a fase de separação do material. Uma menor combinação de materiais, a redução do número de partes e componentes, embalagens e materiais incompatíveis entre si, facilitam o desmonte, a reparação, a

reutilização e permitem um aumento do potencial de reciclagem, uma vez que não complica o processo de separação.

Peters et al. (2012) criticam os estudos sobre o *design* para a reciclabilidade, que se propõem a minimizar a diversidade material mas não especificam quais materiais devem ser evitados ou preconizados. Para os autores, a combinação de materiais pode interferir enormemente na reciclabilidade dos resíduos.

- **Tipo de união dos materiais**

Sakundarini et al. (2014) consideram o tipo de união um parâmetro de *design* de produtos que influencia diretamente na reciclabilidade dos materiais. Como a qualidade de um produto reciclado depende da libertação e separação dos materiais, os tipos de união e a seleção dos materiais na concepção são cruciais para elevar o seu nível de reciclagem. Welp, Lindemann e Endebrock (1999) complementam que a técnica de conexão interfere na reciclagem dos materiais e observam que podem ser destacáveis, em parte destacáveis ou não-destacáveis.

- **Deterioração dos materiais**

Para De Brito e Dekker (2002) as características de deterioração do produto determinam uma possível reutilização ou manutenção, dependendo do funcionamento do produto. Na etapa de desenvolvimento, os produtos são projetados para atender a um determinado tempo de vida – ciclo de vida do produto, ou seja, desde a concepção, as características de deterioração intrínseca estimam o quão rápido um produto vai envelhecer em determinado grau e a intensidade de utilização.

- **Desmonte dos materiais**

Para Reuter et al. (2006), a eficiência de separação física é um dos fatores que determinam a qualidade e o valor econômico da reciclagem de produtos. Neste

sentido, Vezzoli e Manzini (2011) consideram o Projetar para o Desmonte uma estratégia fundamental na reciclagem dos materiais.

A separação de materiais refere-se à desmontagem, que depende majoritariamente do tipo de união (SAKUNDARINI et al., 2014). Neste caso, a seleção do tipo de união durante a etapa de desenvolvimento do produto influencia o grau de dificuldade de desmontagem.

- **Gestão compartilhada**

A gestão compartilhada responsabiliza o setor industrial pelos impactos socioambientais decorrentes de seus produtos e atribui obrigações quanto o desenvolvimento de produto. A adoção de estratégias de ecodesign, Projetar para o meio ambiente, para o desmonte e reciclagem são alguns exemplos de projetos que incorporam vetores ambientais e facilitam a recuperação e reciclagem dos materiais.

## **4.2. Produção**

Segundo Vezzoli e Manzini (2008) as etapas de produção consistem no processamento de materiais, montagem e o acabamento. Quando inseridas na produção, as matérias-primas sofrem uma transformação de suas propriedades físicas — forma, composição e características, por meio de seu processamento (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2002) e são transformadas em componentes e montadas em um produto final. Nesta etapa podem ser aplicados alguns tipos de acabamento, como pintura e polimento (VEZZOLI e MANZINI, 2008).

Alterações no sistema de produção podem ser realizadas afim de diminuir a quantidade de energia e matéria prima consumidas, a eliminação de matérias primas tóxicas e reduzir a quantidade e a toxicidade dos resíduos rejeitos e emissões resultantes do processo produtivo (PNUMA, 2005).

A adoção destas medidas contribui para a redução dos impactos negativos ao longo do ciclo de vida de um produto (PNUMA, 2005) e garantir que o material, mesmo

ao passar pela etapa de produção, se mantenha em condições de continuar em ciclo fechado para ser recuperado. Outras alterações dizem respeito a melhoramentos tecnológicos, alterações nos procedimentos e práticas operacionais, redução da produção e/ou utilização de embalagens. (RUSSO, 2003).

- **Processo de fabricação**

Os processos pelos quais os materiais são submetidos durante a fabricação podem influenciar nas características físico-químicas e no potencial de reciclagem dos produtos ao final de sua vida útil (HUBBE, 2010). O autor, ao pesquisar sobre o aumento da reciclabilidade dos papéis, identificou que ao realizar certos procedimentos durante a sua produção, como por exemplo uma pré-extração e refino mais cautelosos ou evitar a secagem excessiva, ocasionam mudanças na sua propriedade, facilitando que sejam reciclados depois do uso pelos consumidores.

- **Massa e volume dos materiais**

A massa dos produtos fabricados pode influenciar diretamente na massa materiais obtida após o consumo, ou seja, na massa de resíduos. Materiais pós consumo mais leves podem exigir um maior número de viagens para transporte durante a coleta seletiva para adquirir a mesma massa de resíduos mais pesados, por exemplo - o que pode encarecer os custos nesta etapa. Por outro lado, quanto maior a massa de materiais triada, maior a quantidade de resíduo triado e maiores as possibilidades de comercialização e reciclagem.

O volume dos materiais produzidos vai determinar o espaço necessário para os materiais ao longo das etapas subsequentes da cadeia produtiva. A produção de um grande volume de materiais e a produção de materiais de grandes volumes irão interferir nos fluxos dos materiais. Além disso, o volume dos materiais está diretamente relacionado com a massa de resíduos triada, comercializada e reciclada.

- **Modo de uso e Deterioração dos materiais**

O modo de uso dos materiais durante a produção interfere diretamente nas características de deterioração do produto e portanto, no seu potencial de reciclagem. Segundo De Brito e Dekker (2002), o manuseio dos produtos na etapa da produção está relacionada com a manutenção das condições do material, garantindo a estabilidade da matéria e o reaproveitamento como recursos em um outro processo produtivo.

A redução de subprodutos durante a produção e o seu reaproveitamento em outro processo produtivo diminui a geração de resíduos e faz com que sejam aproveitados ao máximo (BEVILACQUA, CIARAPICA e GIACCHETTA, 2012). Para isso, Russo (2003) afirma que são requeridas alterações no processo produtivo e nas matérias primas utilizadas, que podem ser matéria prima virgem ou matéria reciclada. Assim, contribuem para a minimização de perdas e refugos na produção ao orientar a utilização dos resíduos gerados durante o processo produtivo como insumos em outro estágio.

- **Gestão compartilhada**

Mediante a obrigatoriedade da gestão compartilhada a todos os atores da cadeia produtiva, na etapa da produção é importante que os fabricantes estruturem e implementem sistemas de logística reversa para seus produtos: embalagens de agrotóxicos, pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes, lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista, produtos eletroeletrônicos e seus componentes e embalagens em geral.

Os responsáveis podem adotar algumas medidas estabelecidas pela PNRS que referem-se à implantação de procedimentos para compra de produtos e embalagens pós-consumo, disponibilização de Postos de Entregas Voluntárias de resíduos reutilizáveis e recicláveis (PEVs) e a atuação em parceria com cooperativas ou associação de catadores. Ou ainda através da assinatura de Acordos Setoriais ou Termos de Compromisso firmados com o poder público.

### 4.3. Armazenamento e Distribuição

Após a produção, quando a entrega não é imediata, os produtos são estocados (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2002). Os estoques equilibram a oferta e a demanda para garantir aos clientes a disponibilidade dos produtos (BALLOU, 2006). Podem ter duas funções principais: o armazenamento de produtos (estocagem) e o manuseio dos materiais dentro da fábrica — que ocorre por atividades de carga e descarga, movimentação dos produtos no interior do armazém e separação dos pedidos.

Segundo Ballou (2006), o transporte traduz a necessidade de movimentar as matérias e os produtos acabados das empresas e refere-se à lacuna de tempo e espaço entre os pontos de processamento da empresa e seus clientes. Afirma que as operações de distribuição envolvem atividades de compra, tráfego interno, controle de estoque, armazenagem, controle de pedidos e a expedição. Para Vezzoli e Manzini (2008) esta fase implica não só o consumo de energia para o transporte, mas também o consumo de recursos para produzir os meios de transporte, bem como instalações de armazenamento. Além disso, destacam uma etapa fundamental que caracteriza a distribuição: a embalagem, na qual o produto final é embalado, a fim de alcançar o consumidor final de forma intacta.

Este setor é representado pelos distribuidores e varejistas que compram bens especialmente para revenda, geralmente de fornecedores geograficamente dispersos. Os itens são comercializados geralmente dentro de uma área geográfica limitada. Nas operações de distribuição dos produtos também priorizam-se embalagens de transporte que possam ser reutilizadas ou recicladas, como contêineres e *paletes* retornáveis ao invés de não-retornáveis (DEMAJOROVIC, 1995).

- **Massa e volume de materiais**

Os parâmetros de massa e volume dos materiais durante o armazenamento são importantes pois determinam qual será o tipo das embalagens e recipientes utilizado para armazenagem dos produtos. Além disso, influenciam também nos custos em termos de espaço necessário para armazenamento e transporte interno.

- **Modo de uso**

O modo como os produtos são manuseados e armazenados podem ser incorporados no parâmetro modo de uso. Este parâmetro interfere na qualidade da matéria. Um correto armazenamento previne perdas de produtos e conseqüentemente a geração de resíduos e rejeitos.

A utilização de embalagens assegura o armazenamento correto dos produtos no estoque, a segurança e otimização da movimentação no armazém. Bevilacqua, Ciarapica e Giacchetta (2012) afirmam que é preferível o uso de embalagens recicláveis ou recicladas padronizadas, como no caso de garrafas, engradados, caixas, pallets e contentores que podem ser utilizados por diferentes empresas. Além disso, as embalagens e materiais utilizados na etapa de distribuição como recipientes são usados apenas por um curto período de tempo, apenas para o transporte. Deve-se procurar selecionar os materiais adequados de acordo com a finalidade e utilizar com cautela para manter a qualidade dos materiais para posterior reutilização ou reciclagem.

- **Deterioração dos materiais**

Nessas etapas os produtos não sofrem transformação, porém as características de deterioração adquiridas determinam o grau de integridade e estabilidade dos materiais, impactando significativamente na reciclabilidade. O manuseio, a estocagem e a distribuição adequada dos produtos e embalagens durante o armazenamento podem interferir nas características do produto para serem recuperados ao final da cadeia.

- **Gestão compartilhada**

Os distribuidores têm suas responsabilidades estabelecidas pela PNRS, que incluem organizar e executar a logística reversa em conjunto com os fabricantes, importadores e comerciantes na coleta dos produtos que distribui conforme os acordos ou termos de compromisso assinados (BRASIL, 2010). O cumprimento da logística

reversa garante que os materiais cheguem à indústria para transformação em novos produtos.

#### **4.4. Consumo**

Depois de distribuídos aos locais de comércio, os produtos são adquiridos pela população. Como lembra Vezzoli e Manzini (2008), os bens são utilizados ou consumidos por um determinado período, o que implica no consumo de recursos e energia e geração de resíduos e rejeitos. Os produtos podem ser encaminhados à manutenção, reparação de danos ou peças danificadas ou substituição de peças obsoletas. Os produtos permanecem em uso até que o consumidor decida descartá-los.

A etapa do consumo envolve a tomada de decisões políticas e morais. Há uma combinação de valores éticos, escolhas políticas, visões sobre a natureza e comportamentos (MMA, 2005). O consumo baseado em uma lógica de estímulo à cadeia produtiva de ciclo fechado chamado de “consumo verde”, propõe que o consumidor inclua em seu poder de escolha a variável ambiental, dando preferência a produtos e serviços que não agridam o meio ambiente tanto na produção, quanto na distribuição, no consumo e no descarte final (MMA, 2005).

Cabe ao consumidor comprar e utilizar de modo responsável, por meio de uma mudança dos hábitos que passe a considerar os aspectos socioambientais na escolha dos produtos e serviços. Os princípios do consumo responsável dizem respeito a priorizar a compra de produtos que possuam a menor quantidade possível de embalagens ou produtos cujos materiais não possam ser recuperados e reciclados.

- **Local de uso**

O potencial de reciclagem dos materiais pode variar em função do local de uso dos produtos. Quanto mais locais de uso e maior a distância entre o local de produção, consumo, beneficiamento e processo industrial da reciclagem, mais difícil e maiores são os custos da coleta seletiva, logística reversa e reciclagem, interferindo diretamente na

sua viabilidade. A localização do consumo é um fator determinante no custo da coleta, principalmente devido ao transporte dos resíduos às centrais de triagem.

- **Modo de uso**

O modo de uso dos produtos pelos consumidores interfere no grau de conservação dos materiais que continuarão a trajetória ao longo da cadeia produtiva. Ainda que os produtos tenham sido projetados de modo a preestabelecer sua vida útil, as condições de uso podem alterar significativamente o ciclo de vida dos materiais.

- **Deterioração dos materiais**

As escolhas do consumidor devem levar em consideração a durabilidade e o grau de reparabilidade dos produtos, evitando produtos projetados para a obsolescência programada. É preferível o consumo de produtos locais, pois são mais fáceis e baratos de serem reparados quando necessário. A decisão por esses produtos passa a considerar a recuperação dos materiais que o compõem. O manuseio dos produtos também vai interferir as características de deterioração dos materiais.

- **Massa e volume de resíduos**

A massa e o volume de resíduos são resultados do consumo da sociedade. Esses parâmetros são importantes nesta etapa pois determinam o quanto de resíduo poderá ser encaminhado para a reciclagem e o quanto de fato será reciclado ao final da cadeia. Estes números têm influência direta da existência de coleta seletiva e participação por parte da população.

- **Integridade dos materiais**

Segundo Migliano (2012) a integridade dos materiais – ocasionada pelos consumidores logo após o descarte, interfere no seu tratamento e reciclagem. Produtos

cuja integridade original não foi violada não apresentam riscos para as fases iniciais de tratamento de coleta, transporte, triagem, classificação, desmontagem e da reciclagem em si (MIGLIANO, 2012).

- **Taxa de rejeitos**

Varella e Lima (2011) afirmam que a separação na fonte determina a quantidade e a qualidade dos materiais encaminhados à reciclagem. Isto porque facilita e otimiza a etapa posterior de triagem pelos agentes revalorizadores.

Demajorovic, Besen e Rathsam (2006) afirmam que uma separação mais eficiente garante uma matéria prima de boa qualidade e que, somada à estrutura de armazenamento disponível, possibilita estocar maiores quantidades de recicláveis, ampliando o poder de negociação na comercialização do material. Segundo os autores a mistura dos recicláveis com rejeitos ou sua contaminação restos de alimentos ou líquidos origina um material de baixa qualidade, o que diminui a reciclabilidade e triabilidade - o potencial de triagem real de um material.

- **Gestão compartilhada**

A PNRS estabelece que a obrigação dos consumidores na gestão compartilhada é a de acondicionar adequadamente e de forma diferenciada os resíduos sólidos gerados e de disponibilizar adequadamente os resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis para coleta ou devolução (BRASIL, 2010).

#### **4.5. Manutenção**

Após o consumo e a perda de qualidade, prefere-se que os produtos sejam encaminhados para a manutenção e retornem ao consumidor. Quando isto não é mais possível, o produto é encaminhado para a destinação adequada para a recuperação e reciclagem dos materiais.

A manutenção consiste na fixação ou a substituição de peças danificadas e geralmente requer apenas a desmontagem e a remontagem dos produtos. As operações de reparação podem ser realizadas no local do cliente ou em centros de reparação controlada pelo fabricante (THIERRY, 1995). Após a manutenção, o produto é encaminhado de volta ao consumidor, originando, segundo Blackburn et al. (2004), um mercado secundário e uma receita adicional a um segmento de mercado muitas vezes relutante ou incapaz financeiramente de adquirir um novo produto.

Para que sejam reparados, os produtos requerem o retorno ao fabricante, fomentando a circulação da matéria em um ciclo fechado. Este caminho inverso do produto, segundo Rogers & Tibben-Lembke (1998) abrange atividades como o retorno ao fornecedor, revenda, recondicionamento, renovação, remanufatura, recuperação material, reciclagem e aterramento. A criação de pontos de coleta e sistemas de embalagens retornáveis otimiza toda a logística e reduz significativamente os impactos ambientais e os custos logísticos (BEVILACQUA, CIARAPICA e GIACCHETTA, 2012).

Thierry et al. (1995) atentam para o fato de que a maioria dos produtos já são projetados de tal forma que os custos com os materiais, montagem e a distribuição sejam mínimos, enquanto que os custos de manutenção, reparação, reutilização e a destinação final não são considerados. Segundo Welp, Lindemann e Endebrock (1999) a estratégia de Projetar para a Manutenção - *Design for Maintenance*, além de possibilitar e facilitar a manutenção dos produtos, faz com que os custos e o tempo de reparação sejam baixos. Além disso, assegura a proteção do ambiente, bem como a saúde e segurança no trabalho durante os processos de manutenção.

- **Tipo de união dos materiais**

O tipo de união dos materiais vai interferir na facilidade de desmonte dos materiais para serem reparados e conseqüentemente interferir na quantidade de produtos encaminhados à reciclagem. Vezzoli e Manzini (2011) observam que há um conjunto de atividades a serem adotadas para facilitar a manutenção dos produtos.

- **Local de uso**

Os locais de uso dos produtos interferem nos custos logísticos para o encaminhamento dos mesmos à manutenção, que faz com que, na maioria das vezes, os reparos tendem a ser caros. Isto interfere diretamente na quantidade de produtos a serem encaminhados para a reciclagem, pois quanto não possuem viabilidade econômica de manutenção, acabam sendo destinados diretamente para a reciclagem.

- **Modo de uso**

Após o consumo, os produtos que se tornam obsoletos, danificados ou inoperantes podem ser devolvidos aos seus pontos de origem para manutenção, conserto, remanufatura ou diretamente para a destinação final e reciclagem (BALLOU, 2006). O padrão de uso dos produtos passa a interferir diretamente na fase de manutenção, pois diz respeito às condições do produto em função da sua utilização.

Para Thierry et al. (1995) a manutenção devolve o funcionamento aos produtos usados, embora na maioria das vezes a qualidade seja geralmente inferior à de novos produtos. Já a reparação e a remanufatura envolvem o aumento da qualidade e/ou tecnologia aos produtos usados conforme o grau de melhoramento.

- **Desmonte**

Durante a manutenção, o desmonte dos produtos pode interferir diretamente na separação dos materiais e na destinação dos mesmos à reciclagem dos mesmos. Além disso, a desmontagem do produto em peças e componentes contribui para agregar valor aos materiais perante a indústria recicladora, pois cada tipo de material possui um potencial e valor diferenciado.

- **Deterioração dos materiais**

As características de deterioração dos produtos vão indicar a necessidade da manutenção na devolução da funcionalidade ou então determinar a inutilidade dos produtos e encaminhá-los à recuperação dos componentes reaproveitáveis e a posterior reciclagem.

- **Gestão compartilhada**

A gestão compartilhada também é fundamental nesta etapa, uma vez que há a geração de resíduos durante o processo de manutenção. Além disso, os produtos e materiais que não são passíveis de conserto devem ser integrados ao sistema de logística reversa e serem destinados para a indústria recicladora.

#### **4.6. Pós-consumo**

Após o consumo dos produtos tem-se a geração de resíduos — resultado do fluxo de materiais da sociedade. Resíduos pré-consumo são constituídos de descartes, refugos ou excedentes gerados durante a produção e resíduos pós-consumo são materiais provenientes dos produtos e embalagens depois de terem sido utilizados pelos consumidores finais.

Segundo Rutkowski, Varella e Campos (2014) nesta etapa inicia-se a cadeia produtiva da reciclagem, composta por agentes recuperadores, revalorizados e transformadores. Conforme Ribeiro e Gomes (2014), os resíduos que possuem capacidade tecnológica e valor para o mercado da reciclagem, ingressam nesta cadeia produtiva em um fluxo que caminha para o tratamento e a reinserção da matéria como recursos em um novo processo produtivo. De um modo geral, a etapa pós-consumo contém a triagem, armazenamento e distribuição dos resíduos aos centros de produção.

A logística reversa viabiliza o retorno dos materiais pós-consumo aos centros de produção como matéria (SÃO PAULO, 2014; COLTRO, GASPARINO e QUEIROZ, 2008), fomentando uma cadeia de ciclo fechado – *closed-loop supply chain* (GUIDE et

*al.*, 2003). Trata-se de um instrumento de desenvolvimento econômico e social com procedimentos para viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial para reaproveitamento em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

A coleta seletiva de resíduos sólidos previamente separados de acordo com sua constituição e composição, prevista na PNRS<sup>17</sup>, constitui um requisito básico para que os materiais pós-consumo sejam inseridos na cadeia produtiva da reciclagem e transformados em matérias primas para as indústrias de transformação. O serviço pode ser realizado diretamente pela prefeitura, por empresa contratada pela prefeitura, por associações ou cooperativas de catadores de materiais recicláveis mediante Pagamento por Serviços Ambientais Urbanos (PSAU) pela prefeitura ou por outras entidades filantrópicas com parceria com a prefeitura (SNIS, 2014; INSEA, 2013).

Os catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis atuam, organizados em associações ou cooperativas ou não, sobretudo, na etapa inicial do processo de reciclagem, que consiste na coleta junto aos geradores, triagem, classificação, em alguns casos no beneficiamento dos materiais por meio da triagem, enfardamento e fragmentação e na comercialização para a indústria ou outros compradores intermediários – que compram material semiselecionado para revenda, como no caso dos atravessadores, sejam eles ferros velhos, depósitos, sucateiros e/ou aparistas.

Operacionalmente, a coleta seletiva pode ser realizada “porta a porta” ou nos Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) – caçambas ou contêineres instalados, geralmente, em pontos estratégicos para onde a população possa levar os materiais previamente segregados (ABRELPE, 2015). O acondicionamento dos resíduos envolve escolhas acerca do modo mais adequado para a coleta de cada tipo de resíduo, as características do resíduo e do recipiente (FUNASA, 2006).

Os agentes revalorizadores (ou beneficiadores) transformam os resíduos já triados em matéria prima para outra indústria. São as indústrias produtoras de *pellets* e *flakes* de plásticos reciclados, assim como produtoras de bobinas de papel que

---

<sup>17</sup> Inciso V do Art. 3º da LF 12.305/2010

alimentam a indústria de embalagens de papel. Estes empreendimentos produzem matéria prima secundária para a indústria de plástico e de papel, e podem ou não fazer triagem. Já os empreendimentos transformadores são as indústrias que fabricam os produtos a partir de matéria prima produzida pelos revalorizadores (RUTKOWSKI, VARELLA e CAMPOS, 2014).

Al-Salem, Lettieri e Baeyens (2009) observam que a coleta, o beneficiamento e a comercialização dos materiais após o consumo são fatores críticos para o sucesso da recuperação e reciclagem. Gonçalves (2003) atenta para a existência do círculo perverso da reciclagem e do círculo virtuoso, e aponta características dos dois. No círculo perverso, salienta que pode haver ineficiência nas diversas etapas da cadeia. Caracteriza-se um cenário no qual o consumidor não realiza a coleta seletiva na fonte e não destina seus resíduos recicláveis corretamente, os catadores de materiais recicláveis comercializam os materiais em pequenas quantidades e a preços baixos para os intermediários e a indústria não investe na cadeia da reciclagem, não informa se na composição de seu produto na embalagem há matéria prima reciclada e não retorna o produto reciclado ao mercado consumidor. Neste cenário, a taxa de reciclagem – o quanto é realmente reciclado, é muito baixa.

Segundo a autora, o círculo virtuoso da reciclagem é aquele em que os atores da cadeia cumprem o seu papel e reconhecem cada etapa como um todo. O consumidor pratica o consumo responsável, precicla, ou seja, antes da compra considera se o produto possui embalagens reutilizáveis ou recicláveis, faz a coleta seletiva e destina para a reciclagem. Os catadores se organizam em associações ou cooperativas, estabelecem parcerias e comercializa em maiores quantidades e a melhores preços. A indústria atua com responsabilidade socioambiental, investe na logística reversa e em centrais de triagem, acredita no critério de compra do cliente, pratica preços justos e investe no *ecodesign* produzindo embalagens com coerência ambiental.

- **Local de uso**

Os locais em que os produtos são consumidos interferem no potencial de reciclagem dos materiais devido especialmente à infraestrutura da logística reversa do material até a indústria transformadora final. Segundo Aquino, Castilho e Pires (2009) devido à logística de materiais recicláveis que percorre longas distâncias dos geradores até o processo de triagem podem fazer com que os resíduos adquiram características distintas em termos de volume, massa, propriedades físicas e químicas, afetando diretamente seu potencial de reciclabilidade.

- **Modo de uso e deterioração dos materiais**

O manuseio dos materiais na etapa de coleta e beneficiamento dos materiais, a partir da intensidade, frequência e tipo do uso dos materiais e suas condições de deterioração, interferem diretamente nas condições do material a ser comercializado, e conseqüentemente no preço dos materiais e no poder de comercialização.

- **Desmonte dos materiais**

Durante o beneficiamento, o desmonte dos materiais é um dos parâmetros que pode facilitar ou prejudicar a comercialização dos mesmos. Produtos que possuem materiais diferentes e que são difíceis de serem desmontados, acabam não permitindo uma triagem adequada de acordo com o tipo de material. Quanto mais fácil de ser desmontado, o produto pode ser dividido em diversos tipos de materiais, otimizando a triagem e aumentando o poder de comercialização perante a indústria, que exige materiais o mais puro possível.

- **Massa de resíduos triada**

A quantidade de resíduos triados interfere diretamente na quantidade de material comercializado, e conseqüentemente na quantidade de materiais reciclados. Além disso, garante a sustentabilidade das Centrais de Triagem de Resíduos Sólidos.

- **Volume de resíduos triado**

O volume dos resíduos sólidos nesta etapa também interfere na reciclabilidade. Como exemplo, tem-se o caso do resíduo de isopor, que ocupa um grande volume nas Centrais de Triagem de Resíduos sólidos e no entanto resulta em uma baixa massa. O isopor é reciclável, mas por ocupar muito espaço nas centrais de triagem e precisar de um espaço para transporte muito alto para se atender à exigência das indústrias em termos de massa, acaba sendo inviável o armazenamento e o transporte do mesmo.

- **Grau de beneficiamento**

O tipo de beneficiamento pelo qual os resíduos são submetidos também vai interferir no seu potencial de reciclagem pela indústria. O beneficiamento inclui a triagem, enfardamento ou fragmentação dos resíduos. O modo como a triagem é planejada, em função da quantidade de tipos de resíduos triados e se os resíduos serão enfardados ou fragmentados, pode agregar ou subtrair valor aos materiais, fazendo a diferença no preço a ser pago pelas indústrias. Desta forma, ambos os parâmetros: taxa de rejeitos, nível de integridade e grau de beneficiamento influenciam nos custos da produção industrial (VARELLA e LIMA, 2011).

- **Integridade dos resíduos**

Assim como o parâmetro acima, Almeida e Zaneti (2008) afirmam que o nível de integridade e deterioração dos materiais também interfere no estado e qualidade dos materiais e conseqüentemente no seu preço determinado pela indústria. Varella e Lima (2011) observam que o aumento dos preços dos materiais em função da sua qualidade é proporcional aos custos de produção industrial.

Para Aquino, Castilho e Pires (2009) a logística dos materiais recicláveis até o processo de triagem pode ocasionar em alterações na integridade dos materiais, especialmente no que diz respeito ao volume, massa, e propriedades físico-químicas.

- **Taxa de rejeitos**

A taxa de rejeitos presente nos materiais caracteriza o grau de contaminação desses materiais e representa uma das condicionantes da qualidade do material. Para Gonçalves (2003), as indústrias exigem materiais de qualidade, que, segundo Almeida e Zaneti (2008), influencia no preço dos resíduos.

- **Custo**

Segundo Rutkowski, Varella e Campos (2014) a reciclagem de materiais recicláveis encontra um problema ligado, prioritariamente, aos canais de distribuição, ligado diretamente com os custos associados à coleta, seleção e transporte destes materiais. Sendo assim, a reciclabilidade dos resíduos sólidos depende, economicamente, em grande parte, do território em que está inserida a cadeia produtiva da reciclagem.

Segundo Gonçalves (2003) são altos os custos para a construção de centrais de triagem de resíduos em função dos equipamentos e de operação e manutenção. Para Aquino, Castilho e Pires (2009) os custos com terrenos não são considerados visto que devem ser considerados de utilidade pública e cedidos pela municipalidade. Os custos de produção de associações, cooperativas e redes de comercialização incluem gastos com coleta e transporte de materiais, bem como com energia elétrica e a remuneração dos associados ou cooperados.

- **Preço dos materiais**

Gonçalves (2003) observa que os produtos têm seu preço final definido pela soma dos custos de produção, beneficiamento e transporte. O material reciclável é um produto cujo custo de produção já foi definido e pago enquanto embalagem. O preço dos materiais recicláveis pago pelas indústrias é influenciado por questões adversas e interfere diretamente na comercialização e conseqüentemente nos níveis de reciclagem. Além disso, também vai determinar a viabilidade econômica da reciclagem.

- **Poder de comercialização**

O poder de comercialização das associações e cooperativas de catadores está diretamente ligado com o preço dos materiais recicláveis e a valorização e aumento da qualidade de seus serviços pode aumentar perante a indústria, conferindo melhores condições de negociar e comercializar diretamente com a indústria.

- **Frequência de comercialização**

Gonçalves (2003) afirma que frequência interfere significativamente no comércio dos recicláveis, pois a indústria dá preferência a quem sempre fornece os materiais. Quando as cooperativas de catadores não consegue manter a estabilidade de materiais triados para a comercialização de materiais em larga escala de modo a garantir uma oferta contínua de matéria prima à indústria e a preços bons, acabam comercializando com os intermediárias que comercializam em larga escala com as indústrias recicladoras.

- **Pagamento**

Para Gonçalves (2003) o comércio de recicláveis é influenciado pela forma de pagamento. Alguns compradores de materiais recicláveis costumam efetuar o pagamento entre 30 a 40 dias. Assim, se as cooperativas não alcançarem estes critérios impostos pelo mercado, vendem aos intermediários que pagam menos pelo material.

Rutkowski, Varella e Campos (2014) observam que o prazo de pagamento é bastante variável. Em alguns casos, para alguns materiais, quando as associações e cooperativas de catadores comercializam com revalorizadores ou direto com transformadores e estes situam-se próximos, o pagamento é comumente efetuado em um prazo acessível.

- **Viabilidade econômica**

A viabilidade econômica do conjunto de atividades que envolve a coleta, triagem, beneficiamento e comercialização de determinados materiais aliada às atividades de manutenção das centrais de triagem, impossibilitam a comercialização. Assim, a viabilidade econômica é uma condicionante do potencial de reciclagem dos materiais recicláveis que compõem os resíduos sólidos.

Para Calderoni (2003) a viabilidade econômica da reciclagem representa o ganho com a reciclagem. Segundo o autor, para que a atividade da reciclagem seja viável é essencial avaliar a comercialização dos materiais recicláveis, o custo do processo para a reciclagem, os custos do poder público evitados com a disposição final de resíduos recicláveis e os ganhos ambientais (como economia de energia, matéria prima, água e etc).

- **Infraestrutura da reciclagem**

A infraestrutura da reciclagem inclui as Centrais de Triagem de Resíduos Sólidos administradas por organizações de catadores, os equipamentos, as atividades de coleta, triagem e comercialização e as condições adequadas de trabalho dos trabalhadores. Para Demajorovic e Besen (2007) a infraestrutura pode interferir na reciclabilidade pois está atrelada às condições de triagem e armazenamentos, ampliando ou diminuindo o poder de negociação na comercialização do material.

Para Aguiar et al. (2017) além da existência de infraestrutura ideal para o processamento dos materiais, também é necessária a infraestrutura logística para coletar os materiais e entrega-los à indústria recicladora.

- **Tecnologia de reciclagem disponível**

A reciclagem dos materiais depende substancialmente da existência de tecnologia disponível para a transformação deste. Se não há tecnologia para a

reciclagem de determinados materiais, este tipo de tratamento não pode ser adotado, restando recorrer a outros tratamentos.

- **Gestão compartilhada**

A PNRS prevê que os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes dos produtos e embalagens objetos da logística reversa devem disponibilizar postos de entrega de resíduos reutilizáveis e recicláveis e atuar em parceria com cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis.

Assim, é priorizada a integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos [Art.7, inciso XII].

#### **4.7. Reciclagem**

Os materiais passíveis de reciclagem são os definidos pela Norma Brasileira 10.004 de 2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na Classe II, representados por sucata de metais ferrosos, resíduos de papel, papelão e plásticos. Neste sentido foi elaborada uma Simbologia Técnica de Identificação de Materiais para facilitar a identificação e separação dos materiais, fortalecendo a cadeia de reciclagem. O símbolo de “descarte seletivo” foi estipulado com base nas diretrizes da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) pela Norma Brasileira (NBR) 16182:2013 e direcionado ao consumidor para o descarte dos resíduos sólidos recicláveis à coleta seletiva.

A identificação dos materiais, em vidro, aço, alumínio e papel orientada pela NBR 13230:2008 e dos plásticos pela NBR 16182:2013, facilita a triagem dos mesmos e é fundamental no estabelecimento de um sistema de logística reversa. No caso das embalagens plásticas, a correta identificação dos materiais contribui para a redução da contaminação cruzada entre cadeias de reciclagem de diferentes materiais,

possibilitando o aumento da qualidade da triagem e incorporação à indústria (ABRE, 2016).

Todas as embalagens dos produtos devem conter essa identificação técnica, mesmo que, na prática, nem todas sejam enviadas para a reciclagem, seja pela ausência de processos técnicos ou pela inviabilidade econômica na região em que foram descartadas. No entanto, a simbologia de identificação de materiais não é uma garantia de que o material será reciclado (ABRE, 2016).



Figura 5 – Símbolo do descarte seletivo conforme NBR 16182  
Fonte: Google Imagens

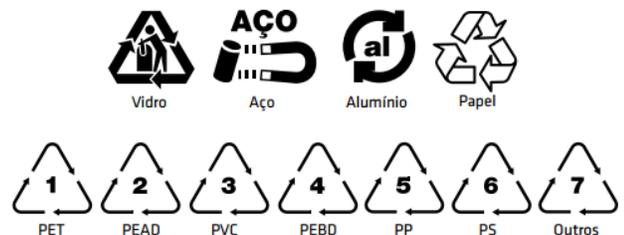


Figura 6 – Símbolo de identificação de materiais conforme NBR 16182 e 13230  
Fonte: Google Imagens

A reciclagem em circuito fechado configura um sistema no qual os materiais são utilizados como insumos no sistema de produção ao invés da matéria prima - para a fabricação de produtos ou componentes semelhantes aos quais foram eliminados (VEZZOLI e MANZINI, 2008). A reciclagem tem como principal objetivo o tratamento e o retorno dos materiais pós-consumo ao ciclo produtivo, reduzindo o volume de resíduos a ser disposto nos aterros ou enviado a outros tipos de tratamentos finais, contribuindo para a redução de matéria prima necessária aos processos produtivos industriais (ICLEI, 2011).

A Norma Brasileira (NBR) 15792:2010 define a reciclagem como um processo industrial a partir do reprocessamento, em um novo processo de produção, dos resíduos de materiais para o fim inicial ou para outros fins, mas não incluindo a revalorização energética e a orgânica. Já a Diretiva Europeia 1994/62/EC relativa a embalagens e resíduos de embalagens, significa o reprocessamento num processo de produção dos resíduos para o fim inicial ou para outros fins, incluindo a reciclagem orgânica, mas excluindo-se a recuperação de energia.

Segundo a SINDIPLAST, é a conversão de embalagens pós-consumo e/ou aparas de conversão industrial, separadas e coletadas, em um produto ou matéria prima secundária (SINDIPLAST, 2011). Já a PNRS define como o processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos.

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2012) diferencia a reciclagem pré-consumo e a pós-consumo. A reciclagem pré-consumo refere-se a reciclagem dos resíduos gerados nos processos produtivos. Atualmente, a reciclagem de resíduos industriais no próprio ou em outro processo produtivo, é realizada em um grande número de empresas. Esta prática se estabelece à medida que novas tecnologias e equipamentos de controle ambiental são desenvolvidos, ocasionando a redução de gastos com energia ao diminuir a geração desses resíduos, tornando o produto mais competitivo (PIVA e WIEBECK, 2011). A reciclagem pós-consumo trata da reciclagem de resíduos decorrentes da utilização de um bem.

Segundo Santos et al. (2011) a reciclagem relaciona-se com várias etapas durante o processo de gerenciamento de resíduos, tais como o descarte, coleta, triagem, enfardamento, comercialização do material, logística de transporte, beneficiamento pela indústria e o desenvolvimento do mercado para o novo produto.

Os produtos que não foram reutilizados, reparados ou remanufaturados são encaminhados para o tratamento adequado afim de proporcionar a recuperação de seus materiais (RIBEIRO e GOMES, 2014) por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis (BRASIL, 2010). A reciclagem garante a recuperação da

matéria prima que pode ser encaminhada diretamente para a produção para ser usada como matéria prima secundária na fabricação de um novo produto.

Gonçalves (2003, p.34) classifica em três etapas os processos da cadeia produtiva da reciclagem:

- A recuperação engloba os processos de separação do resíduo na fonte, coleta seletiva, prensagem, enfardamento;
- A revalorização compreende os processos de beneficiamento dos materiais, como a moagem em *flakes* ou a extrusão em *pellets*;
- A transformação é a reciclagem propriamente dita, transformando os materiais recuperados e revalorizados em um novo produto.

Como já visto anteriormente, os responsáveis pela reciclagem do material são os empreendimentos transformadores, ou seja, as indústrias que fabricam os produtos a partir de matéria prima produzida pelos revalorizadores para o caso do plástico ou recuperado e reinserido na cadeia produtiva original, como no caso do papel (RUTKOWSKI, VARELLA e CAMPOS, 2014).

Dentre os métodos de reciclagem estão a reciclagem mecânica, a química e a energética. O método mais utilizado é a reciclagem mecânica, que envolve uma série de tratamentos e etapas de preparação que diferente de acordo com o tipo de material, mas em geral são a separação, moagem, lavagem, aglutinação e processamento (OLIVEIRA, 2012).

A reciclagem inicia-se com a separação dos componentes e materiais de forma mecânica ou manual (THIERRY, 1995; BARROS, 2012). Especificamente no caso dos plásticos, são fragmentados em pequenas partes nos moinhos e lavados quando necessário para a retirada dos contaminantes. Na etapa de homogeneização é retirado o excesso de água do material. São adicionados materiais de diferentes classificações (fluidez), para se homogeneizar e aquecer o material. Na aglutinação, além de completar a secagem, o material é compactado, reduzindo-se o volume que será enviado à extrusora. Em seguida, o material em forma cilíndrica é fragmentado em um granulador,

sendo transformado em pellets (grãos plásticos). O material é então resfriado em água e levado a um “secador” que, por centrifugação, separa os grânulos. Se durante a extrusão houver a geração de resíduos (refugos), estes poderão ser retornados ao processo de reciclagem (SINDIPLAST, 2011).

A PNRS oferece contribuições para a expansão da reciclagem, tais como o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico, de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor da cidadania, o incentivo à implantação de programas de coleta seletiva e de logística reversa com a protagonização de organizações de catadores de materiais recicláveis.

Ao receberem o tratamento adequado e serem recuperados, os materiais são utilizados como matéria prima na fabricação de novos produtos, fechando assim o ciclo da cadeia produtiva. A partir desta abordagem, ao transformar os resíduos de uma cadeia produtiva em materiais para outra, tem-se o fluxo de materiais do “berço ao berço”.

As legislações sobre a responsabilidade pós-consumo dos materiais reforçam o retorno à cadeia produtiva por meio da cadeia de suprimentos reversa, considerada nesta pesquisa como a cadeia produtiva da reciclagem. A responsabilidade pós-consumo pelo ciclo de vida dos produtos surge como instrumento para viabilizar esta reinserção. Além de orientar a logística reversa, induz melhorias nos próprios produtos e embalagens, levando à redução na geração de resíduo e à facilidade de sua recuperação pela indústria recicladora.

- **Local de uso**

O local em que os resíduos são armazenados e beneficiados para a comercialização denominadas Centrais de Triagem de Resíduos Sólidos influencia na comercialização à indústria, interferindo diretamente na reciclagem ou não dos materiais. O local influencia na logística necessária e conseqüentemente no custo para a reciclagem em função do seu transporte à indústria.

- **Modo de uso e Deterioração**

O modo de uso e o grau de deterioração ditam a estabilidade e as condições físico-químicas dos materiais. No caso dos materiais estarem deteriorados ou em más condições, na maioria das vezes são necessárias operações adicionais para estabilização dos materiais, aumentando os custos da atividade ou ainda acarretando o que se chama de *downcycling* nos casos em que os materiais reciclados possuem qualidade inferior.

- **Massa e volume de resíduos**

A massa e o volume de resíduos triados e comercializados à indústria determinarão o quanto de material será reciclado. Em alguns casos, datas festivas e épocas do ano, assim como regionalidades, podem influenciar nestas questões. A indústria, para poder ofertar materiais ou produtos reciclados, precisa de grande quantidade de resíduos, portanto pode ser um fator fundamental na execução e viabilidade da reciclagem por parte do reciclador.

- **Custo**

Para Lakhan (2015) os custos da reciclagem determinam a sua viabilidade econômica. No entanto, diz que os custos variam em função do local e da situação de fatores específicos que conduzem os custos da reciclagem em qualquer área. Alguns fatores que influenciam no custo da atividade são o grau de contaminação, o nível de integridade decorrentes da armazenagem e do transporte, os custos logísticos, a presença de legislação de responsabilidade estendida do produtor (VARELLA e LIMA, 2011).

- **Preço dos materiais**

A própria indústria transformadora que comprou os materiais pode reciclá-los e utilizar o insumo reciclado em seu processo produtivo ou ainda pode comercializar os

insumos para uma outra indústria. Quando isto ocorre, o preço do insumo pode interferir na demanda da reciclagem, por isso é considerado um parâmetro de reciclabilidade.

- **Incentivos tributários**

O estabelecimento de tributos no setor da reciclagem pode vir a interferir significativamente na efetividade da atividade. A existência de incentivos tributários é um parâmetro a ser considerado no conjunto de atributos econômicos para permitir uma análise do potencial de reciclabilidade dos materiais.

- **Viabilidade econômica**

Além da reciclabilidade tecnológica, Reuter et al. (2006) afirmam que a reciclagem deve ser abordada também sob o ponto de vista do mercado, pois o desempenho final do sistema é determinado tanto pelas tecnologias físicas e químicas de reciclagem quanto pela economia e o desempenho ambiental.

Para Sakundarini et al. (2014) uma das principais considerações na reciclagem é o lucro obtido a partir do processo. O lucro da atividade é dependente da demanda por materiais reciclados, volume e preço dos materiais recuperados. Segundo o autor a reciclagem não pode ser realizada se não houver demanda por materiais reciclados.

- **Infraestrutura da reciclagem**

Sakundarini et al. (2014) refere-se à infraestrutura da reciclagem como a disponibilidade de tecnologia e de infraestrutura para garantir que a reciclagem possa ser realizada de forma eficaz. Ambas são dependentes do tipo de materiais. Os plásticos, por exemplo, necessitam de um processo de reciclagem diferente em comparação com os metais e, portanto, necessitam de tecnologias e infraestrutura diferentes.

- **Tecnologia de reciclagem disponível**

Para Campani (2016), a reciclagem dos resíduos depende também da disponibilidade de técnica para a reciclagem do material. Afirma que atualmente alguns materiais são considerados rejeitos pois não possuem tecnologia para serem reciclados ou a mesma não é financeiramente viável.

- **Gestão compartilhada**

Segundo a PNRS (2010) cabe aos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes dos produtos tomar todas as medidas necessárias para assegurar a implementação e operacionalização do sistema de logística reversa sob seu encargo, assim como implantar procedimentos de compra de produtos ou embalagens usadas, disponibilizar postos de entrega de resíduos reutilizáveis e recicláveis e atuar em parceria com cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis (BRASIL, 2010).

A Figura 7 representa a inserção dos parâmetros a serem considerados em cada etapa da cadeia produtiva de ciclo fechado que interferem na reciclagem dos materiais de alguma maneira, resultando na ferramenta de avaliação da reciclabilidade de materiais na cadeia produtiva “do berço ao berço”.

Alguns outros parâmetros – não encontrados na literatura, foram adicionados à cadeia produtiva pois são fundamentais ao tratar da reciclabilidade dos materiais, tais como a massa e o volume de materiais, que foram incorporados aos atributos físico-químicos dos materiais. Cada linha representa um conjunto de atributos com os parâmetros que os constituem na seguinte sequência no sentido da periferia para o centro: atributos físico-químicos, de uso do produto, mecânicos, de quantidade e qualidade de resíduos triados, econômicos, infraestruturais e de gestão.

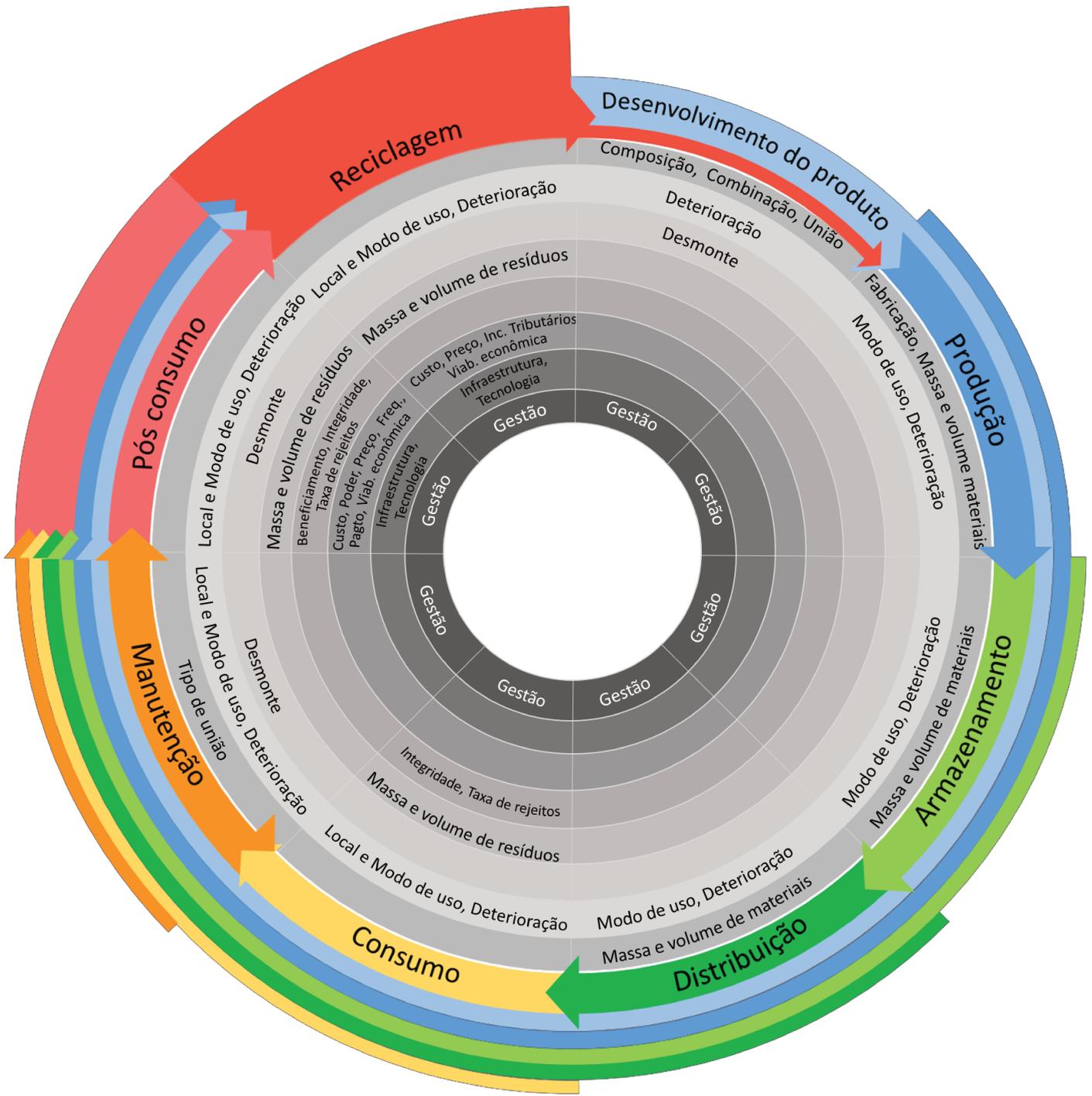


Figura 7 – Ferramenta de avaliação da reciclabilidade

De um modo geral, no desenvolvimento dos produtos os parâmetros relevantes a serem considerados referem-se principalmente às características físico-químicas dos materiais que irão compor os produtos, tais como a composição, combinação e união dos materiais que irão refletir no nível de deterioração e desmonte dos produtos. Ainda que não sejam considerados os parâmetros que dizem respeito à gestão pós consumo dos produtos, a gestão compartilhada incorpora alguns vetores durante o desenvolvimento dos produtos por parte dos fabricantes considerando a sua responsabilidade no sistema de logística reversa para que os produtos sejam recuperados e encaminhados para a reciclagem.

Durante a produção, os parâmetros fundamentais a serem considerados também fazem parte dos atributos físico-químicos, como o processo de fabricação e a massa e o volume dos materiais. O modo com que a matéria é manuseada e o nível de deterioração neste estágio também deve ser considerado. A gestão compartilhada neste momento é indispensável pelo mesmo motivo presente durante o desenvolvimento do produto, visto que são etapas relacionadas aos fabricantes.

O armazenamento e distribuição basicamente são influenciados pelos mesmos parâmetros entre si. Com relação às características físico-químicas, o que vai importar é a quantidade e o volume de materiais, visto que não há transformação de matéria. O modo de manuseio e a deterioração também são parâmetros importantes que caracterizarão as condições da matéria a circular pelas próximas etapas. A gestão compartilhada nesta etapa refere-se às responsabilidades dos importadores, distribuidores e comerciantes com relação à logística reversa, portanto é fundamental que seja planejado e estruturado o sistema, em parceria com os fabricantes para a recuperação dos produtos.

Nas etapas de consumo e manutenção, a preocupação maior diz respeito a qualidade e quantidade da matéria, portanto os parâmetros importantes referem-se à integridade dos resíduos, deterioração, taxa de rejeitos, local e modo de uso, tipo de união dos materiais que influenciam no desmonte.

No pós-consumo, os parâmetros fundamentais à matéria referem-se à qualidade e quantidade de resíduos, o beneficiamento pelo qual são submetidos e

parâmetros econômicos, dentre eles custo da atividade e logística, preço, forma de pagamento, frequência, poder de comercialização e a viabilidade econômica de um modo geral que influenciam na reciclagem dos materiais. A etapa pós-consumo contém a triagem, armazenamento e distribuição. Esta última envolve o transporte dos resíduos à indústria recicladora durante a sua comercialização e refere-se basicamente à logística reversa dos produtos. A distância entre os centros de distribuição (as Centrais de Triagem de Resíduos Sólidos) e de recebimento (as indústrias recicladoras) interfere na infraestrutura e nos custos logísticos. Desta forma, ocorre em função do território. As cadeias produtivas que possuem grandes distâncias entre estas atividades ou que não possuem tratamento e reciclagem para determinados tipos de resíduos, (a ponto de inviabilizar a logística reversa dos mesmos), não estão considerando o território e suas demandas.

No processo industrial da reciclagem em si, é importante considerar os custos da reciclagem, o preço dos materiais, a existência de incentivos tributários, a viabilidade econômica e a adequação da infraestrutura necessária e a tecnologia disponível para a transformação.

## 5. DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE RECICLABILIDADE

Este capítulo apresenta a primeira validação da ferramenta através da análise dos parâmetros que permitiu a identificação de algumas fragilidades e potencialidades à reciclabilidade dos materiais, como pode ser observada nas Tabelas de 15 a 22, cujos resultados estão sintetizados e serão discutidos. A análise completa pode ser vista nos Apêndices de I a VIII.

Tabela 15 – Reciclabilidade em função dos atributos físico-químicos dos materiais

Parâmetros	Variáveis	Análise
<b>Composição dos materiais</b>	Materiais	Materiais diferentes possuem potenciais de reciclagem diferentes. Alumínio e vidro: recicláveis infinitamente sem perder propriedades; Papel e plástico perdem suas propriedades ao ser reciclado; a mistura de diferentes tipos de plásticos limitam sua reciclabilidade.
	Aditivos	A incorporação de aditivos pode dificultar e/ou impedir a reciclagem dos materiais e acentuar os impactos ambientais.
	Tintas, pigmentos e revestimentos	Tintas, pigmentos e revestimentos podem dificultar a reciclagem e conferir riscos ambientais ao material; Reciclabilidade de materiais translúcidos é maior que dos opacos; Prefere-se acabamentos integrais ao invés de revestimentos exteriores.
	Materiais perigosos	Materiais inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos e patogênicos - apresentam riscos à saúde humana e ao meio ambiente e podem causar emissões tóxicas que inviabilizam a reciclagem dos materiais.
<b>Combinação de materiais</b>	Diversidade de materiais	Quanto menor a diversidade de materiais e maior a compatibilidade entre eles, maior pode ser sua reciclabilidade; Materiais compósitos, blendas poliméricas e embalagens multicamadas são de difícil reciclagem.
	Quantidade de camadas	A união de várias camadas de plásticos impossibilita a separação das camadas pela reciclagem mecânica.
	Compatibilidade de materiais	Materiais iguais podem apresentar maior compatibilidade; Quanto menor a combinação de materiais, maior o potencial de reciclagem, uma vez que não complica o processo de separação. A diversidade de resinas dificulta a reciclagem mecânica.
<b>Tipo de união</b>	-	Junções por soldagem, colantes, adesivos e revestimentos dificultam a desmontagem dos produtos e sua reciclagem; Já parafusos e rebites são separados mais facilmente. Quanto menor a quantidades de fixadores, mais fácil a desmontagem.

<b>Processo de fabricação</b>	-	Podem influenciar nas características físico-químicas e nas condições do potencial de reciclagem dos materiais. Certos procedimentos durante a sua produção ocasionam mudanças na sua propriedade, facilitando ou dificultando sua reciclagem.
<b>Massa dos materiais</b>	-	Pode influenciar nas operações, custos e condições de produção, armazenamento, distribuição, coleta, beneficiamento, comercialização e logística reversa.
<b>Volume dos materiais</b>	-	Pode influenciar nas operações, custos e nas condições de produção, armazenamento, distribuição, coleta, beneficiamento, comercialização e logística reversa. Está diretamente relacionado à massa dos materiais. Juntos, determinam a densidade dos materiais, que também interfere nas operações.

Com relação ao parâmetro composição dos materiais, identificou-se algumas variáveis relevantes a serem consideradas, tais como o tipo dos materiais, a presença de aditivos, tintas, pigmentos e revestimentos e materiais perigosos. De modo a incorporar a reciclabilidade dos produtos e seus componentes, algumas orientações são fornecidas desde a etapa do desenvolvimento dos produtos e no momento de produção. A adição de materiais tóxicos, aditivos, tintas e pigmentos, por exemplo, pode interferir na qualidade da reciclagem, assim como o processo de fabricação também pode influenciar na qualidade dos materiais transformados. No entanto, apenas mudanças no processo produtivo e na concepção dos produtos não são suficientes para atingir a reciclabilidade total dos materiais. Para tanto, deve haver uma gestão adequada da matéria durante todo o seu fluxo na cadeia produtiva.

A Tabela 16 apresenta a síntese da análise dos atributos de uso dos materiais.

Tabela 16 – Reciclabilidade em função dos atributos de uso dos materiais

<b>Atributos de uso dos materiais</b>	
<b>Local de uso</b>	Influenciam na logística reversa e seu custo; Quanto maior a distância dos locais de consumo aos pólos industriais, maior o custo da reciclagem; Resíduo pode ser considerado rejeito em função do seu local de uso.
<b>Modo de uso</b>	O manuseio dos materiais e produtos durante a produção, armazenamento, distribuição, consumo, manutenção e pós consumo afetam as condições da matéria que seguirá o fluxo às etapas subsequentes. A intensidade e a frequência de uso dos produtos durante o consumo podem alterar condições dos materiais e diminuir sua reciclabilidade.

<b>Deterioração dos materiais</b>	Produtos deteriorados (rachaduras, ferrugem, estragos e/ou quebras no produto ou nas peças que o compõem) seja pelo uso intensivo, causas naturais, químicas, uso indevido ou obsolescência tecnológica, cultural ou estética podem ser mais difíceis de serem comercializados para a indústria; Podem perder suas propriedades físicas e interferir na qualidade final do material reciclado, gerando um insumo de baixo valor e qualidade.
-----------------------------------	--

Na Tabela 17 é apresentado o atributo mecânico dos materiais, que refere-se basicamente ao desmonte dos produtos.

Tabela 17 – Reciclabilidade em função dos atributos mecânicos dos materiais

<b>Parâmetros</b>	<b>Análise</b>
<b>Desmonte dos produtos</b>	Quanto menor a complexidade do produto, mais fácil o desmonte e mais viável a reciclagem. Quanto mais fácil a desmontagem, maior a possibilidade de reciclagem.

A Tabela 18 mostra a análise dos atributos de quantidade de resíduos.

Tabela 18 – Reciclabilidade em função dos atributos de quantidade de resíduos

<b>Parâmetros</b>	<b>Análise</b>
<b>Massa de resíduo triado</b>	Algumas indústrias recicladoras compram materiais em grande quantidade; Catadores organizados e redes de comercialização podem atender essa exigência das indústrias, ampliando a coleta junto a grandes geradores e aumentando a escala de venda.
<b>Volume de resíduo triado</b>	Resíduos de maior volume requerem uma área maior para seu armazenamento e transporte, o que interfere também diretamente nos custos de operação e manutenção.

A seguir, são apresentados os atributos de qualidade de resíduos, como pode ser observado na Tabela 19.

Tabela 19 – Reciclabilidade em função dos atributos de qualidade de resíduos

<b>Parâmetros</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Análise</b>
<b>Grau de beneficiamento</b>	Triagem	Quanto mais apurada a triagem e maior o número de materiais diferentes triados, limpos, livre de contaminantes e menor quantidade de rejeitos nos materiais, maior a qualidade do material e seu valor de comercialização.

	Enfardamento	Materiais enfardados ocupam menor volume e na armazenagem e transporte, podendo implicar em uma redução de custos. Algumas indústrias apenas compram materiais enfardados.
	Fragmentação	A fragmentação dos materiais pode ser uma exigência da indústria recicladora para alguns tipos de materiais e pode agregar valor aos materiais.
<b>Integridade dos resíduos</b>	-	A integridade dos materiais pode facilitar a reciclagem. Alguns tipos de materiais possuem um maior preço se estiverem íntegros, como é o caso do vidro.
<b>Taxa de rejeitos</b>	-	Quanto maior a taxa de rejeitos nos recicláveis como restos de alimentos ou líquidos, menor é a qualidade do material, menor é o seu potencial de triagem, menor é seu valor de comercialização e menor o potencial reciclabilidade.

A Tabela 20 traz a análise dos atributos econômicos.

Tabela 20 – Reciclabilidade em função dos atributos econômicos

<b>Parâmetros</b>	<b>Análise</b>
<b>Custo</b>	Os custos das atividades que precedem a reciclagem variam conforme o território em que a cadeia da reciclagem está inserida. Quanto menores os custos de operação e manutenção (com a coleta, a infraestrutura de centrais de triagem de resíduos sólidos e PEVs e com a comercialização em si dos materiais), maior a quantidade de materiais encaminhados às indústrias recicladoras.
<b>Preço dos materiais recicláveis</b>	Quanto maior o preço dos materiais, maiores as chances de ser efetivamente reciclados, como é o caso das latinhas de alumínio. Sofre a interferência de alguns fatores, como o estado, grau de beneficiamento, grau de contaminação, o nível de integridade, custo de armazenagem e transporte e no caso dos plásticos, a cotação do dólar e do barril de petróleo.
<b>Poder de comercialização</b>	Uma separação dos resíduos mais eficiente gera matéria prima de boa qualidade, que estocada maiores quantidades de recicláveis e negociadas por meio de redes de comercialização, obtém melhores preços e aumenta o poder de comercialização.
<b>Frequência de comercialização</b>	Instabilidade no fornecimento de materiais recicláveis pode dificultar a reciclagem pois prejudica a oferta contínua de matéria. Contratos com as prefeituras para pagamento por serviços ambientais prestados, parcerias e redes de comercialização de recicláveis garantem o fornecimento contínuo de materiais às centrais.
<b>Pagamento</b>	Algumas indústrias recicladoras possuem prazo de pagamento acima de 30 dias e exigem a emissão de nota fiscal, o que pode comprometer a comercialização direta com centrais de triagem.

<b>Incentivos tributários</b>	A tributação e a reincidência de impostos (bitributação) em materiais reciclados comprometem o desempenho da reciclagem de determinados materiais. A existência de incentivos tributários fornece condições econômicas mais favoráveis à comercialização de produtos reciclados, aumentando os índices de reciclagem dos materiais.
<b>Viabilidade econômica</b>	Um conjunto de fatores pode interferir na viabilidade ou inviabilidade da atividade da reciclagem.

Na Tabela 21 está apresentada a análise da reciclabilidade em função dos atributos infraestruturais.

Tabela 21 – Reciclabilidade em função dos atributos infraestruturais

<b>Parâmetros</b>	<b>Análise</b>
<b>Tecnologia de reciclagem disponível</b>	Tecnologia disponível de reciclagem é fundamental para a transformação dos materiais em subprodutos. A ausência de tecnologia ou a sua inviabilidade financeira faz com que alguns materiais sejam considerados rejeitos. As tecnologias variam em função dos territórios em que está inserida a cadeia produtiva, que acaba inferindo nos custos logísticos.
<b>Infraestrutura da reciclagem</b>	A infraestrutura adequada é fundamental para garantir que o processo de reciclagem seja eficaz e eficiente. Inclui as infraestruturas de coleta seletiva, logística reversa, triagem, beneficiamento e armazenamento. Também inclui a infraestrutura logística para coletar os materiais e entrega-los à indústria recicladora e rede de comercialização. Esta é influenciada pelo território em que está inserida, assim como os custos da atividade.

Os parâmetros referentes às etapas de consumo, pós-consumo e reciclagem dizem respeito basicamente ao tratamento e manuseio dos resíduos, que podem incorporar características à matéria dificultando ou facilitando a sua reciclagem. São incorporados também os parâmetros econômicos, infraestruturais e tecnológicos que ditam a viabilidade econômica e tecnológica da reciclagem mediante a infraestrutura da coleta seletiva, logística reversa e do processo de transformação da reciclagem em si.

Na Tabela 22 é apresentada a análise da reciclabilidade em função dos atributos de gestão.

Tabela 22 – Reciclabilidade em função dos atributos de gestão

Parâmetros	Análise
Gestão compartilhada	As responsabilidades de todos atores viabilizam os sistemas de logística reversa, mantendo uma interface direta com a coleta seletiva e reciclagem. As parcerias entre indústrias, poder público e catadores de materiais recicláveis e a participação dos consumidores na coleta seletiva podem garantir uma maior quantidade e qualidade do material reciclável e baixos custos em todo o processo.

De um modo geral, todos os parâmetros influenciam na qualidade da matéria e no seu potencial para a reciclagem. No entanto, todos os parâmetros estão sujeitos à abrangência e localidade da cadeia produtiva, cuja infraestrutura e complexidade varia em função do território. Os parâmetros não foram quantificados justamente pela diversidades e peculiaridades existentes nas cadeias produtivas, pois a mensuração depende da escala, território e estrutura da cadeia do produto em questão. Os parâmetros possuem pesos e relevâncias diferentes entre si, sendo mais ou menos determinante na reciclabilidade dos materiais.

## **6. INTERFACES E LACUNAS COM POLÍTICAS INTERNACIONAIS E NACIONAL DE RECICLAGEM**

Os resultados deste trabalho permitem afirmar que o potencial de reciclagem dos materiais que compõem os resíduos sólidos é determinado por um conjunto de atributos e parâmetros ao longo de toda a cadeia produtiva de ciclo fechado. Esta observação fundamentou a criação de um novo constructo acerca da reciclabilidade diferente dos encontrados na literatura e que considera, não somente a fase de desenvolvimento dos produtos, conforme a maioria dos autores que definem o termo, mas também engloba todas as outras etapas da cadeia produtiva.

O presente capítulo objetiva identificar as interfaces e as lacunas existentes entre este constructo e algumas políticas de reciclagem ao redor do mundo, aprofundando-se na legislação brasileira sobre reciclagem orientada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Federal 12.305/2010).

### **6.1. Políticas internacionais**

#### **6.1.1. América do Norte**

##### **6.1.1.1. Canadá**

Segundo o Conselho de Reciclagem de Ontário, a legislação sobre a gestão e reciclagem de resíduos que envolve os setores industrial, comercial e institucional baseia-se na Responsabilidade Estendida do Produtor, que aumentou as responsabilidades tradicionais dos fabricantes de produtos e/ou embalagens obrigados a assumir responsabilidade física e/ou financeira pelos resíduos originados de seus produtos e embalagens.

Referente ao desenvolvimento de produtos, o Canadá estabelece, na Lei de Proteção Ambiental pelo Regulamento de Ontário 104/94<sup>18</sup>, a necessidade de realização

---

<sup>18</sup> Disponível em: <https://www.ontario.ca/laws/regulation/940104?search=recycling>

de auditorias de embalagens e a elaboração de Planos de Trabalho de redução de embalagens. Por meio de uma análise do impacto das embalagens quanto a atividades e oportunidades na gestão de resíduos, os fabricantes e importadores devem desenvolver um plano de gestão de resíduos destinado a reduzir e destinar corretamente os resíduos resultante de embalagem. O regulamento inclui a preocupação ao tipo e quantidade de embalagem produzida, sua constituição, as decisões e políticas de gestão relacionadas com a embalagem, incluindo a concepção do produto que afeta a embalagem, a reutilização e reciclabilidade da embalagem após a utilização e os impactos das embalagens que se transformem em resíduos, incluindo o destino final da embalagem após a sua utilização. Em nível federal, uma regulamentação determina substâncias e componentes que podem e não podem ser utilizados nos produtos e monitora o transporte dos resíduos entre as fronteiras provinciais e nacionais.

Com relação ao pós-consumo, o Regulamento 103/94<sup>19</sup> criou o Programa de Separação na Fonte, destinado a facilitar a separação de resíduos na origem para a reciclagem. O Programa prevê a necessidade de instalações para a coleta, manuseio e armazenamento de resíduos separados da fonte, assim como medidas para assegurar a coleta dos resíduos separados da fonte e a prestação de informações aos utilizadores do programa. Segundo a norma, os estabelecimentos comerciais, assim como edifícios, restaurantes, hotéis, hospitais, instituições educacionais e o setor industrial devem implementar um programa de separação na fonte para os resíduos gerados pelo estabelecimento e assegurar que seja implementado.

O Regulamento 101/94<sup>20</sup> sobre a Reciclagem e Composição de Resíduos Municipais, por outro lado, discorre sobre especificidades técnicas e de gestão dos locais de reciclagem de resíduos. Os municípios podem regular a gestão e reciclagem de resíduos através de estatutos, definindo limites para a quantidade de lixo que pode ser gerada por moradores, exigir a reciclagem de materiais, determinar taxas para o serviço de coleta de resíduos, definir proibições de aterro (restringir que materiais podem ser

---

<sup>19</sup> Disponível em: <https://www.ontario.ca/laws/regulation/940103?search=recycling>

<sup>20</sup> Disponível em: <https://www.ontario.ca/laws/regulation/940101?search=recycling#BK5>

depositados em aterros). Além disso, os municípios podem obrigar as empresas a serem mais proativas na redução de resíduos, uma vez que, o município é obrigado a gerenciar os resíduos em toda a comunidade, seja coletado através do fluxo residencial ou de espaços públicos.

Observa-se que, ainda que hajam regulamentos específicos para tratar temas relacionados à reciclagem, que o Canadá, de um modo geral, não considera toda a cadeia produtiva como objeto para a elaboração das normas. Enquanto o Regulamento 104/94 se aplica à etapa de desenvolvimento de produtos - mesmo não estabelecendo metas, objetivos e especificações concretas, os Regulamentos 101/94 e 103/94 tratam das etapas de pós-consumo/beneficiamento e da reciclagem industrial em si.

#### 6.1.1.2. Estados Unidos

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) supervisiona as questões relacionadas aos resíduos sólidos domésticos, industriais e de manufatura de acordo com a Lei de Conservação e Recuperação de Recursos<sup>21</sup> (RCRA), em vigor desde 1976 quando foi aprovada pelo Congresso. Os objetivos da Lei referem-se à proteção da saúde humana e o ambiente dos perigos potenciais da eliminação de resíduos, conservação de energia e recursos naturais, redução da quantidade de resíduos gerados e assegurar que os resíduos sejam geridos de forma ambientalmente correta<sup>22</sup>. Basicamente a Lei discorre sobre a redução na fonte, reciclagem, combustão, aterramento de resíduos e a influência desses fatores nas mudanças climáticas.

Com relação ao desenvolvimento do produto, orienta a adoção de algumas iniciativas, tais como a proposta de redução na fonte utiliza a concepção, fabricação e utilização de produtos de forma a reduzir a quantidade e a toxicidade dos resíduos produzidos quando os produtos chegam ao fim da sua vida útil. Sob a perspectiva da produção, a Lei traz a estratégia da Ecologia Industrial aplicada à produção.

---

<sup>21</sup> *Resource Conservation and Recovery Act* (RCRA)

<sup>22</sup> Disponível em: <https://www.epa.gov/history/epa-history-resource-conservation-and-recovery-act>

Já no que diz respeito à gestão dos resíduos nas etapas de consumo, pós-consumo e reciclagem, orienta o desenvolvimento do mercado de reciclagem, o intercâmbio de materiais e resíduos, o mecanismo “Pay-As-You-Throw” (PAYT), ferramentas para o Governo Local e programas de reciclagem. O Programa de Resíduos Sólidos, contido na RCRA, incentiva os estados a elaborar planos para gestão de seus resíduos sólidos industriais não perigosos e resíduos sólidos urbanos, estabelece critérios para aterros municipais e outras instalações de disposição de resíduos sólidos e proíbe o despejo aberto de resíduos sólidos.

### 6.1.2. Europa

No cenário europeu, a legislação europeia relativa aos resíduos é composta pelas Diretivas 2008/98/EC, 1994/62/EC (embalagens), 1999/31/EC (disposição de resíduos em aterros), 2000/53/EC (veículos no final de vida), 2006/66/EC (pilhas) e pela Diretiva 2012/19/EU (resíduos de equipamentos eletroeletrônicos). Embora a União Europeia enfrente grandes diferenças entre os seus Estados-Membros no que diz respeito à gestão dos resíduos, estabelece que a prevenção de resíduos deve ser prioridade da gestão de resíduos, seguida pela reutilização e reciclagem dos materiais<sup>23</sup>.

No que diz respeito ao desenvolvimento do produto, a Diretiva 94/62/CE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa a embalagens e resíduos de embalagens, atenta para a necessidade de realização de avaliação do ciclo de vida e definição de requisitos essenciais de modo a reger a composição e a natureza de embalagens reutilizáveis, recuperáveis e recicláveis.

Quanto à gestão compartilhada, a mesma Diretiva afirma ser essencial que todos os intervenientes na produção, utilização, importação e distribuição de embalagens, em conformidade com o princípio do poluidor-pagador, assumam a

---

<sup>23</sup> Resolução de 24 de Fevereiro de 1997

responsabilidade pelos resíduos pós-consumo em um espírito de responsabilidade compartilhada.

Atualmente, as discussões acerca da política ambiental na Europa sobre abordagens mais eficazes para incentivar a prevenção e a reciclagem de resíduos, a reciclabilidade tem sido tratada sob um viés exclusivamente do desenvolvimento de produtos. A Responsabilidade Estendida do Produtor - que atribui responsabilidade aos fabricantes para recuperar seus produtos após o consumo, passou a ser utilizada como um instrumento para orientar mudanças de *design* nos produtos e processos produtivos por meio da internalização das externalidades de produtos, melhorando seu desempenho ambiental. As estratégias de “Projetar para o Meio Ambiente” e “para a Reciclagem”, além de fomentar a reciclagem, reduz os impactos ambientais dos produtos modificando a produção, comercialização, consumo e a destinação final.

A Comissão Europeia adotou um pacote de ações em prol da Economia Circular, que inclui propostas legislativas sobre os resíduos para estimular a transição da Europa para uma economia circular. Em 2003 a União Europeia emitiu uma política de produtos que defende um conjunto de políticas, incluindo o estabelecimento de normas de produto, indicadores de desempenho ambiental, contratos públicos mais compatíveis e divulgação de informações para facilitar a análise do ciclo de vida dos impactos do produto. A legislação exigiu que todos Estados-Membros implementem o retorno de uma ampla variedade de produtos e embalagens e equipamentos eletrônicos (ROSSEM, 2006).

Além disso, estabelecem medidas concretas para promover a reutilização e estimular a simbiose industrial para transformar o subproduto de uma indústria em recursos para a outra. Além disso, criaram incentivos econômicos para que os produtores introduzam no mercado produtos mais ecológicos e apoiem regimes de valorização e reciclagem (por exemplo, embalagens, pilhas, aparelhos elétricos e eletrônicos, veículos)<sup>24</sup>.

---

<sup>24</sup> Disponível em: [http://ec.europa.eu/environment/waste/target\\_review.htm](http://ec.europa.eu/environment/waste/target_review.htm)

Com relação à etapa do pós-consumo, a Diretiva 94/62/CE considera que, para atingir um nível elevado de reciclagem e evitar problemas de saúde e segurança durante a coleta e tratamento dos resíduos recicláveis de embalagens, é essencial que sejam classificados na fonte e orienta a criação de sistemas que garantam a devolução das embalagens usadas e/ou dos resíduos de embalagens. Deste modo, desde a concepção dos materiais, para facilitar a coleta, a reutilização e a reciclagem, a embalagem deve indicar, para efeitos da sua identificação e classificação, a natureza dos materiais utilizados.

#### 6.1.1.1. Alemanha

A Lei de Gestão de Resíduos (*KrWG*) entrou em vigor em 2012. Substitui a lei Lei *KrW-/AbfG*<sup>25</sup> e transpõe a Diretiva 2008/98/CE para o direito alemão e é hoje o principal estatuto de disposição de resíduos da Alemanha. O Governo Federal é responsável pela regulamentação da disposição de resíduos e os estados regionais têm jurisdição sobre os aspectos da eliminação de resíduos que não são regulamentados pela lei, tais como as obrigações e os organismos responsáveis pela eliminação de resíduos e a disposição de resíduos municipais.

De modo a considerar e preocupar-se com a etapa de desenvolvimento de produtos, a responsabilidade do produtor foi estabelecida pela primeira vez em 1991 no Decreto relativo a embalagens e pode ser implementada através de legislação (leis, ordenanças, regulamentos administrativos), bem como através de compromissos voluntários por parte dos produtores e distribuidores<sup>26</sup>. A Lei de Gestão de Resíduos regulamentou que as empresas colem, transportem, negociem e ajam como intermediários em relação aos resíduos. Determinou que até 2013 deveria ser elaborado um Programa de Prevenção de Resíduos, que foi apresentado<sup>27</sup> de modo a definir

---

<sup>25</sup> A Lei Kreislaufwirtschafts-und Abfallgesetz foi adotada em 1972.

<sup>26</sup> Disponível em: <http://www.bmub.bund.de/en/topics/water-waste-soil/waste-management/waste-policy/>

<sup>27</sup> Waste Prevention Programme of the German Government with the Involvement of the Federal Länder

objetivos e medidas de prevenção de resíduos. A criação da Lei de Gestão do Ciclo Fechado de 1996 alargou de forma abrangente estas políticas.

A lei trouxe uma abordagem significativa também para a etapa de produção ao estabelecer uma distinção entre resíduos e subprodutos que não são abrangidos pelo direito (artigo 4º). Define o subproduto como uma substância produzida em conexão com a fabricação de outra substância ou produto que não é o foco principal do processo de fabricação. Esta nova disposição relativa ao momento em que um determinado produto ou substância deixa de ser considerado como resíduo clarifica a definição de "resíduo".

Com relação à gestão dos resíduos, que engloba a etapa de consumo, pós consumo e reciclagem, uma das disposições essenciais da Lei de Gestão de Resíduos (KrWG) é a hierarquia na adoção de medidas de gestão de resíduos: prevenção, preparação para reciclagem, reciclagem, outros tipos de valorização, nomeadamente a utilização para a valorização energética e disposição. Em 2015, a triagem tornou obrigatória para os resíduos orgânicos, bem como para o papel, metal, plástico e vidro. Com vista a promover a reciclagem, estabelece as chamadas taxas de recuperação que se tornarão obrigatórias em 2020. Estipula que os resíduos domésticos e os resíduos de outras origens devem ser entregues às empresas públicas de coleta de resíduos. E que a coleta e recuperação de lixo doméstico municipal sejam regidas por portarias municipais integradas ao sistema público. A disposição de tipos específicos de resíduos, como veículos, baterias e dispositivos eletroeletrônicos em fim de vida são regidas por regulamentos específicos: *ELV (AltfahrzeugV)*, *Batteriegesetz (BatterieG)* e *Elektro-und Elektronikgerätegesetz (ElektroG)* respectivamente.

A lei ainda eliminou a distinção entre resíduos destinados a disposição e a reciclagem, substituindo estes critérios pelos perigos potenciais inerentes aos resíduos em questão. Todas as operações de transporte que envolvam resíduos não perigosos devem ser notificadas e uma licença deve ser obtida para o transporte de resíduos perigosos. A Lei é complementada e desenvolvida por uma série de outras regulamentações que listam os tipos de resíduos classificados como perigosos e não perigosos.

#### 6.1.1.2. Suécia

A Suécia possui uma série de normas e documentos que compõem sua legislação ambiental. De acordo com o relatório “Gargalos de governança e políticas para a gestão sustentável dos materiais”<sup>28</sup> divulgado pela Agência Sueca de Proteção Ambiental em 2013, a gestão sustentável dos materiais sustentáveis envolve todo o seu ciclo de vida, incluindo extração, produção, utilização e reutilização, reciclagem e eliminação final com o objetivo de melhorar a eficiência dos materiais e recursos, reduzir custos e prevenir ou reduzir a quantidade de resíduos gerados.

De um modo geral, as questões relacionadas aos resíduos sólidos são fundamentadas no Código do Meio Ambiente que entrou em vigor em 1999. Em seu capítulo 15 trouxe a questão dos resíduos e a responsabilidade do produtor, atribuindo a responsabilidade aos fabricantes, importadores e comerciantes de um produto ou embalagem e às pessoas cujas atividades profissionais gerem resíduos que exigem medidas especiais de eliminação de resíduos. Neste sentido, os produtores devem assegurar que os resíduos de seus produtos sejam coletados, transportados, reciclados, reutilizados ou dispostos para uma gestão adequada em termos de saúde e meio ambiente. A responsabilidade do produtor envolve também fundamentar-se nos requisitos relativos à composição, reutilização e reciclagem das embalagens, exigindo que os produtores rotulem seus produtos e embalagens, forneçam informações relevantes sobre as substâncias e materiais contidos nos produtos ou embalagens e sobre a coleta e o potencial de reutilização e reciclagem.

Com relação à gestão de resíduos, os municípios devem assegurar que os resíduos domésticos gerados no município sejam transportados para uma estação de tratamento de resíduos para serem reciclados ou removidos. O município podem ainda estipular até que ponto os proprietários podem dispor os resíduos domésticos de uma forma aceitável em termos de proteção da saúde humana e do ambiente. O Governo

---

<sup>28</sup> Escrito por Gunilla Ölund Wingqvist e Daniel Slunge do Centro de Ambiente e Sustentabilidade, Economia Ambiental e Política Grupo, Chalmers University of Technology / Universidade de Gotemburgo, em nome da UNDP Montreal Protocolo Unit/Chemicals. Disponível em: <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-8688-6.pdf?pid=9461>

pode emitir regras para resíduos gerados no município (a resíduos que não sejam domésticos), que exijam do município a remoção dos resíduos e que estes assegurem que os resíduos sejam reciclados ou eliminados. Todos os municípios devem adotar um regulamento de gestão de resíduos municipais que deve conter as regras de disposição de resíduos aplicáveis no município e um plano de disposição de resíduos. O plano deve conter as medidas do município para reduzir a quantidade e a periculosidade desses resíduos. O Código dispõe que caso seja necessário, para efeitos de reutilização ou reciclagem ou por outros motivos de saúde ou ambientais, o Governo pode emitir regras proibindo a deposição em aterro de resíduos combustíveis e orgânicos. O município é responsável pela organização do transporte de resíduos, sendo assim, não pode ser realizada por qualquer outra parte que não o município ou a pessoa contratada pelo município para o efeito.

Em 1999, o Instituto Sueco de Pesquisa Ambiental em parceria com a Agência Sueca de Proteção Ambiental elaborou o Relatório de Diretrizes para Tratamento e Disposição de resíduos sólidos baseados na Avaliação de Ciclo de Vida<sup>29</sup> para desenvolver e demonstrar métodos de incineração e disposição em aterros.

#### 6.1.1.5. Reino Unido

No Reino Unido<sup>30</sup>, através do *The Waste and Resources Action Programme (WRAP)*, o Grupo de Ação de Recursos de Embalagem (*Packaging Resources Action Group – PRAG*) que atua no *design* para reciclabilidade, cria parcerias e diálogos entre o governo central e local, fabricantes e retalhistas, companhias de sistemas de gestão de resíduos sólidos e comunicações para a recuperação de embalagens usadas.

A iniciativa pretende reduzir os impactos ambientais, sociais e económicos dos sistemas de embalagens e produtos, otimizar a quantidade de embalagens nos produtos, aumentar a quantidade e a qualidade da coleta de embalagens domésticas pós consumo

---

<sup>29</sup> Disponível em: <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/afr-r-279-se.pdf?pid=4403>

<sup>30</sup> Inglaterra, País de Gales, Escócia e Irlanda do Norte

para reciclagem e aumentar a recuperação das embalagens usadas. Segundo o WRAP, fornece orientação para *designers* de produtos e embalagens de um modo geral sobre os fatores que precisam ser considerados.

### 6.1.3. Ásia

#### 6.1.3.1. Japão

O arcabouço legal japonês relacionado a resíduos sólidos engloba leis de gestão de resíduos e limpeza pública, de utilização efetiva de recursos, de coleta e reciclagem de recipientes e embalagens, de reciclagem de tipos específicos de aparelhos domésticos e eletrodomésticos, de reciclagem de materiais de construção, de promoção da reciclagem e atividades relacionadas ao tratamento de recursos alimentícios e de reciclagem de veículos “em fim de vida”<sup>31</sup>.

A política de reciclagem do Japão fundamenta-se basicamente na Lei de Reciclagem de Recipientes e Embalagens<sup>32</sup>, de 1997, sob a perspectiva da promoção da coleta seletiva de recipientes e embalagens<sup>33</sup> de resíduos e a reciclagem a fim de reduzir o volume de resíduos e promover a utilização dos recursos reciclados. Diferentemente dos governos municipais que eram os únicos responsáveis pelo tratamento dos contentores e embalagens de resíduos antes da promulgação da lei, passou-se a distribuir responsabilidades aos consumidores, à administração pública e às empresas na gestão dos contentores e embalagens.

Com relação à gestão dos resíduos que considera o fluxo dos materiais especificamente após a etapa de consumo, alguns fatores da Lei japonesa podem ser verificados. A responsabilidade dos fabricantes e comerciantes envolvem o cumprimento

---

<sup>31</sup> Disponível em:

[http://www.env.go.jp/en/recycle/asian\\_net/Country\\_Information/Law\\_N\\_Regulation/Japan\\_of\\_Law\\_and\\_Regulation.html](http://www.env.go.jp/en/recycle/asian_net/Country_Information/Law_N_Regulation/Japan_of_Law_and_Regulation.html)

<sup>32</sup> Disponível em: <http://www.meti.go.jp/english/information/downloadfiles/cReCont02e.pdf>

<sup>33</sup> Os recipientes e embalagens de produtos comerciais que se tornam desnecessários quando os referidos produtos foram consumidos ou quando os referidos contentores e embalagens foram retirados dos produtos.

de obrigações, tais como procurar minimizar o volume de contentores e resíduos de embalagens gerados através da racionalização e reutilização, promover a coleta seletiva, utilizar materiais obtidos a partir da reciclagem e o pagamento de taxas de reciclagem. O consumidor deve se propor a cooperar com a coleta seletiva dos resíduos, que devem separar os frascos de vidro, garrafas PET, outros recipientes e embalagens de plástico e papel; além de latas de aço e alumínio, embalagens de papel e caixas de papel cartão.

O governo deve promover a coleta seletiva e o seu financiamento, além de orientar a promoção da ciência e da tecnologia que contribuirá na coleta, processamento e informações sobre contentores e embalagens e a utilização dos materiais reciclados. Por meio de atividades de educação e relações públicas, deve promover a conscientização pública sobre a coleta seletiva e a reciclagem de itens que atendam aos critérios de classificação e buscar a cooperação do público em geral para implementação. A municipalidade conduz a coleta seletiva dos materiais baseado em critérios de coleta selecionados (os frascos de vidro, por exemplo, são classificados de acordo com a cor e os rótulos são removidos). Os governos das províncias devem fornecer aos municípios a assistência técnica necessária para assegurar que as responsabilidades sejam cumpridas, enquanto os governos e municípios da província devem assegurar que a reciclagem seja promovida de acordo com as políticas do governo nacional.

A prática de reciclagem é gerida por uma instituição, a *Japan Container and Package Recycling Association*, que seleciona uma empresa de reciclagem por licitação pública em cada local de armazenamento nos municípios locais, utilizando recursos dos fabricantes e entidades comerciais de recipientes e embalagens. A empresa designada transporta dos resíduos para o centro produtivo e fornece o produto reciclado para indústrias usuárias e só mediante apresentação de um comprovante recebe o pagamento. Este sistema evita que os resíduos sejam eliminados sem serem reciclados.

A Lei para a Promoção da Utilização Efetiva de Recursos<sup>34</sup>, que entrou em vigor em 2001, passou a representar a preocupação japonesa com o desenvolvimento de seus produtos. A Lei visa estabelecer um sistema econômico do ciclo dos materiais

---

<sup>34</sup> Disponível em: <http://www.env.go.jp/en/laws/recycle/06.pdf>

através de medidas de reciclagem, redução da geração de resíduos e maior duração dos produtos e reutilização de peças recuperadas. Prevê a redução, reutilização e reciclagem (3Rs) como parte das medidas e abrange, desde a concepção dos produtos como medidas aplicadas aos resíduos industriais como a coleta e a reciclagem.

Em 2003, o Governo do Japão estabeleceu o "Plano Fundamental para o Estabelecimento de uma Sociedade de Ciclos de Materiais" como um programa do Plano de Implementação da Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável (CMDS) de Johannesburg em 2002<sup>35</sup>. O documento orienta a manufatura de produtos a partir do *DfE* (*Design para o Meio Ambiente*) e a concepção e fabricação de produtos de longa duração e locação da mesma forma que orienta uma gestão de resíduos baseada na utilização cíclica e no sistema de destinação adequada para tipo de material. Para a sua operacionalização, estabelece metas plausíveis e endereça responsabilidades a todos os atores envolvidos no ciclo dos materiais. Neste sentido, em 2008, o governo divulgou o um plano de ação para uma sociedade global Lixo Zero<sup>36</sup>.

#### 6.1.3.2. China

A legislação sobre resíduos sólidos na China é composta pela Lei da República Popular da China sobre Prevenção e Controle da Poluição Ambiental por Resíduos Sólidos, que entrou em vigor em 1996, e por medidas relativas sobre a gestão de certificação de produtos de proteção ambiental (2001) e à administração da importação de resíduos sólidos (2011)<sup>37</sup>.

A Lei da República da China sobre Prevenção e Controle da Poluição Ambiental por Resíduos Sólidos objetiva prevenir a poluição do meio ambiente causada

---

<sup>35</sup> A Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável ou *Earth Summit 2002* ocorreu em Johannesburg, África do Sul em 2002 para discutir o desenvolvimento sustentável pelas Nações Unidas reunindo líderes de organizações empresariais e não-governamentais 10 anos após a primeira Cúpula da Terra no Rio de Janeiro, em 1992.

<sup>36</sup> Disponível em: [http://www.env.go.jp/recycle/3r/en/g8\\_0805/02.pdf](http://www.env.go.jp/recycle/3r/en/g8_0805/02.pdf)

<sup>37</sup> Disponível em: <http://english.mep.gov.cn/Resources/laws/>

pelos resíduos sólidos, assegurando a saúde pública. Para tal, a lei se orienta no princípio de redução da geração de resíduos sólidos, na sua utilização plena e racional e posterior eliminação segura<sup>38</sup>. A lei apresenta um conteúdo muito reduzido em termos da reciclagem dos materiais.

Com relação ao desenvolvimento de produtos, orienta a utilização de materiais e embalagens facilmente recicláveis, eliminados ou assimilados pelo ambiente. Sugere que o fabricante, o varejista ou o consumidor reciclem as embalagens e recipientes de acordo com os regulamentos relativos do estado. A lei ainda dispõe sobre o incentivo do Estado às instituições de pesquisa científica e as unidades de produção para a produção de materiais que sejam facilmente reciclados, descartados ou assimilados pelo meio ambiente. Determina que o departamento encarregado de assuntos econômicos globais, juntamente com outros departamentos envolvidos sob o Conselho de Estado, deve promover a pesquisa, o desenvolvimento e a popularização de tecnologias e equipamentos de produção para reduzir a quantidade de resíduos sólidos industriais. Embora exista um documento intitulado “Medidas sobre a Gestão de Certificação de Produtos de Proteção Ambiental” que representa os esforços do governo chinês com vistas ao desenvolvimento de produtos de proteção ambiental, a reciclabilidade não é considerada como um fator determinante durante a fabricação dos produtos<sup>39</sup>.

Na etapa da produção, a Lei sobre Prevenção e Controle da Poluição Ambiental por Resíduos Sólidos orienta que o Estado encoraje e apoie uma produção mais limpa por parte das indústrias para reduzir a geração de resíduos sólidos.

Os procedimentos relativos à gestão dos resíduos referem-se ao encorajamento e apoio pelo Estado à utilização racional e integral dos recursos, recuperação integral dos resíduos sólidos e adoção de políticas e medidas econômicas e tecnológicas para tal. A Lei atribui responsabilidades às instituições e indivíduos que

---

<sup>38</sup> Disponível em:  
[http://english.mep.gov.cn/Resources/laws/environmental\\_laws/200710/t20071009\\_109944.shtml](http://english.mep.gov.cn/Resources/laws/environmental_laws/200710/t20071009_109944.shtml)

<sup>39</sup> Disponível em:  
[http://english.mep.gov.cn/Resources/laws/regulations/Environmental\\_Labels\\_Products/200711/t20071123\\_113362.shtml](http://english.mep.gov.cn/Resources/laws/regulations/Environmental_Labels_Products/200711/t20071123_113362.shtml)

coletam, armazenam, transportam, reutilizam e/ou descartam os resíduos sólidos, para que tomem precauções contra a propagação, perda e vazamento, bem como outras medidas para evitar que poluam o meio ambiente. Com relação à infraestrutura da reciclagem, dispõe sobre a necessidade de administração e manutenção das instalações, equipamentos e locais de coleta, transporte e eliminação de resíduos sólidos, a fim de garantir o seu funcionamento e utilização.

#### 6.1.4. Oceania

##### 6.1.4.1. Austrália

A Política de Resíduos Australiana objetiva reduzir a geração de resíduos, a gestão de resíduos como recursos, assegurar que o tratamento, eliminação, valorização e reutilização dos resíduos sejam realizados de forma segura, técnica e ambientalmente correta e contribuir com a redução das emissões de gases com efeito de estufa, a conservação e produção de energia, eficiência hídrica e produtividade da terra.

Estabelece diretrizes em áreas-chave e identifica estratégias prioritárias com relação ao desenvolvimento de produtos<sup>40</sup>. Uma delas refere-se a assumir as responsabilidades compartilhadas pela redução da pegada ambiental, de saúde e segurança de produtos e materiais em toda a cadeia de fabricação-suprimento-consumo e no fim de sua vida útil.

Além disso, a política pretende melhorar o mercado australiano para que sejam eficientes e eficazes na recuperação de resíduos com tecnologia e inovação locais. A busca pela sustentabilidade reduziria a quantidade de resíduos e a melhor utilização de modo a obter benefícios ambientais, sociais e econômicos mais abrangentes. A redução de resíduos potencialmente perigosos faz com que a recuperação, o manuseio e descarte de resíduos sejam consistentes, seguros e responsáveis. O acesso, dos tomadores de decisões, a dados e informações nacionais significativos, precisos e atuais

---

<sup>40</sup> Disponível em: <https://www.environment.gov.au/protection/national-waste-policy/about>

sobre a recuperação de resíduos e recursos para medir o progresso e educar e informar o comportamento e as escolhas da comunidade.

Com relação à reciclabilidade, as estratégias do Governo Australiano incluem uma legislação aplicada a gestão de produtos para gerenciamento dos impactos de um produto durante e no fim de sua vida útil, princípios e práticas de compras sustentáveis nas operações governamentais, um melhor gerenciamento de embalagens, um sistema nacional de classificação de resíduos alinhado às convenções internacionais, diretrizes de melhores práticas e normas nacionais para remover impedimentos a mercados eficazes para resíduos potenciais, acesso ao conhecimento e experiência em compras sustentáveis e práticas de negócios.

Além disso prevê melhorias na destinação de resíduos e reutilização de materiais no fluxo de resíduos comerciais e industriais, responsabilidade no cumprimento das obrigações internacionais, reduzir os materiais perigosos que entram no fluxo de resíduos, identificar ações para aumentar a capacidade e garantir que um conjunto adequado de serviços esteja disponível para comunidades remotas e a publicação de um relatório trienal sobre recuperação de resíduos e recursos, apoiado por um sistema que fornece acesso a dados nacionais integrados sobre a recuperação de resíduos e recursos.

## **6.2. Política nacional de reciclagem**

No Brasil, o arcabouço legal sobre a reciclagem conta com a Política Nacional de Resíduos Sólidos – instituída pela Lei Federal 12.305/2010. Quanto à etapa de desenvolvimento de produtos, não foi encontrado nenhum dos parâmetros de reciclabilidade identificados pela pesquisa que são relevantes nesta etapa.

A Lei fomenta o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados (Art. 7º, inciso III) através de incentivos e instrumentos e determina, genericamente, que os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes invistam no desenvolvimento, fabricação e colocação no mercado de

produtos aptos à reutilização, reciclagem ou outra forma de destinação ambientalmente adequada e cuja fabricação e uso gerem a menor quantidade de resíduos sólidos possível (Art. 31º, inciso I). Ainda orienta que o setor industrial implemente a avaliação do ciclo de vida de seus produtos (Art. 7º, inciso XIII) e desenvolva sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e reaproveitamento dos resíduos sólidos (Art. 7º, inciso XIV).

A PNRS faz alusão ao *ecodesign*, orientando a fabricação de embalagens que utilizem materiais que permitam sua reutilização e/ou reciclagem (Art. 32º) e se restrinjam em volume e peso às dimensões requeridas à proteção do conteúdo e à comercialização do produto, projetadas para serem reutilizadas tecnicamente viável e compatível com as exigências do produto e recicladas se a reutilização não for possível. Alinhado a isto, obriga a divulgação das informações relativas às formas de evitar, reciclar e eliminar os resíduos sólidos associados a seus respectivos produtos, à rotulagem ambiental e a coleta dos produtos e dos resíduos remanescentes após o uso, assim como sua subsequente destinação final ambientalmente adequada, no caso de produtos objeto de sistema de logística reversa.

Com relação aos incentivos econômicos à reciclagem, a Lei estabelece a possibilidade da criação de mecanismos para sua efetivação. São priorizadas as aquisições e contratações governamentais para produtos que sejam recicláveis e feitos a partir de matéria reciclada, assim como bens, serviços e obras que usem critérios compatíveis com padrões de consumo socioambientalmente sustentáveis (Art. 7º, inciso XI). A União, os Estados, o Distrito Federal e os municípios, no âmbito de suas competências, podem instituir normas com o objetivo de conceder incentivos fiscais, financeiros ou creditícios<sup>41</sup> às indústrias e entidades que se dedicam à reutilização, tratamento e reciclagem de resíduos sólidos produzidos no território nacional e a projetos relacionados à responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos (Art. 44º).

O poder público municipal pode ainda instituir incentivos econômicos aos consumidores que participam do sistema de coleta seletiva na forma de lei municipal (Art.

---

<sup>41</sup> Lei Complementar no 101, de 4 de maio de 2000 (Lei de Responsabilidade Fiscal)

35º). Podem ainda ser criadas linhas de financiamento para a implantação de infraestrutura física e aquisição de equipamentos para cooperativas e associações de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, para a estruturação de sistemas de coleta seletiva e de logística reversa (Inciso V) e para o desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos (Inciso VIII), auxiliando o setor industrial a assumir sua responsabilidade (Art. 42º).

Com relação à infraestrutura da reciclagem, a lei estabelece alguns instrumentos a serem adotados, tais como a coleta seletiva, os sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos (Art. 8º, Inciso III) e o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis (Inciso IV). Os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes são responsáveis por implantar o sistema de logística reversa e em conjunto com o poder público, devem assegurar o funcionamento de toda a sua infraestrutura. Conforme o Artigo 42, a implantação de infraestrutura da reciclagem pode ser facilitada através da infraestrutura física de cooperativas e associações de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis e dos sistemas de coleta seletiva e de logística reversa.

A PNRS orienta o desenvolvimento de pesquisas voltadas para tecnologias limpas aplicáveis aos resíduos sólidos como a reciclagem, pode ser fomentado por meio de medidas indutoras e linhas de financiamento pelo poder público (Art. 42, Inciso VII). Através da cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado, previsto na legislação, pode-se desenvolver pesquisas de novos produtos, métodos, processos e tecnologias de gestão, reciclagem, reutilização, tratamento de resíduos e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos (Art. 8, Inciso VI). Estes proporcionam benefícios para a existência de tecnologias de reciclagem disponíveis, para a efetivação da gestão compartilhada, quanto ao desenvolvimento do produto e a produção de produtos mais facilmente recicláveis.

A instituição da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, em seu artigo 30, abrange responsabilidades por parte dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos. A responsabilidade compartilhada objetiva, dentre outros, promover o aproveitamento de resíduos sólidos direcionando-os para a sua ou para outras cadeias produtivas (Inciso II), estimular o desenvolvimento de mercado, a produção e o consumo de produtos derivados de materiais reciclados e recicláveis (Inciso V) e incentivar as boas práticas de responsabilidade socioambiental (Inciso VII). Portanto, observa-se que a responsabilidade compartilhada está inserida em todas as etapas da cadeia produtiva, desde o desenvolvimento do produto.

A PNRS discorre que os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes devem tomar todas as medidas necessárias para assegurar a implementação e operacionalização do sistema de logística reversa sob seu encargo (Art. 33º, parágrafo 3º). Para isso, podem implantar procedimentos de compra de produtos ou embalagens usadas; disponibilizar postos de entrega de resíduos reutilizáveis e recicláveis; e atuar em parceria com cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis. Aliás, em todas as ações que envolvem a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a lei objetiva a integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis.

A responsabilidade dos consumidores diz respeito a efetuar a devolução após o uso, aos comerciantes ou distribuidores, dos produtos e das embalagens e de outros produtos ou embalagens objeto de logística reversa (Art. 32, §4º). Os consumidores são obrigados a acondicionar adequadamente e de forma diferenciada os resíduos sólidos gerados e a disponibilizar adequadamente os resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis para coleta ou devolução (Art. 35, inciso II).

De um modo geral, ainda que a PNRS considere o ciclo de vida do produto como uma série de etapas que envolvem o desenvolvimento do produto, seu processo produtivo, o consumo e sua disposição final, observa-se que a Lei não aborda a reciclagem a partir de todas as etapas da cadeia produtiva. Ainda que tenha estabelecido

a logística reversa e a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos como instrumentos para o aumento dos índices de reciclagem no Brasil, a PNRS possui lacunas ao abordar a reciclagem de resíduos sólidos.

O fato de não abordar todas as etapas da cadeia produtiva faz com que a diversidade e a complexidade das cadeias produtivas não sejam consideradas. Neste sentido, apenas alguns dos parâmetros de reciclabilidade identificados nesta pesquisa são citados pela PNRS, tais como os incentivos econômicos, a infraestrutura e as tecnologias de reciclagem e a gestão compartilhada. Isto demonstra que muitos dos fatores que podem influenciar no potencial de reciclagem dos materiais ao longo da cadeia produtiva estão sendo ignorados, comprometendo a eficiência e a eficácia do sistema de reciclagem.

A seguir são apresentadas figuras que representam as lacunas e interfaces das políticas de reciclagem internacionais e nacional obtidas pela ferramenta de avaliação de reciclabilidade. A figura 8 ilustra a comparação das lacunas e interfaces nas políticas do Canadá e Estados Unidos.

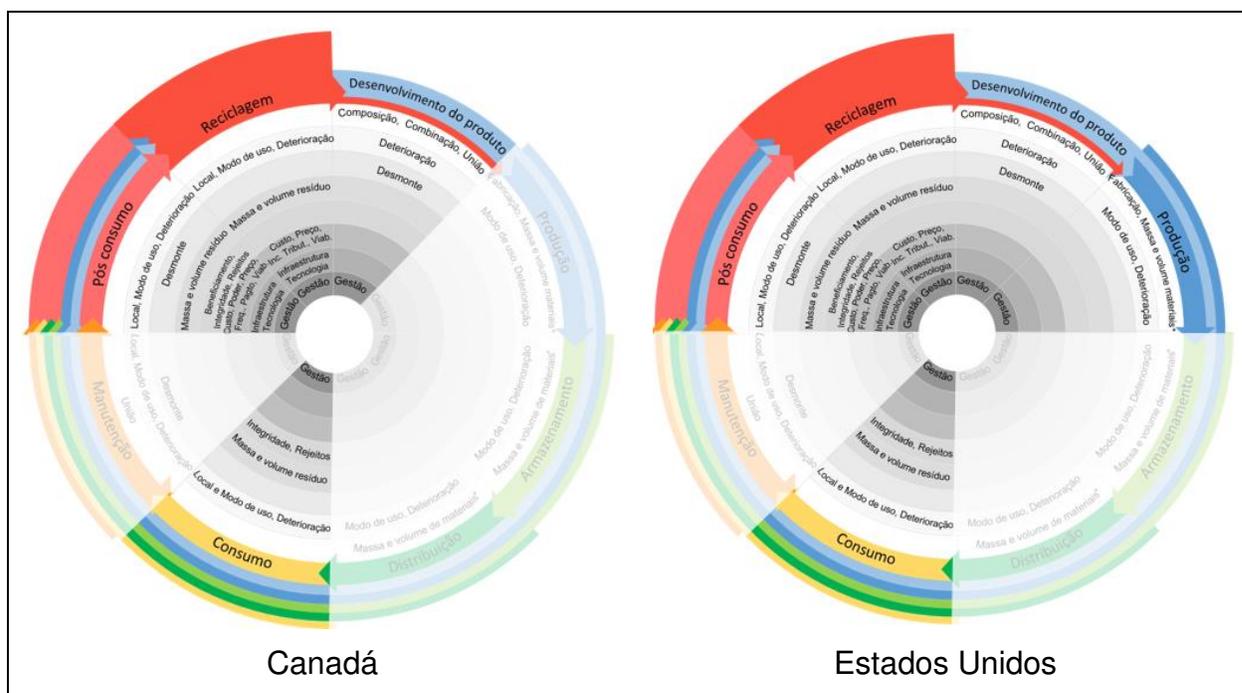


Figura 8 – Lacunas e interfaces das políticas de reciclagem da América do Norte



Na figura 10, observa-se as lacunas e interfaces obtidas a partir da ferramenta entre as políticas de reciclagem da Ásia, especificamente Japão e China. Já na figura 11 observa-se as lacunas e interfaces da política australiana.

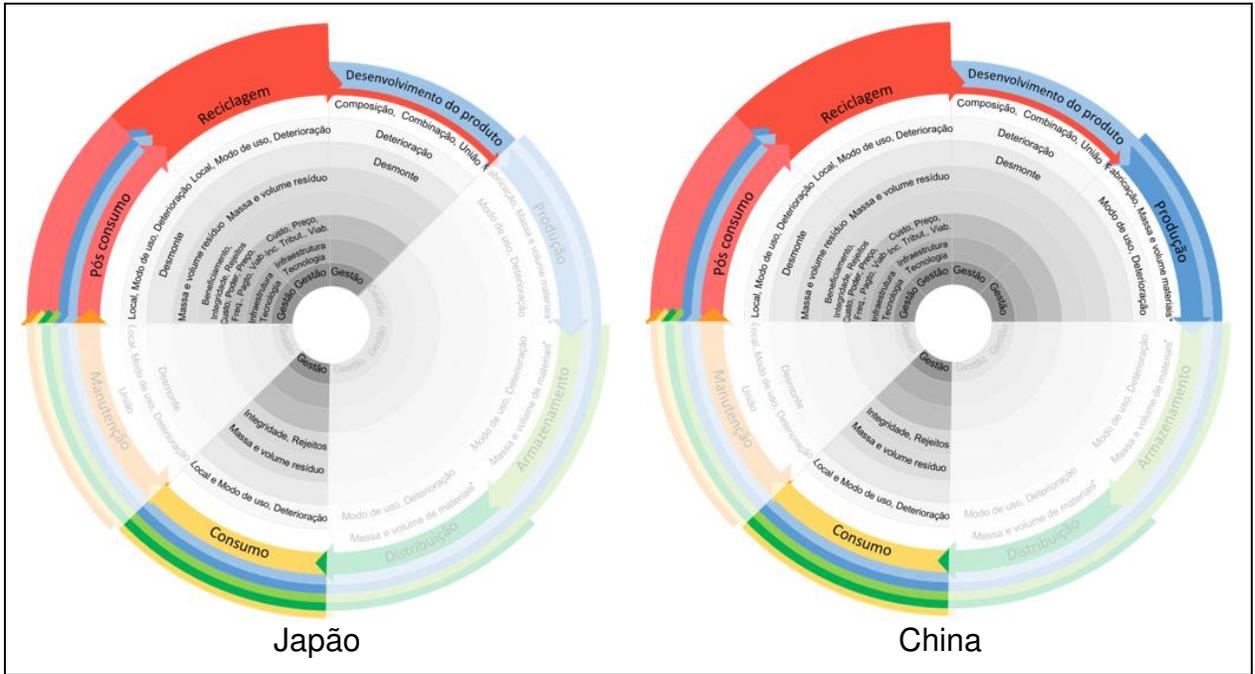


Figura 10 – Lacunas e interfaces das políticas de reciclagem da Ásia

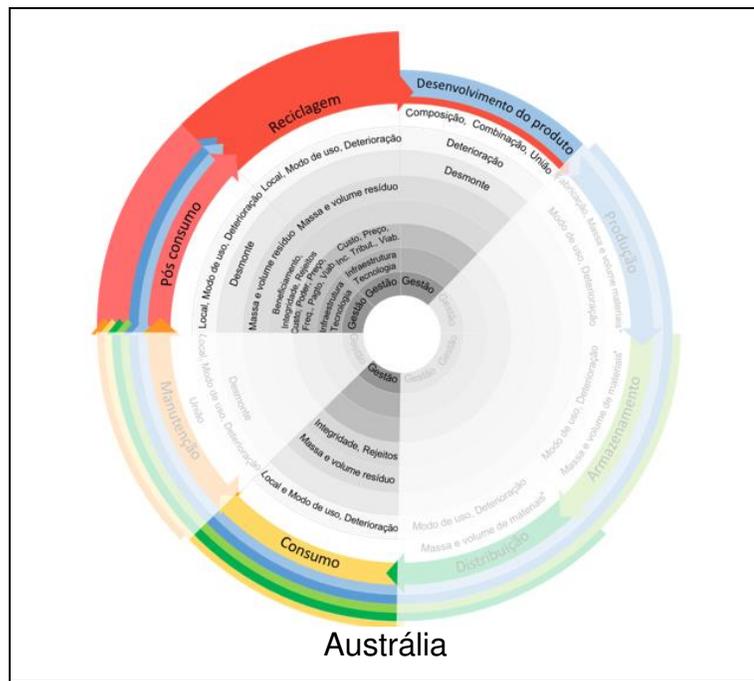


Figura 11 – Lacunas e interfaces da política de reciclagem da Austrália

A figura 12 mostra as lacunas e interfaces da política de reciclagem do Brasil, representada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos.



Figura 12 – Lacunas e interfaces da política de reciclagem do Brasil

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em um sistema “do berço ao túmulo”, que se fundamenta na lógica “fim de tubo”, a recuperação e a reciclagem dos materiais contidos nos produtos após o consumo não são priorizadas e quando submetidos à reciclagem, a qualidade dos materiais é reduzida, gerando produtos de menor qualidade – *downcycling*. Neste sentido, a estratégia produtiva “do berço ao berço” é fundamental na manutenção dos fluxos dos materiais desde a sua concepção a fim de que os processos e produtos sejam desenvolvidos com a intencionalidade de facilitar a recuperação e a reciclagem.

Diferentemente de abordagens que retratam a reciclabilidade por uma área específica de estudo, o constructo criado por este trabalho fundamenta-se na cadeia produtiva de ciclo fechado que orienta o fluxo dos materiais na lógica da Economia Circular. A integração das etapas do desenvolvimento de produto, produção, armazenagem, distribuição, consumo, pós-consumo e reciclagem, constituem a cadeia produtiva de ciclo fechado e uma série de atributos e parâmetros do potencial de reciclagem dos materiais. Assim, uma abordagem do desenvolvimento dos produtos é essencial, mas não garante a reciclagem dos materiais, assim como apenas a gestão dos resíduos e a logística reversa não são suficientes. Somente uma abordagem integral permite compreender o processo de recuperação dos materiais e sua complexidade. Quaisquer outras abordagens específicas tendem a ignorar informações contidas nos atributos e parâmetros presentes em outros momentos.

Na etapa pós-consumo são contempladas operações de triagem, armazenamento e distribuição de resíduos recicláveis aos centros produtivos. Esta ocorre em função do território, um parâmetro que até então não havia sido citado ou considerado entre os autores. O território surge como um parâmetro que relaciona-se diretamente com o escoamento dos materiais à indústria. Nas situações em que os fabricantes produzem e colocam produtos no mercado a uma abrangência territorial sem considerar se há infraestrutura viável para que a reciclagem ocorra naquele território. As distâncias entre os locais de produção, consumo, geração de resíduos, beneficiamento e indústria recicladora também podem dificultar e/ou impossibilitar o encaminhamento dos materiais

aos pólos industriais. Estas situações indicam que a cadeia produtiva de determinados produtos não está considerando o território.

Com a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil, alguns instrumentos foram criados para viabilizar a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, como a coleta seletiva e os sistemas de logística reversa. Anteriormente à criação da PNRS, no final da década de 90, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) iniciou um trabalho de regulamentação sobre pneus, pilhas e baterias e lâmpadas fluorescentes pós consumo. No entanto, mesmo depois da obrigatoriedade da logística reversa pela Lei Federal 12.305/2010 e pelo Decreto 7.404/2010, os sistemas de logística reversa não operam efetivamente. Os Acordos Setoriais, firmados entre o poder público e os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes para a sua viabilização, não consideram o fator geográfico e as particularidades e a dinâmica das cadeias produtivas. Os casos em que a logística reversa funciona ocorrem nas regiões sul e sudeste, onde estão concentrados os pólos industriais diversificados.

Assim como os sistemas de logística reversa, os Planos de Gestão e Gerenciamento de Resíduos não abordam a cadeia produtiva integralmente. Há uma grande preocupação com a gestão dos resíduos e ignora-se o produto e suas etapas de desenvolvimento, produção, armazenamento e distribuição. Uma das áreas em que os sistemas de gestão e gerenciamento de resíduos atua é a reciclagem dos materiais. No entanto, visto que este trabalho sugere que apenas uma abordagem integral que considere todas as etapas da cadeia produtiva seria eficiente para tratar a reciclagem, há um questionamento sobre o porquê de os sistemas de gestão de resíduos, que também se propõe a trata-la, levam esse nome.

Ao final deste trabalho, espera-se ter oferecido uma primeira contribuição para a compreensão do processo de reciclagem e o reconhecimento de sua complexidade visto a variedade de parâmetros que podem determinar o potencial de reciclagem dos materiais. A abordagem proposta por este trabalho possibilitou o desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação da reciclabilidade dos materiais por meio de 23 parâmetros contidos em diferentes etapas ao longo da cadeia produtiva “do berço ao berço”, cuja

validação é apresentada nos capítulos 5 e 6. A utilização desta ferramenta possibilita a identificação das lacunas e interfaces existentes no setor em durante todo o processo de reciclagem a fim de viabilizar a proposição de soluções em busca do aumento dos índices de reciclagem.

A pesquisa identificou um potencial de delineamentos futuros referente às correlações diretas que existem entre os parâmetros e a possibilidade de quantificá-los e ponderá-los. Assim, seria possível determinar pesos e relevâncias diferentes entre eles. Além disso, oferece uma possibilidade de estudos futuros acerca da elaboração de indicadores de reciclabilidade dos materiais para posterior a avaliação e quantificação do seu potencial de reciclagem em cada etapa da cadeia produtiva. Há um grande potencial de estudo também no que diz respeito à função do território na atividade da reciclagem por meio da logística reversa dos materiais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMOVAY, Ricardo. Lixo Zero: Gestão de resíduos sólidos para uma sociedade mais próspera / Ricardo Abramovay, Juliana Simões Speranza, Cécile Petitgand. – São Paulo: Planeta Sustentável: Instituto Ethos, 2013. 77 p. ; 29,7 cm.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM (ABRE). Embalagem e sustentabilidade: desafios e orientações no contexto da economia circular. ABRE/CETESB/CETEA: Thiago Urtdo Karashi et al.; Coordenação: Bruno Pereira. São Paulo: CETESB, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2014. São Paulo, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2015. São Paulo, 2016.

AGRAWAL, Saurabh; SINGH, Rajesh K.; MURTAZA, Qasim. A literature review and perspectives in reverse logistics. *Resources, Conservation and Recycling* 97, 2015. 76-92p.

AGUIAR, J.; OLIVEIRA, L.; SILVA, J. O.; BOND, D.; SCALICE, R. K.; BECKER, D. A design tool to diagnose product recyclability during product design phase. *Journal of Cleaner Production* 141. 219-229. 2017.

ALBAGLI, Sarita; BRITO, Jorge. Glossário de Arranjos e Sistemas Produtivos e Inovativos Locais. Coord: Helena M.M. Lastres e José E. Cassiolato. Arranjos produtivos locais: Uma nova estratégia de ação para o Sebrae. 2003

ALMEIDA, V. G.; ZANETI, I. C. B. B. Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Análise do Mercado de Recicláveis do Distrito Federal, DF. In: ANPPAS, 2008, Brasília. Congresso ANPPAS, 2008.

AL-SALEM, S. M; LETTIERI, P; BAEYENS, J. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. *Waste Management* 29. 2009. 2625–2643p.

AMARAL FILHO, J. et al. (2002). Núcleos e Arranjos Produtivos Locais: casos do Ceará. Projeto de Pesquisa Políticas para Promoção de Sistemas Produtivos Locais de MPME Brasileiras. UFRJ/IE – RedeSist – FINEP – SEBRAE: Rio de Janeiro.

AQUINO, Israel Fernandes de; CASTILHO, Armando Borges de; PIRES, Thyrza Schlichting De Lorenzi. A organização em rede dos catadores de materiais recicláveis na cadeia produtiva reversa de pós-consumo da região da grande Florianópolis: uma

alternativa de agregação de valor. *Gestão e Produção*. São Carlos, v. 16, n. 1, p. 15-24. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira 10004. Classificação de Resíduos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira 13230. Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis - Identificação e simbologia. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira. Norma Brasileira (NBR) 15792:2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Brasileira 16182. Embalagem e acondicionamento – Simbologia de orientação de descarte seletivo e de identificação de materiais. 2013.

BALLOU, Ronald H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial / Ronald H. Ballou; tradução Raul Rubenich. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 616 p.

BARBIERI, J. C. Desenvolvimento e Meio Ambiente: As estratégias de mudanças da Agenda 21. Petrópolis, RJ: Vozes, 2003.

BARNARD, Frederick. Education for management conceived as a study of industrial ecology. *The Vocational Aspect of Education*, 15:30, 22-26p. 1963.

BARROS, Regina Mambeli. Tratado sobre resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade. Rio de Janeiro: Interciência; Minas Gerais: Acta, 2012. 374p. Bassoi, Alaôr Lineu Ferreira e Otávio Okano). ISBN: 92-807-2499-1. 2005.

BAXTER, Mike. Projeto de Produto - Guia prático para o design de novos produtos. Tradução de Itiro Iida. 2ª Edição. Ed Edgard Blücher. 1995.

BEAMON, B. M. Designing the Green Supply Chain. *Logistics Information Management*, v. 12, p. 332-342, 1999.

BEVILACQUA, Maurizio; CIARAPICA, Filippo Emanuele; GIACCHETTA, Giancarlo. Design for Environment as a Tool for the Development of a Sustainable Supply Chain. Springer-Verlag London Limited. 374 p. 2012.

BLACKBURN, J. D.; GUIDE, V. D. R.; SOUZA, G. C.; WASSENHOVE, L. N. V. Reverse Supply Chains for Commercial Returns. *California Management Review* Vol. 46, N 2. 2004.

BRAGA, B. Introdução à Engenharia Ambiental. 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRAGA, S.; MIRANDA, L.C. de (Org). Comércio e Meio Ambiente: uma agenda positiva para o desenvolvimento sustentável. 310p. Brasília: MMA/SDS, 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, ago. 2012.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010.

BRASIL. Presidência da República. Decreto nº 7.404: Regulamenta a Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de logística Reversa e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 de dezembro de 2010.

BRAUNGART, Michael; MCDONOUGH, William; BOLLINGER, Andrew. Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions e a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of Cleaner Production*, V 15. 1337-1348p. 2007.

BRITO, Ana Cristina Facundo de; PONTES, Daniel de Lima. Indústria Química e Sociedade. EDUFRN, Natal, RN. 2009.

BROWN, Shona L.; EISENHARDT, Kathleen M. Product Development: Past research, present findings, and future directions. *The Academy of Management Review*, Vol. 20, No. 2 (Apr. 1995), pp. 343-378. 1995.

CABRERA, Magali López. O instrumento Ecoeficiência para os processos industriais. Dissertação de Mestrado da Faculdade de Engenharia - Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2010.

CALDERONI, Sabetai. Os bilhões perdidos no lixo. 4. ed. São Paulo: Humanitas. Editora, FFLCH/USP, 2003.

CAMPANI, Darci Barnech. A política nacional de resíduos sólidos e a sustentabilidade de nossa sociedade. In: AMARO, A. B.; VERDUM, R. (Org) Política nacional de resíduos sólidos e suas interfaces com os espaços geográficos: entre conquistas e desafios. Porto Alegre: Letra1, 2016. 396 p.

CANEVAROLO, S. V. Ciência dos Polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros. São Paulo: Artliber Editora. 2002.

CASTILLO, Ricardo; FREDERICO, Samuel. Espaço geográfico, Produção e Movimento: Uma reflexão sobre o conceito de circuito espacial produtivo. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, 22. 461-474. Dez, 2010.

CHERTOW, Marian R. Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy. *Annual Review Energy Environment*, n.25, p. 313-337, 2000.

CLARK, Kim B.; FUJIMOTO, Takahiro. Product Development Performance: Strategy, Organization and Management in the World Auto Industry. 1991.

COLTRO, Leda; GASPARINO, Bruno F.; QUEIROZ, Guilherme de C. Reciclagem de Materiais Plásticos: A Importância da Identificação Correta. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 18, nº 2, p. 119-125. 2008.

COLTRO, Leda; DUARTE, Leda C. Reciclagem de Embalagens Plásticas Flexíveis: Contribuição da Identificação Correta. 2008.

DAGNINO, Ricardo de Sampaio. Um olhar geográfico sobre a questão dos materiais recicláveis em Porto Alegre: sistemas de fluxos e a (in)formalidade da coleta à comercialização. / Ricardo de Sampaio Dagnino - Porto Alegre: UFRGS, 2004.

DE BRITO, Marisa P; DEKKER, Rommert. Reverse Logistics – a framework. *Econometric Institute Report*. 2002. V 38.

DEMAJOROVIC, J. Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos: As novas prioridades. *Revista de Administração de Empresas São Paulo*, v. 35, n.3, p. 88-93 Mai/Jun. 1995.

DEMAJOROVIC, J.; BESEN, G. R.; RATHSAM, A. A.; Os desafios da gestão compartilhada de resíduos sólidos face à lógica de mercado. In: JACOBI, P.; FERREIRA, L. (Org.). *Diálogos em ambiente e sociedade no Brasil*. São Paulo: ANNPAS, Annablume. 2006.

DEMAJOROVIC, J.; MIGLIANO, J. E. B.; Política Nacional de Resíduos Sólidos e suas implicações na cadeia da logística reversa de microcomputadores no Brasil. *Gestão & Regionalidade*. V 29. Nº 87. 2013.

DEPONTI, C. M.; ECKERT, C.; AZAMBUJA, J. L. B. Estratégia para construção de indicadores para avaliação da sustentabilidade e monitoramento de sistemas. *Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*. Porto Alegre, v.3, n.4, out/dez 2002. 44-52p. 2002.

EICHNER, Thomas; PETHIG, Rüdiger. Product Design and Efficient Management of Recycling and Waste Treatment. *Journal of Environmental Economics and Management* 41, 109–134. 2001.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). Circular economy in Europe - Developing the knowledge base. EEA Report No 2/2016. ISSN 1977-8449. 2016.

FERREIRA, N. S. De A. As pesquisas denominadas “Estado da Arte”. *Educação & Sociedade*, ano XXIII, no 79, Agosto. 2002

FERRI, Giovane Lopes; CHAVES, Gisele de Lorena Diniz; RIBEIRO, Glaydston Mattos. Análise e localização de centros de armazenamento e triagem de resíduos sólidos urbanos para a rede de logística reversa: um estudo de caso no município de São Mateus, ES. *Production*, v. 25, n. 1, p. 27-42, jan/mar. 2015.

FLECK, E. A elaboração dos planos de gestão integrada de resíduos sólidos em grandes cidades: o caso de Porto Alegre, RS. In: AMARO, A. B.; VERDUM, R. (Org) Política nacional de resíduos sólidos e suas interfaces com os espaços geográficos: entre conquistas e desafios. Porto Alegre: Letra1, 2016. 396 p.

FREITAS, E. L. Alguns aspectos da linguagem científica. *Sitientibus*, Feira de Santana, Bahia. 1994. n 12, p.101-112.

FROSCHE, R. A.; GALLOPOULOS, N. E.; *Strategies for manufacturing. Scientific American* 261. 144-152p. 1989.

FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE (FUNASA). Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de saneamento. 3. ed. rev. Brasília, 2006. 408p.

FURTADO, J.S. Tecnologias Sustentáveis e Eco-inovação. Programa de Gestão Estratégica Socioambiental / FIA-FEA-USP. São Paulo, 72p.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (Org) Métodos de Pesquisa. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Editora da UFRGS. 120 p. 2009.

GONÇALVES, Pólipa. A Reciclagem Integradora dos Aspectos Ambientais, Sociais e Econômicos. Rio de Janeiro: DP&A: Fase, 2003. 184p.

GONCALVES-DIAS, S. L. F.; BORTOLETO, A.P. “A Prevenção de Resíduos Sólidos e o Desafio da Sustentabilidade”. In: LOSCHIAVO DOS SANTOS, M. C. (Coord.). Design, Resíduo e Dignidade. São Paulo: Olhares, 2014, p. 91-114.

GUIDE, V. Daniel R.; HARRISON, Terry P.; WASSEHOF, Luk N. Van. The Challenge of Closed-Loop Supply Chains. *Interfaces*. 33(6):3-6. 2003.

HOPEWELL, Jefferson; DVORAK, Robert; KOSIOR, Edward. Review Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of The Royal Society*. 2009.

HUBBE, M. A. Fatores a considerar para melhorar e ampliar a reciclabilidade do papel. Artigo Técnico. *O PAPEL*. Vol. 71, num. 4. 40-60p. 2010.

ICLEI - GOVERNOS LOCAIS PELA SUSTENTABILIDADE. Tratamento e destinação de resíduos sólidos. Disponível em: [http://www.iclei.org.br/residuos/site/?page\\_id=356](http://www.iclei.org.br/residuos/site/?page_id=356)

ICLEI - GOVERNOS LOCAIS PELA SUSTENTABILIDADE. Planos de gestão de resíduos sólidos: manual de orientação. Brasília, 2012.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework – ISO 14040. Geneve: ISO, 1997, 12p.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Relatório de Pesquisa sobre Pagamento por Serviços Ambientais Urbanos para Gestão de Resíduos Sólidos. 2010.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Situação Social das Catadoras e dos Catadores de Material Reciclável e Reutilizável. Coordenação: Cláudio Passos de Oliveira. 2013.

INSTITUTO NENUCA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (INSEA). LIMA, Francisco P. A. (Org.) Prestação de Serviços de Coleta Seletiva por Empreendimentos de Catadores: instrumentos metodológicos para contratação; Belo Horizonte: INSEA, 2013.

JUNG, Carlos Fernando. Metodologia Científica e Tecnológica - Material para Fins Didáticos. 2009. Disponível em: <http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/mod7.pdf>

KANG, H., SCHOENUNG, J.M., 2005. *Electronic waste recycling: a review of U.S. infrastructure and technology options*. Resources, Conservation and Recycling. 45 (4), 368–400.

LAKHAN, C. *Diversion, but at what cost? The economic challenges of recycling in Ontario*. Resources, Conservation and Recycling. 95 133–142p. 2015.

LIMA, J. Abordagens Industriais Ambientais: solucionar problemas de poluição ou buscar sustentabilidade ambiental? Dissertação de Mestrado da Faculdade de Engenharia - Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. 2008.

MAGALHÃES JUNIOR, Antônio Pereira. Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa. 2 Ed. Editora Bertrand Brasil. 686p. 2007.

MANCINI, Sandro Donnini; NOGUEIRA, Alex Rodrigues; KAGOHARA, Dennis Akira; SCHWARTZMAN, Jonas Age Saide; MATTOS, Tânia de. *Recycling potential of urban solid waste destined for sanitary landfills: the case of Indaiatuba, SP, Brazil*. Waste Management & Research. 25: 517–523. 2007.

MASSOTE, Bruno; DEMAJOROVIC, Jacques; MORAES, Edmilson Alves de. Extended Producer Responsibility Model: An Analysis on the Brazilian Case based on System Dynamics Approach. In: System Dynamics Conference, 2015, Boston.

MCDONOUGH, William; BRAUNGART, Michael. Cradle to cradle: *Remaking the way we make things*. 2002.

MIGLIANO, J. E. B. Política nacional de resíduos sólidos (PNRS) perspectivas, desafios e oportunidades da logística reversa para a indústria nacional de computadores. 124 f. Dissertação (Mestrado), Centro Universitário da FEI (Programa de Pós-Graduação em Administração), São Paulo, 2012.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Agenda 21. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global>

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Consumo Sustentável: Manual de educação. Brasília: Consumers International/ MMA/ MEC/ IDEC, 2005. 160 p. ISBN 85-87166-73-5.

MONTEROSSO, E. P. Política nacional de resíduos sólidos: o olhar crítico de um gestor público. In: AMARO, A. B.; VERDUM, R. (Org) Política nacional de resíduos sólidos e suas interfaces com os espaços geográficos: entre conquistas e desafios. Porto Alegre: Letra1, 2016. 396 p.

NEPOMUCENO, Nivardo. A Tributação sobre o setor de reciclagem de resíduos sólidos e a incapacidade contributiva das associações e cooperativas de catadores: uma sociedade em busca da sustentabilidade. (Monografia de Especialização). Universidade de Brasília. Brasília, DF. 2006.

OECD. Working Group on Waste Prevention and Recycling. *EPR Policies and Product Design: Economic Theory and Selected Case Studies*. 2006.

ODUM, Eugene P. Fundamentos de Ecologia. 6ª ed. São Paulo: Fundação Calouste Gulbenkian. 2004 .

OLIVEIRA, Maria Clara Brandt Ribeiro de. Dissertação de mestrado: Gestão de Resíduos Plásticos Pós-Consumo: Perspectivas para a reciclagem no Brasil. Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2012.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Declaração da Conferência de Estocolmo. 5-16 de junho de 1972. Disponível em: [http://proclima.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/28/2013/12/estocolmo\\_mma.pdf](http://proclima.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/28/2013/12/estocolmo_mma.pdf)

PARREIRA, Gabriela Fonseca; OLIVEIRA, Fabiana Goulart de; LIMA, Francisco de Paula Antunes Lima. O gargalo da reciclagem: determinantes sistêmicos da triagem de materiais recicláveis. In: XXIX Encontro nacional de engenharia de produção - A

Engenharia de Produção e o Desenvolvimento Sustentável: Integrando Tecnologia e Gestão. Salvador, BA. 2009.

PENTO, Tapio. Design for recyclability and the avoidance of waste: the case of printed paper in Germany. *Waste Management & Research*. 1999. 93-99p.

PEREIRA, A. S.; LIMA, J. C. F.; RUTKOWSKI, E. W. Ecologia Industrial no Brasil: uma discussão sobre as abordagens brasileiras de simbiose industrial. In: IX Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 2007, Curitiba/PR. Anais do IX Encontro Nacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 2007

PETERS, Harm A. R.; TOXOPEUS, Marten E.; JAUREGUI-BECKER, Juan M.; DIRKSEN, Mark-Olof. Prioritizing 'Design for Recyclability' Guidelines, Bridging the Gap between Recyclers and Product Developers. *19th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*. Berkeley. 2012.

PINTO-COELHO, Ricardo Motta. Reciclagem e Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Belo Horizonte, MG: RECÓLEO - Coleta e Reciclagem de Óleos Vegetais Editora, 2009, v.l. p.340p.

PIVA, A. M.; WIEBECK, H. Reciclagem do Plástico: Como Fazer da Reciclagem um Negócio Lucrativo. São Paulo: Artliber, 2011, p. 62.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA) A Produção Mais Limpa e o Consumo Sustentável na América Latina e Caribe. Coord: PNUMA-ORPALC (Diego Maserá e Cristina Montenegro), CETESB (Lineu José). São Paulo, 2005.

PROCHNIK, Victor; HAGUENAUER, Lia. Cadeias Produtivas e Oportunidades de Investimento no Nordeste Brasileiro. In: *Análise Econômica*. Ano 18, n 33, março, 2000 - Porto Alegre. Faculdade de Ciências Econômicas, UFRGS, 2000

REUTER, M. A.; SCHAİK, A. Van.; IGNATENKO, O.; HAAN, G. J. de. Fundamental limits for the recycling of end-of-life vehicles. *Minerals Engineering* 19 (2006) 433–449. 2006.

RIBEIRO, Júnior Sousa; GOMES, Jefferson de Oliveira. Extending producer responsibility: framework to incorporate life cycle assessment in aircraft preliminar design based on take-back policies. *International Conference on Innovative Design and Manufacturing*. Montreal, Canadá. 2014.

ROGERS, D. S., TIBBEN-LEMBKE, R. S. *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practice*. Reverse Logistics Executive Council, 1998.

ROSSEM, Chris van; TOJO, Naoko; LINDHQVIST, Thomas. *Extended Producer Responsibility - An examination of its impact on innovation and greening products*. Report

commissioned by Greenpeace International, Friends of the Earth and the European Environmental Bureau (EEB). 2006.

RUSSO, Mário Augusto Tavares. Tratamento de Resíduos Sólidos. Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil. 2003

RUTKOWSKI, J. E.; Tecnologia Social da Coleta Seletiva Solidária: melhores práticas na prestação de serviço de Coleta Seletiva por catadores de materiais recicláveis. In: XI Seminário Nacional de Resíduos Sólidos, 2014, Brasília. Anais XI Seminário Nacional Resíduos Sólidos ABES. 2014.

RUTKOWSKI, J. E.; VARELLA, C. V. S.; CAMPOS, L. S. A reciclagem de resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios e oportunidades. In: XI Seminário Nacional de Resíduos Sólidos, 2014, Brasília. Anais do XI Seminário Nacional Resíduos Sólidos ABES. 2014.

SAKUNDARINI, N.; TAHA, Z.; ABDUL-RASHID, S. H.; GHAZILA, R. A.; Incorporation of high recyclability material selection in computer aided design. *Materials and Design* 56. 2014. 740–749p.

SAKUNDARINI, N.; TAHA, Z.; ABDUL-RASHID, S. H.; GHAZILA, R. A.; Optimal multi-material selection for lightweight design of automotive body assembly incorporating recyclability. *Materials and Design* 50. 2013. 846–857p

SANTOS, R. F. dos. Planejamento Ambiental: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SANTOS, P. E. B. Questões tributárias relativas à Política Nacional de Resíduos Sólidos. In: AMARO, A. B.; VERDUM, R. (Org) Política nacional de resíduos sólidos e suas interfaces com os espaços geográficos: entre conquistas e desafios. Porto Alegre: Letra1, 2016. 396 p.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Logística Reversa - Série Cadernos de Educação Ambiental. Texto Flávio de Miranda Ribeiro. São Paulo: SMA, 2014.

SERRA, A. L. R. C.; RUTKOWSKI, E. W.; RODRIGUES, M. A. Gestão ambiental de resíduos sólidos: Uma proposta de avaliação. In: 1 Fórum das Universidades Públicas Paulistas de Ciência e Tecnologia em Resíduos, 2003, São Pedro. 1 Fórum das Universidades Públicas Paulistas de Ciência e Tecnologia em Resíduos. São Paulo: ICTR, 2003.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 4. ed. rev. atual. – Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVA, Neliton M.; MOTA, Antonio Roney Sousa; CARDOSO FILHO, Gerson Teixeira; CASTRO, Marcos André de Oliveira. Desafios da gestão dos resíduos sólidos na Amazônia brasileira. In: AMARO, A. B.; VERDUM, R. (Org) Política nacional de resíduos

sólidos e suas interfaces com os espaços geográficos: entre conquistas e desafios. Porto Alegre: Letra1, 2016. 396 p.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DE MATERIAL PLÁSTICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SINDIPLAST). Guia ambiental da indústria de transformação e reciclagem de materiais plásticos [recurso eletrônico] / Elaboração Técnica: Gilmar do Amaral et al.; Colaboradores: André H.C. Botto e Souza... [et al.]. – São Paulo: CETESB: SINDIPLAST, 2011. Série P + L, ISSN 1982-6648.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. Administração da produção. Tradução: Maria Teresa Corrêa de Oliveira, Fábio Alher; revisão técnica: Henrique Luiz Corrêa. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SNIS. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2014. – Brasília: MCIDADES. SNSA, 2016.

SOTO, Jorge. “Manejo, Mercado e Circulação de Resíduos Industriais”. In: Seminário Lixo e Cidadania: Região do Grande ABC. Santo André, Consórcio Intermunicipal do Grande ABC, 2001. P. 90-94.

SRIVASTAVA, Samir K. Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews*. V 9. Issue 1 53–80p. 2007.

STOCK, James R; LAMBERT, Douglas M. Strategic Logistics Management. McGraw-Hill International Edition. 4 ed. 2001.

TANIMOTO, Armando Hirohumi. Proposta de Simbiose Industrial para minimizar os Resíduos Sólidos no pólo petroquímico de Camaçari. Dissertação de Mestrado da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. Salvador, BA. 2004.

THIERRY, Martijn; SALOMON, Marc; NUNEN, Jo Van; WASSENHOVE, Luk Van. Strategic issues in product recovery management. *California Management Review*, Berkeley, v. 37, n. 2, p. 114-135, 1995.

TCHOBANOGLIOUS, George; KREITH, Frank. Handbook of Solid Waste Management. 2002. McGraw-Hill Handbooks. 2ª Ed.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). WASHINGTON, D.C. 20460. 1992. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-09/documents/pollprev.pdf>

VARELLA, Cinthia Versiani Scott; LIMA, Francisco de Paula Antunes. O refugio da coleta seletiva: porque os materiais recicláveis não são reciclados. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual. Belo Horizonte, Minas Gerais. 2011.

VEZZOLI, Carlo; MANZINI, Ezio. Design for Environmental Sustainability. Springer. 2008.

VEZZOLI, Carlo; MANZINI, Ezio. O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis. Trad. Astrid de Carvalho. – 1ª ed. 3ª reimpressão. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, 2011.

WELP, Ewald Georg; LINDEMANN, Ulrich; ENDEBROCK, Klaus. Design for Recyclability of Capital Goods. International Design Conference. 1999.

ZHU, Q.; SARKIS, J. Relationships between operational practices and performance among early adopters of green supply chain management practices in Chinese manufacturing enterprise. Journal of Operations Management. 22, 265-289. 2004.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE I – ANÁLISE: ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS

### Parâmetro: Composição do produto

#### ***Materiais***

Os materiais determinam o potencial de reciclagem do produto que o constitui, seja pelo fato de que alguns materiais podem ser reciclados mais vezes sem perder suas propriedades ou devido sua viabilidade econômica para a reciclagem, que faz com que sejam mais valorizados. Desse modo, do ponto de vista da reciclagem, alguns materiais podem ser mais atraentes que outros. De acordo com Vezzoli e Manzini (2008), a seleção dos materiais a serem utilizados na fabricação dos produtos deve considerar os impactos ambientais que possam resultar durante todo o seu ciclo de vida e ser feita de modo a minimizar a periculosidade e as emissões durante sua produção, uso e destinação final.

- Alumínio

Além de usos em produtos domésticos e na construção civil, participa do mercado principalmente na forma de embalagens para bebidas. O processamento da bauxita em alumínio apresenta um alto custo e exige um consumo elevado de energia.

Segundo a Associação Brasileira do Alumínio (ABAL), além de promover benefícios sociais e econômicos, o processo de reciclagem utiliza apenas 5% da energia elétrica e libera somente 5% das emissões de gás de efeito estufa quando comparado à produção de alumínio primário. De acordo com o The European Committee for Standardization (CEN), as embalagens feitas de aço ou alumínio podem conter uma quantidade significativa de material reciclado, cerca de 50% ou mais. As latinhas recicladas reduzem substancialmente a pegada de carbono de novas latinhas fabricadas. As latas de aço feitas de material reciclado requerem apenas 25% da energia necessária a partir de material virgem e se a lata for de alumínio, apenas 5% da energia é necessária<sup>42</sup>.

---

<sup>42</sup> An introduction to Packaging and Recyclability. November, 2009.

O alumínio pode ser reciclado infinitas vezes sem perder suas características no processo (*downcycling*), o que garante uma alta reciclabilidade – podendo ser reciclado tanto a partir de materiais pós-consumo<sup>43</sup> quanto por sobras do processo produtivo<sup>44</sup>. Por esta razão o alumínio hoje alcança preços de comercialização atrativos perante o mercado da reciclagem.

Segundo a ABAL, em 2014 o país reciclou 540 mil toneladas de alumínio. Desse total, 289,5 mil toneladas são de latas de alumínio para bebidas, gerando um índice de reciclagem de 98,4%. De acordo com a Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio (ABRALATAS)<sup>45</sup>, em 2015 este índice ficou em 97,9%. Estes índices mantêm o Brasil na liderança mundial da reciclagem de latas de alumínio desde 2001.

Depois da produção, o ciclo de uma lata de alumínio comprada, utilizada, coletada, reciclada, envasada e voltar às prateleiras para o consumo, dura aproximadamente 60 dias<sup>46</sup>. A ABAL atribui os altos índices de reciclagem das latas de alumínio ao fato de o país possuir um mercado de reciclagem já estabelecido em todas as regiões. O alto valor de venda do alumínio faz o processo de coleta e transporte valer a pena do ponto de vista econômico.

- Papel

Os papéis podem ser classificados em diversas categorias devido ao fato de possuírem diferentes características, tais como sua consistência, composição e coloração, que atribuem potenciais de reciclagem diferenciados. Algumas categorias de papel são os papéis para a imprensa, para imprimir, para escrever, para embalagem, para fins sanitários, cartões e cartolinas e papéis para fins especiais (CALDERONI, 1999).

Segundo a Associação Nacional dos Aparistas de Papel (ANAP) as aparas podem ser divididas em quatro grandes grupos:

---

<sup>43</sup> Utensílios domésticos, latas de bebidas, esquadrias de janelas, componentes automotivos, entre outros, podem ser fundidos e empregados novamente na fabricação de novos produtos.

<sup>44</sup> Disponível em: <http://www.abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/>

<sup>45</sup> Disponível em: <http://www.abralatas.org.br/>

<sup>46</sup> Disponível em: <http://www.abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/latinhas-campeas/>

- Aparas de papel marrom: oriundas de papéis originalmente utilizados na produção de papéis de embalagens (ondulados e *kraft*);
- Aparas de papel branco: oriundas e papéis originalmente utilizados na produção de papéis destinados a impressão (papéis de escritório, jornais e revistas);
- Aparas de papel-cartão: cuja origem são as caixas e cartuchos não ondulados (embalagens de remédios, pastas de dentes).

As matérias primas fibrosas usadas no processo de fabricação dos papéis podem ser classificadas em celulose de fibras curtas, longas ou pastas de madeira. Segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose (ANFPC) apud Calderoni (1999), a celulose de fibras curtas é obtida quase que exclusivamente a partir de florestas de eucalipto plantadas pelas empresas do setor ou ainda da cana de açúcar. As pastas de madeira são obtidas por processos mecânicos ou semiquímicos, e usadas como enchimentos para complementar a composição fibrosa de papéis, juntamente com as fibras celulósicas.

Ainda segundo a ANFPC, alguns tipos de papéis podem ser produzidos com um único tipo de matéria prima fibrosa, como por exemplo o *kraft* que possui apenas celulose de fibras longas. Por outro lado, vários outros são constituídos de mais de um tipo de material fibroso, como os papéis para jornal. Nas cartolinas tem-se uma camada de forro produzida basicamente com pastas de celulose de fibras curtas e uma camada de suporte produzida com pasta de madeira e outras fibras de enchimento. O papelão ondulado é constituído de uma capa (mistura de fibras longas e curtas), um miolo ondulado e uma contracapa. Com exceção dos papéis para fins sanitários, todos são essencialmente recicláveis e podem ser utilizados para usos diferentes aos originais. No entanto, a contaminação e a incorporação de outros materiais podem impedir seu reaproveitamento para a reciclagem.

Calderoni (1999) corrobora a perda das propriedades do papel ao ser reciclado. Segundo a ANAP (2016), as fibras de celulose vão se degradando a cada ciclo de produção. A reciclagem do papel não substitui a matéria prima virgem e deve

combinar-se com o material reciclado (CALDERONI, 1999). É necessário que seja adicionada haja uma constante entrada de fibras virgens no ciclo produtivo para manter a resistência e a qualidade da fibra.

A economia de energia elétrica proporcionada pela reciclagem dos papéis é uma das mais expressivas. Com relação ao consumo de água, a reciclagem reduz o volume demandado em até 29 mil litros por tonelada (CALDERONI, 1999). O Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015 da ABRELPE mostra que o índice de reciclagem do papel em geral ficou em cerca de 63,4% (ABRELPE, 2016). O tipo de papel mais reciclado é o papel usado para embalagem, principalmente o papelão (ANAP, 2016).

- Plástico

Os plásticos são materiais poliméricos divididos em termoplásticos e termofixos. Segundo Canevarolo (2002) os termoplásticos possuem a capacidade de amolecer e fluir quando sujeitos a um aumento de temperatura e pressão e quando retirados, solidificam com formas definidas. Se submetidos novamente a temperatura e pressão produzem o mesmo efeito de amolecimento e fluxo. Esta alteração é uma transformação física, reversível. São fusíveis, solúveis, recicláveis. Exemplo: polietileno (PE), poliestireno (PS), poliamida, etc.

Os termofixos, termorrígidos ou termoendurecidos amolecem uma única vez com o aquecimento e sofrem o processo de cura no qual se tem uma transformação química irreversível, com a formação de ligações cruzadas, tornando-se rígido. Se submetidos novamente a alta temperatura, seu estado físico não se altera mais (baquelite, resina epóxi) (CANEVAROLO, 2002). Os polímeros recicláveis mais conhecidos são apresentados na Tabela 24 e identificados conforme a Figura 9.

Tabela 23 – Principais resinas poliméricas

<b>Resinas</b>	<b>Sigla</b>
Polietileno tereftalato	PET
Polietileno	PE
Polietileno de alta densidade	PEAD
Polietileno de baixa densidade	PEBD
Policloreto de vinila	PVC
Polipropileno	PP
Poliestireno	PS

Fonte: ABIPLAST (2016)



Figura 13 – Identificação de materiais plásticos conforme NBR 16182 e 13230

Fonte: Google Imagens

De acordo com a ABIPLAST (2016), os plásticos possuem muitas qualidades que permitem sua aplicação em uma enorme quantidade de produtos e embalagens. Possuem características como a leveza - que reduz os custos e facilita o transporte, a durabilidade, a capacidade tanto de flexibilidade quanto de rigidez, a transparência, o não comprometimento das propriedades dos produtos e a maleabilidade - que possibilita sua moldagem por extrusão, injeção, compressão ou sopro. Essas qualidades conferem um baixo custo de produção que torna rentável a fabricação deste tipo de material.

A reciclagem do plástico, segundo Calderoni (1999), proporciona uma redução considerável no consumo de energia elétrica, uma economia de matérias primas e de petróleo. Em 2011, o índice da reciclagem dos plásticos no Brasil ficou em aproximadamente 21,7%, representando aproximadamente 953 mil toneladas por ano<sup>47</sup>.

Para Calderoni (1999), ainda que sejam recicláveis são grandes as dificuldades técnicas envolvidas na reciclagem deste material. A mistura de diferentes tipos de plásticos em um mesmo produto limita a sua reciclabilidade. Em sua obra, o autor cita Powelson, que em 1992, afirmou que a indústria do plástico produz mais de 150 tipos de resinas por ano e cada uma delas contém equações químicas singulares e dificuldades à reciclagem devido as múltiplas propriedades físico-químicas pois frequentemente não se combinam. Segundo ele, misturar duas resinas plásticas é comparável a combinar aço e madeira.

Segundo Al-Salem, Lettieri e Baeyens (2010), a reciclagem mecânica contempla resíduos que contenham apenas um tipo de resina<sup>48</sup>, ou seja, quanto maior a diversidade de resinas, mais difícil é reciclá-lo mecanicamente. Sakundarini et al.

<sup>47</sup> Disponível em: <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/4/plasticos>

(2014) acrescentam que o custo da reciclagem de materiais misturados e embalagens compósitas são maiores.

- Vidro

Segundo a Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro (ABIVIDRO), o vidro pode ser utilizado em produtos na forma plana – fabricados em chapas e utilizados principalmente nos setores da construção civil, automobilístico e indústria moveleira, e na forma de embalagens – principalmente de produtos das indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética.

O vidro é um material que pode ser reciclado infinitamente sem perder suas propriedades. De acordo com a ABIVIDRO, as embalagens de vidro podem ser integralmente aproveitadas no ciclo produtivo, não havendo perda de materiais. A fabricação a partir do próprio vidro demanda uma menor quantidade de energia e emite menor quantidade de resíduos particulados e dióxido de carbono. Todos os tipos de materiais apresentam qualidades positivas e negativas em termos ambientais. A seleção do tipo de material a ser utilizado na composição do produto deve ser feita baseada em estudos de Análise de Ciclo de Vida (ACV), de acordo com os impactos ambientais decorrentes da sua extração, produção e destinação final. Na Tabela 25, Vezzoli e Manzini (2008) identificaram qualidades positivas e negativas dos materiais cerâmicos, ligas metálicas, polímeros e compósitos.

Tabela 24 – Qualidades positivas e negativas dos materiais

Material	Qualidades positivas	Qualidades ambientais negativas	Qualidades ambientais positivas	Exemplos
<b>Cerâmica</b>	A prova de calor, altamente rígido, condutividade térmica alta, à prova de corrosão, à prova de choque térmico	Composição possivelmente cancerígenas; não recicláveis na forma sólida	Vida útil longa, baixa degradabilidade	Óxidos de zircônio (ZrO <sub>2</sub> ), alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) e silício, nitreto de silício, carboneto de silício
<b>Ligas metálicas</b>	A prova de calor, à prova de corrosão, resistência mecânica, à prova de fadiga	A reciclagem exige elevado consumo de energia	Vida útil longa	Ligas de alumínio Al-Li, aluminoids (Ti, Ni)
<b>Polímeros</b>	Leveza, à prova de corrosão, resistência mecânica	Matérias-primas tóxicas e solventes tóxicos; substâncias	Leveza reduz o consumo de energia, tempo	Termoplásticos, poliamida, poliéster, siloxanos, aramidas

<sup>48</sup> As resinas são polímeros sintéticos usadas na produção de plásticos.

		termofixas são difíceis de reciclar	longo, altamente reciclável	
<b>Compósitos</b>	À prova de corrosão, leveza, resistência mecânica e rígida, atrito e resistência à abrasão	Difícil separação de componentes, difícil de reciclar	Leveza reduz o consumo de energia	Grafite, SiC, aramidas, polímeros, ligas
Fonte: Vezzoli e Manzini (2008)				

### Aditivos

Canevarolo (2002) define os aditivos como quaisquer materiais adicionados a um polímero objetivando uma aplicação específica. Os polímeros aceitam uma grande variedade de aditivos, tanto para melhoria de suas propriedades físico-químicas, como também para o aspecto visual, permitindo uma vasta gama de aplicações. Dentre os tipos de aditivos utilizados, o autor cita os que são apresentados na Tabela 26.

Tabela 25 – Tipos de aditivos, suas características e exemplos

Aditivo	Características	Exemplos
<b>Carga</b>	Usada como enchimento, principalmente visando à redução de custo.	Talco, caulim, serragem e outros polímeros reciclados.
<b>Carga reforçante</b>	Confere melhores propriedades mecânicas ao polímero, principalmente aumentando o módulo de elasticidade (em tração e em flexão) e a resistência mecânica. São subdivididas em fibrosas e particuladas.	Fibra de vidro e cargas cerâmicas (tratadas ou não).
<b>Plastificante</b>	Normalmente são líquidos usados para aumentar a flexibilidade e distensibilidade do composto na temperatura de utilização da peça pronta.	Diocil ftalato (DOP) para PVC, resultando no PVC plastificado (PPVC).
<b>Lubrificante</b>	Usado para reduzir a viscosidade durante o processamento através da lubrificação das cadeias. Este efeito só deve acontecer na temperatura de processamento e não alterar as propriedades do composto na temperatura de aplicação da peça.	Ceras parafínicas, ácidos graxos e seus derivados na forma de aminas e ésteres.
<b>Estabilizante</b>	Os polímeros são sensíveis à temperatura e ao cisalhamento, degradando-se principalmente por oxidação. A adição de estabilizantes térmicos de atuação em curto e longo prazo em alguns casos é fundamental.	Estabilizante térmico à base de estanho, cádmio e zinco
<b>Antiestático</b>	Reduz a resistência elétrica superficial, evitando o acúmulo de carga estática que poderia gerar faíscas, atrair poeira, aumentar excessivamente a aderência entre filmes, etc.	-
<b>Retardante de chama</b>	Dificultam a iniciação e a propagação da chama. São importantes em aplicações na construção civil, na qual a propagação do fogo em incêndios deve ser minimizada.	Compostos de bromo e boro, alumina tri-hidratada, etc.
<b>Agentes nucleantes</b>	Servem como base para a nucleação de um polímero semicristalino, reduzindo o super resfriamento e, portanto, facilitando a cristalização. Isto faz com que esta aconteça a temperaturas mais altas, permitindo a ejeção de uma peça moldada em um ciclo menor, aumentando a produtividade.	Sorbitol, talco, alguns pigmentos, etc.
<b>Modificadores de impacto</b>	Normalmente são elastômeros que, quando adicionados em uma matriz polimérica rígida e quebradiça aumentam a resistência ao impacto.	Polibutadieno em poliestireno (produzindo o HIPS), EPR em PP e PA, etc.

<b>Pigmento</b>	Material orgânico ou inorgânico usado para colorir. Os polímeros aceitam uma extensa gama de cores, sendo muito utilizados pelos projetistas para aumentar o apelo visual e de comercialização de um produto.	Normalmente comercializados na forma de dispersões em uma matriz polimérica.
Fonte: CANEVAROLO (2002)		
<p>Pinto-Coelho (2009), Mancini et al. (2007) e Al-Salem, Lettieri e Baeyens (2009) concordam que a utilização de aditivos químicos na fabricação pode dificultar a reciclagem final do produto, especialmente no caso dos plásticos. A incorporação de aditivos químicos e outros estabilizadores no processamento dos plásticos faz com que a sua reciclagem ocorra em circuito aberto, ocasionando a fabricação de produtos de menor qualidade (AL-SALEM, LETTIERI e BAEYENS, 2009).</p>		
<p>Uma estratégia, segundo Peters et al. (2012), é não usar mais de 5% de aditivos como retardadores de chama, estabilizadores, agentes de enchimento e de reforço tais como as fibras de vidro, pois estas substâncias impedem a reciclagem ao alterar a densidade dos plásticos, que acabam transformando-se em plástico de baixa qualidade.</p>		
<p>Segundo a Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST, 2016), alguns estudos alertam sobre os impactos na reciclagem de resíduos plásticos pós-consumo que contêm aditivos pró-degradantes, comumente adicionados ao polietileno para a fabricação de sacolas plásticas oxibiodegradáveis<sup>49</sup>. Quando misturadas com outros plásticos pós-consumo, as sacolas acabam comprometendo o processo de reciclagem bem como as propriedades finais do material reciclado. O aditivo acelera a degradação e fragmentação total do material plástico, impedindo a sua reciclagem mecânica. Diante destes fatos, se os resíduos serão encaminhados à reciclagem, não é recomendável a utilização de aditivos pró-degradantes na fabricação de produtos plásticos. Na maioria das vezes esses tipos de produtos acabam configurando <i>greenwash</i><sup>50</sup> (ABIPLAST, 2016).</p>		

<sup>49</sup> São sacolas plásticas que se degradam na presença de oxigênio. Recebem um aditivo para acelerar seu processo de degradação.

<sup>50</sup> Termo designado para representar um produto tido como ecologicamente correto (verde) equivocadamente.

Além disso, a causa de emissões tóxicas durante o processo de reciclagem está relacionada a uma série de aditivos e não especificamente do material em si. Recomenda-se evitar aditivos e optar por outros tipos de materiais que possam ser incorporados (VEZZOLI e MANZINI, 2011).

### ***Tintas, pigmentos e revestimento***

As tintas, pigmentos e revestimentos são aditivos aplicados aos produtos que interferem no potencial de reciclagem dos mesmos. Aguiar et al. (2017) observam que as tintas contaminam os materiais plásticos e que a pintura dos materiais deve ser evitada quando possível, pois uma pequena quantidade pode ser o suficiente para dificultar todo o processo de reciclagem. A quantidade de tinta nas embalagens pós-consumo é um dos obstáculos à sua reciclagem (ABIPLAST, 2016).

A Figura 10 a seguir demonstra uma hierarquia no potencial de reciclagem conforme a coloração das peças de produtos plásticos. Observa-se que quanto menor a adição de cor nos materiais e mais translúcido, mais favorável a sua reciclagem. Já nos vidros, a ABIVIDRO afirma que, em função do próprio mercado que compra os materiais pós-consumo, os vidros também são valorizados de acordo com a sua coloração. Os vidros incolores são os que possuem maior valor de mercado, seguido pelas cores âmbar, verde e mista.



Figura 14 – Interferência da coloração na reciclagem dos materiais plásticos

Fonte: ABIPLAST (2016)

Os processos de remoção de tinta nos materiais plásticos podem comprometer as propriedades dos plásticos reciclados devido a concentração do revestimento (KANG e SCHOENUNG, 2005). Uma das formas para remover as tintas,

pigmentos e revestimentos afim de melhorar o processo de libertação e evitar que os materiais de revestimento sejam incorporados nos grânulos de plástico, é por meio da moagem dos materiais. Este tipo de processo deteriora as propriedades dos materiais plásticos, causando perdas. Sendo assim, quanto maior a presença de contaminantes coloridos no plástico reciclado, maior o desgaste do material e menor o preço de mercado, podendo ser reutilizado como carga na fabricação de produtos mais simples ou menos nobres (ABIPLAST, 2016). Outra forma de separação dos revestimentos é por imersão dos materiais em solventes (KANG e SCHOENUNG, 2005). No entanto, ainda que alguns métodos proporcionem uma boa separação, isso continua sendo um problema.

Segundo Vezzoli e Manzini (2011), as tintas ainda representam um risco devido às potenciais emissões de Compostos Orgânicos Voláteis (COV). Os pigmentos podem conter grande quantidade de metais pesados. Assim, a incorporação de tintas e pigmentos tóxicos nos materiais representa uma fragilidade ao seu potencial de reciclagem. Com a intenção de amenizar todas estas questões, foram desenvolvidas tintas e pigmentos orgânicos e à base de água que são facilmente removidas no processo de reciclagem usando água a alta temperatura.

### ***Materiais perigosos***

A norma brasileira ABNT NBR 10004 (NBR, 2004) define três classes de resíduos sólidos, que consideramos neste trabalho como materiais pós-consumo. A Classe I é composta por materiais perigosos que apresentam riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Inclui materiais inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos e patogênicos.

Muitas vezes as emissões tóxicas e prejudiciais durante as etapas da cadeia produtiva são ocasionadas pela inserção de aditivos químicos, que também inviabilizam a reciclagem dos materiais. Estes aditivos, preferencialmente, devem ser substituídos por outros não-tóxicos.

Segundo Vezzoli e Manzini (2008) e Aguiar et al. (2017), deve-se evitar o uso de substâncias tóxicas, materiais perigosos e controlados, todavia quanto necessária, a utilização de substâncias tóxicas e perigosas deve contemplar as devidas precauções, de modo a minimizar os riscos durante todas as fases do ciclo de vida do produto.

De acordo com Aguiar et al. (2017) caso os produtos contenham materiais perigosos que sejam prejudiciais ao meio ambiente, devem conter identificação e um tratamento adequados desses materiais antes de serem encaminhados para a reciclagem para evitar danos à saúde humana e ao meio ambiente, o que acaba incorporando altos custos ao processo. Desta forma, os autores orientam que se evite e se dê preferência aos materiais não perigosos e inertes.

#### **Parâmetro: Combinação dos materiais**

##### ***Diversidade de materiais***

Os produtos, de uma maneira geral, podem conter mais de um tipo de material. Algumas embalagens possuem características diferenciadas para manter a qualidade do produto embalado/envasado, seja por meio da união de várias camadas de plásticos por meio do processo de coextrusão<sup>51</sup> ou por laminação<sup>52</sup> (ABIPLAST, 2016). No entanto, isto impossibilita a separação das camadas por meio da reciclagem mecânica.

Segundo a ABIPLAST (2016) para melhorar a reciclagem neste cenário deve-se incentivar o uso de produtos fabricados com apenas uma peça sem a necessidade de uso de vedante, como por exemplo as tampas de garrafas de bebidas fabricadas em PP e PE e o uso de rótulos plásticos de PE/PP. Na fabricação das

---

<sup>51</sup> É a extrusão simultânea de mais de uma matéria prima que se complementam em um produto final complexo com propriedades normalmente impossíveis de obter com uma só matéria prima (Fonte: <http://www.ibe.pt/portugues/contgrav/funcionamento.htm>)

<sup>52</sup> Trata-se de um processo que consiste em transformar um metal em lâminas através da sua passagem entre dois cilindros paralelos girando em sentidos opostos.

embalagens deve-se evitar o uso de materiais plásticos não compatíveis para reciclagem.

De acordo com Aguiar et al. (2017) os materiais compósitos – que não são intrinsecamente puros, devem ser evitados. Orientam ainda que se dê preferência aos materiais que não necessitam de revestimento, ou, se não for possível, selecionar um tipo de revestimento que minimize a corrosão de modo a não interferir na capacidade de reciclagem do material. Segundo os autores é preferível evitar laminados não compatíveis ou que não podem ser separados durante a reciclagem. Ainda que exista procedimentos específicos para a separação de produtos laminados, são caros e refletem no aumento do preço do material reciclado. Se é necessária a produção de materiais laminados, o ideal seria que sejam projetados com materiais compatíveis e adesivos que possam ser separados com maior facilidade.

Aguiar et al. (2017) acrescentam que deve-se evitar peças passíveis de corrosão durante o uso. Se não for possível, orienta-se usar revestimentos que minimizem esta corrosão, como por exemplo revestimento de fosfato e oleosos. Ainda que com altos custos, a utilização de melhores revestimentos é justificável do ponto de vista da facilidade de reciclagem.

Santos, Agnelli e Manrich (2004) também destacam que uma contribuição importante ao aumento do potencial de reciclagem que a cadeia produtiva pode promover é o uso de embalagens plásticas com menor número de resinas diferentes, o projeto de produtos que facilitem a separação de componentes das embalagens com resinas diferenciadas, evitando na medida do possível o uso de embalagens multicamadas, adesivos, aditivos e rótulos nas embalagens (SANTOS, AGNELI e MANRICH, 2004).

Deste modo, é essencial reprojeter os produtos e o seu processo produtivo para serem mais facilmente reutilizados e reciclados. Os produtos que evitam a união de materiais muito diferentes entre si reduzem a necessidade de desmontagem, por isso é interessante que as partes do produto sejam desenvolvidas do mesmo material. Quanto menor a variedade de materiais, melhores as possibilidades de reciclagem.

Quando possível, é preferível o uso de fixadores do mesmo material da peça a ser fixada, caso contrário, é orientado que se opte por materiais compatíveis.

### **Quantidade de camadas**

As embalagens podem ser desenvolvidas a partir de um único material ou de uma mistura de materiais. Segundo a ABRE, as embalagens mistas são embalagens que combinam dois ou mais materiais e materiais reciclados, tais como plástico com metal; metal com madeira; plástico com vidro; vidro com metal; madeira com papel. A vantagem deste tipo de embalagem é a união das propriedades dos materiais que aumentam a proteção dos produtos no transporte além de atrair os consumidores<sup>53</sup>.

Existem também as embalagens multicamadas que combinam diferentes materiais, como no caso de alumínio e papel, ou papel e papelão. Um exemplo de embalagens multicamadas é a caixa *tetrapak*, que possui camadas de polietileno, alumínio e papel cartão (Figura 11).

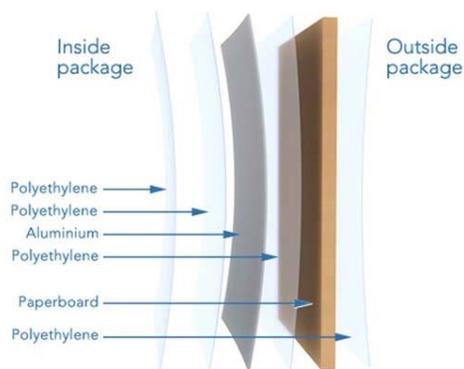


Figura 15 – Camadas da embalagem *tetrapack*  
 Fonte: <http://www.tetrapak.com/br/packaging/materials>

As embalagens laminadas são formadas pela sobreposição de materiais como filme plástico metalizado acrescido de um adesivo e um filme plástico. Exemplos

<sup>53</sup> Disponível em: <http://www.abre.org.br/setor/apresentacao-do-setor/a-embalagem/tipos-de-embalagens/>

desse tipo de embalagem são as metalizadas, como as dos salgadinhos, biscoitos, cafés, etc.

No entanto, a mistura de materiais pode dificultar o processo de reciclagem das embalagens. Para Peters et al. (2012), é preciso minimizar a diversidade de materiais. Uma das estratégias para alcançar essa diretriz é desenvolver embalagens monocamadas ao invés de embalagens mistas e multicamadas. Não orientam o desenvolvimento de blendas poliméricas.

Segundo Canevarolo (2002), blendas são uma mistura física de dois ou mais polímeros, sem reação química intencional entre os componentes. As blendas são projetadas para a obtenção de um produto final com uma boa relação custo/eficiência do material, pois resultam em um material de baixíssimo custo. Segundo os autores, a maioria das blendas não pode ser separadas de volta em seus polímeros base. Por este motivo, orientam utilizar materiais puros que são extremamente recicláveis, ao invés das blendas poliméricas.

### ***Compatibilidade de materiais***

A combinação de materiais influencia diretamente o processo de reciclagem, especialmente durante a fase de separação do material (PETERS et al., 2012; SAKUNDARINI et al, 2014; ABIPLAST, 2016; AGUIAR et al., 2017). É possível perceber que salvo raras exceções, materiais iguais apresentam maior probabilidade de serem compatíveis entre si.

Sakundarini et al. (2014) afirmam que a redução do número de partes e componentes, embalagens e materiais incompatíveis entre si facilita o desmonte, a reparação, a reutilização e a reciclagem e permitem um aumento do potencial de reciclagem, uma vez que não complica o processo de separação. Ou seja, quanto menor a combinação de materiais, maior é o potencial de reciclagem, uma vez que não complica o processo de separação. E quanto maior a diversidade de resinas ou materiais, mais difícil é sua reciclagem mecânica, pois os custos da reciclagem de materiais misturados e embalagens compósitas são maiores.

Um estudo do Centro de Tecnologia de Embalagem (CETEA) encomendado pela Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST) sobre as opções tecnológicas de reciclagem de plásticos pós-consumo no Brasil identificou que algumas misturas de plásticos diferentes na mesma embalagem ou produto podem facilitar ou dificultar sua reciclagem (ABIPLAST, 2016), conforme visto na Tabela 27.

Tabela 26 – Compatibilidade de materiais plásticos em embalagens de alimentos

Corpo	Tampa/Rótulo								
	PEAD	PE	PP	PET	PS/EPS	PEAD-PEBD	PET/PE	Papel	Termosselado
PET, PET branca	1		1	1		1		2	
PP			1					2	1
PEAD, PEAD-PEBD, PP	1		1					2	1
PEBD-PELDB, PEBD, PEBD-PEAD								2	
PE, PELDB								2	
PS/EPS					1			2	
PP	1	1	1					2	1
PET	1	1	1					2	
BOPP								2	

1: Compatível; 2: Parcialmente compatível

Fonte: ABIPLAST (2016)

Já a compatibilidade de materiais metálicos é apresentada na Tabela 28 a seguir.

Tabela 27 – Compatibilidade de materiais metálicos

Metais	Elementos inaceitáveis	Elementos que reduzem as características
Ferro	Be, Hg, PCB <sup>54</sup>	Cu, Zn, Sn
Alumínio		Cu, Fe, Zn
Cobre		As, Sb, Ni, Bi, Al

Fonte: Vezzoli e Manzini (2011)

Aguiar et al. (2017) propuseram o índice Compatibilidade de Material que se refere à possibilidade de combinar dois ou mais materiais. A compatibilidade permite que o processamento de diferentes materiais ocorra por meio de uma mesma

<sup>54</sup> PCB significa *Printed circuit board*, traduzido para placa de circuito impresso.

tecnologia de processamento. A alta compatibilidade entre os materiais a reciclagem é facilitada à medida em que o produto não precisa desmontado.

Segundo Peters et al. (2012) o cenário ideal é aquele no qual as partes são feitas de um único tipo de material e o pior cenário é aquele em que partes são compostos de materiais totalmente incompatíveis. Materiais compatíveis entre si são os que podem ser reciclados juntamente com algum ganho em suas propriedades. Materiais de baixa compatibilidade são combinações de materiais que, quando reciclados juntos, acabam perdendo suas propriedades.

#### **Parâmetro: Tipo de união dos materiais**

Para Aguiar et al. (2017), durante o desenvolvimento de um produto deve-se considerar a união dos diferentes materiais de forma que possam ser separados, evitando o uso de soldagem, colantes e adesivos. Sakundarini et al., 2014 corrobora a dificuldade ou impossibilidade de desmontagem dos materiais em produtos cuja união dos materiais e componentes é feita por meio de adesivos, revestimento, pintura ou colagem. Já quando a união acontece com soldagem, podem haver processos de separação mecânica. Em casos de junção por meio de parafusos, rebites, a separação pode ser manual e os materiais facilmente reciclado, pois possuem um maior grau de libertação em comparação à soldagem e à ligação adesiva, e portanto é mais fácil e mais barato de desmontar e reciclar.

Aguiar et al. (2017) propõem índices para subsidiar uma análise da reciclabilidade dos materiais especificamente sob a abordagem da facilidade de desmontagem. O primeiro é o índice Quantidades de Fixadores que considera a desmontagem ideal do produto como sendo aquela que utiliza uma única e robusta articulação, contendo muitas peças que se soltam quando a junção é desfeita. Assim, a facilidade de desmontagem é inversamente proporcional ao número de fixadores necessários para unir as peças do produto entre si.

Ainda segundo Aguiar et al. (2017) a facilidade de execução da desmontagem pode ser avaliada com o índice Tipo de Fixadores. É mensurado a partir

do tempo de desmontagem de todos os parafusos, da força para desmontagem por meio de um dinamômetro, das ferramentas necessárias considerando a desmontagem manual e da viabilidade de reutilização de peças após desmontagem por uma análise visual da condição final da peça. Já o índice Quantidade de Tipos de Fixadores diz respeito à quantidade e diversidade de tipos de fixadores utilizados no produto.

O índice Acessibilidade mede a facilidade para desmontar uma peça à mão ou com o uso de ferramenta. A acessibilidade às partes do produto é um pré-requisito para uma desmontagem rápida e eficiente. Os autores observam que o ideal é a utilização do menor número possível de tipos diferentes de fixadores e preferir fechos e fixadores facilmente desmontáveis com o número mínimo de ferramentas após o uso. A escolha por revestimentos que minimizem a corrosão dos prendedores evitando problemas para a remoção rápida de peças também é aconselhável.

Tabela 28 – Reciclabilidade dos materiais em função do tipo de união

	Velcro	Encaixe	Cola	Fita adesiva	Fio metálico	Parafuso	Porca e parafuso	Tacha	Etiqueta de nylon	Fecho/Fivela	Acessório magnético	Prego	Anel	Rebite
Tempo médio para desmonte <sup>55</sup>	1	1	2	1	2	2	2	3	1	1	1	2	1	4
Quantidade de ferramentas <sup>56</sup>	1	1	3	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	4
Força para desmonte <sup>57</sup>	3	1	4	1	2	1	1	4	3	2	3	1	1	4
Degradação no desmonte <sup>58</sup>	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3

Verde: alto potencial de reciclagem; Amarelo: médio potencial de reciclagem; Laranja: baixo potencial de reciclagem; Vermelho: sem potencial de reciclagem.

Fonte: Aguiar et al. (2017)

### Parâmetro: Processo de fabricação

Segundo Hubbe (2010), os processos de fabricação dos produtos podem influenciar nas características físico-químicas e nas condições do potencial de reciclagem dos materiais. Ao desenvolver uma pesquisa sobre o aumento da

<sup>55</sup> 1: 0-13s; 2: 13,1-26s; 3: 26,1-40s; 4: >40s

<sup>56</sup> 1: sem ferramenta; 2: uma ferramenta; 3: duas ferramentas; 4: mais de três ferramentas

<sup>57</sup> 1: 0-12N; 2: 12,1-25N; 3: 25,1-47N; 4: >47N

<sup>58</sup> 1: não degrada e não gera resíduo; 2: não degrada, mas gera resíduo; 3: degrada, mas não gera resíduo; 4: degrada e gera resíduo.

reciclabilidade dos papéis, o autor confirmou que ao realizar certos procedimentos durante a sua produção ocasionaram mudanças na sua propriedade, facilitando sua reciclagem. No caso do papel, uma pré-extração e um refino mais cautelosos ou ainda evitar a secagem excessiva do material podem aumentar sua reciclabilidade.

### **Massa de materiais**

Os materiais possuem diferentes massas entre si. Sendo assim, materiais que possuem uma menor massa em relação a outros necessitam de maior quantidade para igualar a mesma massa de outro tipo de material. Materiais leves precisam de um maior estoque para atingir uma massa comercializável e a preços melhores.

No momento da reciclagem, a massa dos materiais que chega à indústria ocasiona impactos específicos. Quanto maior o fluxo de massa de matéria ao longo da cadeia produtiva, maiores os custos logísticos e a preocupação com a sua condição durante a produção, o armazenamento e a distribuição. Além disso, a massa de materiais determina o tipo e a necessidade de embalagem durante o armazenamento e distribuição para manutenção da estabilidade dos produtos. Após o momento em que viram materiais pós-consumo, também fazem a diferença, no entanto agora como massa de resíduos.

### **Volume de materiais**

O volume dos materiais produzidos vai determinar o espaço necessário para armazenamento e distribuição, além do tipo de embalagem. A produção de um grande volume de materiais, tal como materiais de grandes volumes interferem nos fluxos dos materiais em função dos custos logísticos. Além disso, o volume dos materiais está diretamente relacionado com a massa de resíduos a ser triada, comercializada e reciclada.

Materiais que ocupam muito volume e possuem a massa leve, como no caso do isopor, por exemplo, podem não ser viáveis economicamente, pois necessitam de muito espaço para armazenagem e transporte durante a comercialização, aumentando

os custos logísticos e operacionais. Por outro lado, materiais que ocupam menor volume e possuem maior massa são mais atrativos no momento da venda.

## APÊNDICE II – ANÁLISE: ATRIBUTOS DE USO DOS MATERIAIS

### **Parâmetro: Local de uso**

O potencial de reciclagem dos materiais também está relacionado aos locais em que os produtos são fabricados e consumidos, pois determinam o trajeto da coleta dos resíduos e o transporte às Centrais de Triagem. Neste sentido, Demajorovic, Besen e Rathsam (2006) afirmam que localidades de consumo mais distantes dos pólos industriais proporcionam uma elevação significativa nos custos com a coleta e transporte e conseqüentemente no processo de logística reversa e reciclagem como um todo. Além disso, De Brito e Dekker (2002) acrescentam que quanto mais locais de uso, mais difícil a coleta e maiores são os custos com a coleta e o transporte.

Os locais de uso dos produtos interferem nos custos logísticos para o encaminhamento dos mesmos à manutenção, que faz com que, na maioria das vezes, os reparos tendem a ser caros. Isto interfere diretamente na quantidade de produtos a serem encaminhados para a reciclagem, pois quanto não possuem viabilidade econômica de manutenção, acabam sendo destinados diretamente para a reciclagem.

Desta forma, pode não ser atrativa a reciclagem de determinados materiais do ponto de vista da viabilidade econômica dependendo do local em que se encontram os materiais após o consumo. Campani (2016) explica que um mesmo material pode ser considerado resíduo numa determinada localidade e rejeito em outra localidade. No sudeste e sul do Brasil há parques industriais na área da reciclagem bem maiores que nas demais regiões, o que pode determinar a inviabilidade de reciclagem de determinados materiais nessas regiões.

Vezzoli e Manzini (2011) observam que o desenvolvimento de produtos pode contribuir neste sentido de modo que a substituição de partes seja facilitada próximo ou no próprio local de uso é uma das indicações para facilitar a manutenção dos produtos.

**Parâmetro: Modo de uso**

Segundo Vezzoli e Manzini (2011), a vida útil dos produtos varia de acordo com o produto e conforme a previsão de sua vida na etapa de concepção e durante sua fabricação, armazenagem, modo de uso, no tempo de duração das operações ou no tempo de prateleira.

Os autores afirmam que produtos usados com mais intensidade proporcionam uma redução no descarte e na geração de resíduos. O uso mais intenso dos produtos, por um lado pode levar a uma maior degradação de materiais e conseqüentemente a alterações de algumas de suas propriedades e estabilidade, reduzindo o tempo de vida do produto, mas por outro lado pode levar a um aumento do tempo efetivo do uso do produto em função do envelhecimento e não por degradação.

Neste sentido, algumas estratégias para otimizar a vida dos produtos referem-se à fabricação de produtos com aumento de durabilidade dos produtos e seus componentes e à intensificação do uso dos mesmos. Produtos que possuem baixa durabilidade não só geram resíduos mais rapidamente, como também necessitam ser reparados ou substituídos com mais frequência. Outra observação é a necessidade de se projetar produtos para serem utilizados com maior intensidade e maior durabilidade, sem deteriorarem e alterarem seu potencial de reciclabilidade.

**Parâmetro: Deterioração dos materiais**

Embora a deterioração possa ser determinada já na fase de projeto, o modo de utilização dos produtos pode antecipá-la. Para Vezzoli e Manzini (2011) a degradação das propriedades dos materiais pode ser causada pelo seu uso intensivo, por causas naturais, químicas, por uso indevido dos produtos ou ainda pela obsolescência tecnológica, cultural ou estética<sup>59</sup>.

---

<sup>59</sup> Refere-se a produtos sujeitos a um rápido envelhecimento, perda de função ou substituição de novos produtos em função do alto índice de evolução na inovação tecnológica, cultura ou estética.

O uso dos produtos pode causar deteriorações em maiores ou menores graus, como rachaduras, ferrugem, estragos e/ou quebras no produto ou nas peças que o compõem. A deterioração diz respeito também às condições de reparabilidade, ou seja, o quão facilmente um produto pode ser reparado ou melhorado. Podem ser determinadas também a homogeneidade da deterioração, na qual há o envelhecimento do produto por igual ou em partes. Muitos produtos são projetados em função da deterioração econômica, que são rapidamente substituídos devido a novas versões do produto no mercado, caracterizando a obsolescência programada dos produtos. Durante o processo de manutenção, é fundamental que sejam mantidos a estrutura e estabilidade dos materiais, não deteriorando-os. Se deteriorados, podem perder suas propriedades físicas e interferir na qualidade final do material reciclado, gerando um insumo de baixo valor e qualidade.

Alguns tipos de materiais deteriorados podem não ser comercializados ou quando o são, possuem preços muito baixos, como é o caso dos cacos de vidro. Alguns procedimentos que deterioram os materiais nessa etapa devem ser evitados afim de conservar as condições dos mesmos.

### APÊNDICE III – ANÁLISE: ATRIBUTOS MECÂNICOS

#### Parâmetro: Desmonte de produtos

Os produtos podem ser compostos de vários tipos de materiais diferentes, que possuem diferentes valores relacionados aos tipos de materiais e grau de pureza mediante a indústria recicladora. A desmontagem das peças e componentes dos produtos contribui para agregar valor aos materiais perante a indústria.

Para Vezzoli e Manzini (2011), em produtos que não foram projetados sob a ótica do Projetar para o Desmonte, os custos da desmontagem deve ser cuidadosamente analisado, pois alguns produtos acaba não sendo viável economicamente realizar a desmontagem. Neste caso, até mesmo materiais considerados recicláveis, se o seu desmonte em grande escala não for viável do ponto de vista econômico, acabam se tornando rejeitos.

Vezzoli e Manzini (2011) consideram a estratégia de Projetar para o Desmonte fundamental no processo da reciclagem dos materiais, de modo que o fato de conceber e projetar produtos facilitando sua desmontagem significa tornar ágil e economicamente viável a separação das partes e componentes que formam o produto. Uma fácil separação dos materiais implica também na facilidade de manutenção, reparação e na reciclagem dos produtos. Nesta etapa, os *designers* têm um papel fundamental. Uma das linhas norteadoras do Projetar para o Desmonte visa a eficácia na montagem e na desmontagem do produto. Aguiar et al. (2017) afirmam que o produto deve ser planejado de tal forma a evitar a complexidade de desmonte dos materiais e das peças. Desse modo, desde a etapa de desenvolvimento do produto é importante que seja desenvolvido também um procedimento de desmonte não destrutivo dos produtos após o consumo e que não seja demorado, de modo a facilitar e baratear o processo. Sugerem que o produto deve ser projetado para uma desmontagem rápida e simples que utilize a menor quantidade possível de ferramentas.

De acordo com Vezzoli e Manzini (2011), projetar produtos para serem facilmente desmontados pode reduzir os custos de manutenção, reparo, atualização,

reutilização e reciclagem. Se os produtos são desmontados para serem reciclados, a equação econômica deve ter presente as variáveis dos preços dos materiais virgens e dos custos com sua destinação. Estes custos de destinação final, quando internalizados, significa que, tanto os produtores quanto os consumidores vão pagar não só pelo produto, mas também pela sua destinação final.

Dependendo da escolha da junção dos materiais que compõem o produto, o desmonte é facilitado ou dificultado em função do tempo e da força necessária. Assim, é possível estabelecer uma relação direta do tipo de união dos materiais e o desmonte dos produtos. Produtos com soldagem, colantes, revestimentos, pintura são mais difíceis de serem desmontados. Já os parafusos e rebites podem ser facilmente separados manualmente, e portanto é mais fácil e mais barato de desmontar e reciclar.

A eficiência econômica no desmonte dos produtos é guiada por meio da redução do tempo das operações de reciclagem e pela valorização dos materiais recuperados. Os produtos podem ser desmontados parcial ou integralmente em termos de seus componentes. Quanto mais tempo dedicado na separação dos componentes de um produto obtém-se uma maior diversidade de materiais, de maior pureza, qualidade e conseqüentemente, maior valor. No entanto, possui um custo maior devido ao tempo maior de operação. Desde modo, é muito mais importante otimizar o tempo e o custo de desmonte visando a uma melhor qualidade e valor possíveis dos materiais separados.

De um modo geral, segundo Vezzoli e Manzini (2011), para facilitar os processos de desmontagem, é preciso seguir orientações quanto à estrutura geral do produto, a forma dos seus componentes e os tipos de junção dos produtos. Além disso, é importante fornecer informações de como proceder a desmontagem do produto.

## APÊNDICE IV – ANÁLISE: ATRIBUTOS DE QUANTIDADE DE RESÍDUOS

### Parâmetro: Massa de resíduo triada

Segundo Ribeiro et al. (2009) o aumento da quantidade de resíduos recicláveis triados encaminhados para a reciclagem é uma das premissas para a sustentabilidade da coleta seletiva. Quanto maior a quantidade de resíduos triada (massa), maior o poder de comercialização das Centrais de Triagem frente às indústrias recicladoras - a melhores os preços, maior a renda obtida e maior a contribuição ao aumento dos índices de reciclagem no país.

No entanto, Aquino et al. (2009) observou que as indústrias estabelecem algumas exigências em relação à quantidade mínima de materiais recicláveis a ser adquirida conforme demonstrado na Tabela 30. A indústria de papel, por exemplo, exige que cada carga deve possuir de 12 a 14 toneladas. Já a indústria do plástico compra no mínimo 300kg até 12 ton por carga. A indústria de alumínio não aceita cargas de materiais menores que 1 tonelada e a de vidro apenas compra vidros em cargas de no mínimo 50t/m. A indústria do ferro exige uma quantidade de 10 toneladas por carga.

Tabela 29 – Exigências sobre a quantidade mínima de material fornecida

Indústria de papel	Indústria de plástico	Indústria de alumínio	Indústria de vidro	Indústria de material ferroso
12 a 14 toneladas por carga	300 a 12.000 kg por carga	Uma tonelada por carga	50 t/m com perspectiva de aumento	10 toneladas por carga

Fonte: Aquino et al. (2009)

Gonçalves (2003) e Demajorovic, Besen e Rathsam (2006) concordam entre si quando afirmam que as indústrias recicladoras, principais compradores de matéria prima reciclável, só compram materiais em grandes quantidades. Aquino et al. (2009) afirmam que essa condição só é atendida pelos grandes intermediários que possuem infraestrutura e equipamentos adequados e compram os materiais em pequenas quantidades dos catadores. Estes, por sua vez, geralmente se encontram dispersos, sem condições de negociar diretamente com a indústria e com pouco poder perante os sucateiros.

Segundo Demajorovic e Besen (2007) uma maneira de driblar os baixos índices de massa de resíduos e eliminar a figura do atravessador é a organização de catadores em redes de comercialização. Assim, as associações e cooperativas de catadores se articulam e melhoram o atendimento às exigências impostas pelas indústrias, ampliando a coleta junto a grandes geradores e aumentando a escala de venda (AQUINO et al., 2009).

Além disso, o Pagamento por Serviços Ambientais Urbanos às organizações de catadores de materiais recicláveis contribui para ganhos na produtividade ao aumentar a quantidade dos materiais que chegam às Centrais de Triagem de Resíduos Sólidos (INSEA, 2013).

#### **Parâmetro: Volume de resíduo triado**

O volume ocupado pelos resíduos sólidos varia de acordo com o tipo de material que o compõem. Existem alguns materiais que ocupam um maior volume, como por exemplo o isopor. Depois de triados, representam a ocupação de uma parcela do armazém. Quanto maior o volume de resíduos triados, maior a área requerida para seu armazenamento e transporte, o que interfere também diretamente nos custos de operação e manutenção.

No caso dos plásticos, por exemplo, que são materiais leves e ocupam menor volume, exigem um maior número de caminhões para somarem a carga a ser transportada e comercializada ao comprador. Materiais metálicos, no entanto, representam um volume não tão alto mas possuem massa maior, então do ponto de vista econômico, são mais rentáveis para comercializar.

## APÊNDICE V – ANÁLISE: ATRIBUTOS DE QUALIDADE DE RESÍDUOS

A reciclagem mecânica dos materiais envolve uma série de tratamentos e etapas de preparação a serem consideradas. A etapa de beneficiamento do material é a que prepara o material para ser comercializado e posteriormente introduzido no ambiente industrial para ser reciclado. O beneficiamento, que envolve a triagem, o enfardamento e a fragmentação dos materiais, agrega valor aos materiais para a sua comercialização a preços melhores.

### **Parâmetro: Grau de beneficiamento**

#### ***Triagem***

Para muitos autores, os gargalos da reciclagem encontram-se na fase da triagem dos materiais recicláveis (PARREIRA, OLIVEIRA e LIMA, 2009). Segundo Al-Salem, Lettieri e Baeyens (2009), esta etapa é a mais importante no processo para garantir a eficiência da reciclagem.

Soto (2001) afirma que as indústrias recicladoras apontam que um dos entraves da atividade refere-se à baixa qualidade da matéria prima que dificulta a fabricação de produtos de boa qualidade. Neste sentido, Parreira, Oliveira e Lima (2009) afirmam que a qualidade da separação dos materiais na fonte é um dos principais fatores que influenciam na produtividade da triagem.

A separação mais eficiente gera matéria-prima de boa qualidade. Uma triagem mais apurada e com uma menor quantidade de rejeitos nos materiais agrega valor aos materiais durante a comercialização (DEMAJOROVIC e BESEN, 2007). Os materiais podem ser triados mediante a classificação por resinas e cores, como por exemplo a separação de garrafas PET por cores, os papéis e plásticos separados por tipos. Quanto maior o número de materiais diferentes triados, maior o preço de comercialização, pois maior é a especificidade dos materiais e portanto maior o seu valor agregado.

A desmontagem dos produtos tem parcela significativa na eficácia na triagem dos materiais. Considerando que os materiais devem estar limpos e livre de contaminantes adquiridos de outros materiais, Vezzoli e Manzini (2011) discorrem que

os produtos devem ser projetados de modo que a sua limpeza seja facilmente realizada. Deste modo, deve-se priorizar materiais e peças fáceis de serem desmontados e removidas e evitar desenvolver produtos com acabamentos e revestimentos de difícil remoção ou facilitá-la.

Segundo a ABIVIDRO<sup>60</sup>, as vidrarias que compram cacos como matéria prima secundária exigem determinadas condições de qualidade e fornecimento dos materiais. Em função do mercado, os vidros são valorizados de acordo com a sua cor. Geralmente o vidro incolor é o que possui maior valor de mercado, seguido pelo âmbar e verde, misto e plano. A triagem manual do vidro deve ser realizada por cores quando os vidros estiverem inteiros e retiradas as impurezas. A presença de contaminantes constitui um fator de risco para a fabricação de novos produtos, atrapalhando o processo, danificando equipamentos e produzindo embalagens com defeitos e com impurezas. Já o beneficiamento semiautomatizado abrange lavagem, trituração, separação manual dos contaminantes e estocagem. No processo automatizado a etapa de separação é automatizada e não mais manual e há uma demanda grandes investimentos.

### ***Enfardamento***

O beneficiamento dos materiais também contribui para facilitar o armazenamento nas centrais de triagem de resíduos sólidos e o transporte dos mesmos até a indústria. Materiais enfardados ocupam um menor volume e conseqüentemente necessitam de menos espaço de armazenagem, assim como durante seu transporte, que também implica em uma redução de custos pois consegue-se aproveitar melhor o espaço nos veículos transportadores até as indústrias recicladoras. Além disso, o beneficiamento dos materiais pode ser uma exigência de algumas indústrias que estabelecem condições aos materiais, conforme visto na Tabela 31.

---

<sup>60</sup> Disponível em: [http://abividro.org.br/manual\\_abividro.pdf](http://abividro.org.br/manual_abividro.pdf)

Tabela 30 – Exigências da indústria quanto ao enfiamento de materiais

Indústria de papel	Indústria de plástico	Indústria de alumínio	Indústria de vidro	Indústria de material ferroso
Não específica	Peso máximo de 250 kg	Conforme a Classificação do tipo de alumínio	Não há possibilidade de enfiamento	Sem especificação

Fonte: Aquino et al. (2009)

Segundo Aquino et al. (2009) a diversificação das atividades por meio do beneficiamento dos materiais recicláveis e a comercialização dos materiais a melhores preços diretamente com a indústria recicladora trazem um retorno econômico significativo às cooperativas e associações de catadores.

### ***Fragmentação***

Al-Salem, Lettieri e Baeyens (2009) observam que as indústrias recicladoras adotam medidas para reduzir os altos custos e consumo de energia ocasionados pela reciclagem. O primeiro passo do processo da reciclagem mecânica industrial trata-se de reduzir o tamanho dos materiais em flocos ou pó, alcançados por processos de moagem, fragmentação ou trituração.

De acordo com os autores a moagem pode ser utilizada ainda para remover revestimentos e melhorar o processo de libertação e impedir que os materiais de revestimento sejam incorporados nos grânulos de plástico. A remoção da tinta sobre os materiais é um desafio enfrentado pelos recicladores, especialmente no caso dos plásticos, pois além de ser difícil de retirar, as propriedades dos plásticos reciclados podem ser comprometidas devido à concentração de tensão criada por esses materiais.

### **Parâmetro: Integridade dos resíduos**

Segundo Migliano (2012) produtos cuja integridade original não foi violada durante as etapas da cadeia produtiva, não apresentam riscos para as fases iniciais de tratamento de coleta, transporte, triagem, classificação, desmontagem e da reciclagem em si.

Alguns tipos de materiais possuem um maior potencial de reciclagem se estiverem íntegros, como por exemplo o caso do vidro. Quando comercializado em garrafas possui um valor, porém quando quebrados em cacos, seu valor de venda é reduzido.

### Parâmetro: Taxa de rejeitos

Calderoni (1999) atentou para o fato de que ainda que os materiais sejam recicláveis, a presença de impurezas limita a reciclabilidade do plástico. O grau de contaminação presente nestes materiais plásticos onera a sua utilização em novos produtos (CALDERONI, 1999).

Segundo Aquino et al. (2009), as indústrias recicladoras impõem algumas exigências aos fornecedores para a compra de materiais quanto à qualidade dos materiais (Tabela 32).

Tabela 31 – Exigências da indústria quanto à qualidade do material

Indústria de papel	Indústria de plástico	Indústria de alumínio	Indústria de vidro	Indústria de ferro
Teor de umidade: 10 – 15%				
Teor de impurezas: 0,5 - 5%	1 a 5% de impurezas	Especificações da classificação de sucata de alumínio da ABAL	Vidro em cacos e com 20% de impureza no máximo	Permite impurezas intrínsecas aos materiais ferrosos
Teor de materiais proibitivos: 0,5 – 1%				

Fonte: Aquino et al. (2009)

A separação dos resíduos recicláveis dos rejeitos, quando realizada na fonte, torna mais fácil a recuperação dos materiais na etapa de triagem pelas associações e cooperativas de catadores de materiais recicláveis. Varella e Lima (2011) e Demajorovic, Besen e Rathsam (2006) afirmam que uma separação mais eficiente garante uma matéria prima de boa qualidade.

Este trabalho entende que a taxa de rejeitos nos materiais recicláveis é um parâmetro que não pode ser atribuído somente à etapa de triagem dos mesmos, mas também aos consumidores e fabricantes. Quanto maior a taxa de rejeitos nos recicláveis ou sua contaminação com restos de alimentos ou líquidos, menor é a

qualidade do material, menor é o seu potencial de triagem, menor é seu valor de comercialização e menor o potencial reciclabilidade.

Almeida e Zaneti (2008) corroboram ao afirmar que o estado dos resíduos que são encaminhados às centrais de triagem é uma das condicionantes do seu preço de venda. De acordo com Aguiar et al. (2017) que estabeleceram o índice Contaminação no Final de Vida para representar o grau de contaminação dos materiais durante as diversas etapas da cadeia produtiva, a contaminação é proporcional à viabilidade da reciclagem dos materiais.

Para Aquino et al. (2009) quando articuladas em redes, as organizações de catadores conseguem atender à exigência imposta pelas indústrias quanto à qualidade do material a ser comercializado.

## APÊNDICE VI – ANÁLISE: ATRIBUTOS ECONÔMICOS

### Parâmetro: Custo

Segundo McDougall et al. (2001), os custos ambientais e sociais de disposição de resíduos historicamente foram tratados como custos externos. Ao longo do tempo, os custos relacionados ao controle de emissões passaram a ser internalizados nos custos de disposição. Os custos em todo o processo de reciclagem se iniciam com a coleta seletiva. Neste sentido, o INSEA (2013) afirma que a composição dos custos nessa etapa varia de acordo com a organização dos serviços de coleta seletiva em cada município. Para a ABRELPE (2015), a atividade da reciclagem não representa uma atividade de baixo custo. O custo do beneficiamento da maioria dos materiais recicláveis ainda é considerado elevado em relação ao custo de matéria-prima virgem.

Segundo Schwartz Filho (2006) apud Ferri, Chaves e Ribeiro (2015) os custos fixos de instalação (investimento) referem-se ao terreno, instalações físicas, máquinas e equipamentos e treinamentos do pessoal. Aquino et al. (2009) acrescentam os custos de produção, como aluguel, Equipamentos de proteção individual (EPIs) e coletivo, energia elétrica, água, combustível, manutenções, coleta e transporte de materiais, os salários aos trabalhadores e a seguridade social. Alguns custos de instalação e operação de centrais de beneficiamento em função da faixa populacional e para instalação de Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) de acordo com a ABRELPE (2015) são vistos a seguir nas Tabelas 33 e 34.

Tabela 32 – Custos de instalação e operação de centrais de beneficiamento

População	Custos de instalação (R\$/ton)	Custos de operação (R\$/ton)
30 a 100 mil	R\$ 71,50	R\$ 794,70
100 mil a 2,5 milhões	R\$ 36,00	R\$ 596,80
Acima de 2,5 milhões	R\$ 25,60	R\$ 419,00

Fonte: IBAM (2012) em ABRELPE (2015)

Tabela 33 – Custos com instalação de PEVs

População	Custos de instalação (por unidade)
100 mil	R\$ 80.000,00

Fonte: IBAM (2012) em ABRELPE (2015)

Além destes custos, Aquino et al. (2009) observam que as Centrais de Triagem que comercializam resíduos recicláveis, em alguns casos, ainda possuem os custos com o transporte dos materiais até às indústrias, quando estas exigem a responsabilidade (Tabela 35), o que interfere nos custos logísticos na infraestrutura da reciclagem.

Tabela 34 – Exigência quanto à responsabilidade sobre o transporte

Indústria de papel	Indústria de plástico	Indústria de alumínio	Indústria de vidro	Indústria de material ferroso
Variável: fornecedor ou recicladora	Variável: fornecedor ou recicladora	Fornecedor	Fornecedor	Geralmente o fornecedor

Fonte: Aquino et al. (2009)

Para Cassiolato (1999) apud Almeida e Zaneti (2008) o tempo e o espaço físico influenciam no custo e valor de todos os bens e serviços produzidos e comercializados. Deste modo, Lakhani (2015) afirma que os custos, benefícios e o suporte para reciclagem variam em função do local e da situação de fatores específicos que conduzem os custos da reciclagem em qualquer área. Segundo Gonçalves (2003) a cadeia da reciclagem seria otimizada e os seus custos reduzidos se todas as etapas estivessem concentradas em uma mesma região, evitando-se o transporte do material a longas distâncias para ser processado industrialmente a partir da instalação de pólos de reciclagem. O custo das atividades que precedem a reciclagem de resíduos varia conforme o território em que a cadeia da reciclagem está inserida.

Os requisitos regulamentares e a presença de legislação de responsabilidade estendida do produtor são alguns dos fatores que afetam os custos de reciclagem. O grau de contaminação e o nível de integridade decorrentes da armazenagem e do transporte também influenciam nos custos da produção industrial (VARELLA e LIMA, 2011).

#### **Parâmetro: Preço dos materiais**

Para Stiglitz e Walsh (2003) apud Almeida e Zaneti (2008), os preços de um determinado bem ou serviço são resultado das forças da demanda e da oferta, baseadas na quantidade de um bem ou serviço que o consumidor está disposto a

comprar a um determinado preço e no quanto de um determinado bem ou serviço os produtores estão dispostos a ofertar, a diferentes níveis de preços e considerando um conjunto de condições.

Calderoni (1999) observa que as indústrias recicladoras possuem um elevado poder de mercado na determinação do preço dos materiais recicláveis. Operam na forma de oligopólio e oligopsônio, em uma estrutura de mercado caracterizada por haver um pequeno grupo de compradores para produtos de vários vendedores. Assim, o preço dos materiais, na maioria das vezes, é estabelecido pela indústria, que ainda impõem condicionantes ao estado do material.

De acordo com Almeida de Zaneti (2008), alguns fatores externos como o estado, grau de beneficiamento, grau de contaminação e o nível de integridade em que os resíduos chegam à indústria, assim como o custo para armazenamento e transporte, podem interferir no preço dos materiais, elevando ou reduzindo os custos na produção industrial. Outros fatores que fazem com o preço dos materiais oscilem, especificamente no caso dos plásticos, são a cotação do dólar e do barril de petróleo.

A variação da produção de recicláveis ao longo do ano gera instabilidade nos preços de venda dos recicláveis ao longo do ano (RUTKOWSKI, 2014). O CEMPRE apresenta uma tabela com os preços de venda dos materiais (Tabela 36), na qual é possível verificar que os valores dos materiais diferem-se de acordo com o estado e município. Percebe-se ainda que o mercado estabelece os preços de acordo com o nível de beneficiamento dos materiais. Neste caso, estes valores são determinados para materiais limpos e prensados.

Tabela 35 – Preços dos materiais recicláveis (por tonelada)

	Papelão	Papel Branco	Latas de Aço	Alumínio	Vidro Incolor	Vidro Colorido	Plástico Rígido	PET	Plástico Filme	Longa Vida
<b>MG</b>										
<b>Itabira</b>	480 PL	680 PL	220 PL	3800 P	215 L	-	1455 P	1780 P	1700	380 PL
<b>Belo Horizonte</b>	430 PL	630 PL	300 L	3400 P	70 L		1400 P	1700 P	1500 P	200 PL
<b>Lavras</b>	410 PL	450 PL	150 PL	2700 P	180 P		1400 P	1400 P	1150 P	200 PL

RN									
<b>Natal</b>	250 PL	250 PL	250 PL	3300 P	100 PL	1000 P	1000 P	600 P	170 PL
BA									
<b>Feira De Santana</b>	300 PL	500 PL	140 PL	2800 P	50 PL	800 PL	1000 P	1500 P	320 PL
MT									
<b>Cuiabá</b>	200 PL	200 L	150 P	3400 P		600 PL	1000 P	1300 P	
RJ									
<b>Rio de Janeiro</b>	270 PL	300 P	170 L	3500 P		1200 P	1400 P	1300 P	200 P
SP									
<b>Araraquara</b>	250 PL	200 L	160 P	2500 P	70 P	1000 P	1000 P	500 P	200 PL

P: prensado; L: limpo;

Fonte: CEMPRE

Para Gonçalves (2003) o comércio de recicláveis tem características fortes que dificultam a coleta seletiva, pois exigem quantidade, qualidade, frequência e forma de pagamento. Assim, se as cooperativas não alcançarem estes critérios impostos pelo mercado, vendem aos intermediários que pagam menos pelo material.

Almeida e Zaneti (2008) afirmam que há um pequeno grupo de empresas compradoras e um grande número de vendedores, configurando um mercado é oligopsônico. Assim, como não há concorrência os produtos triados são vendidos pelo preço que o mercado quiser pagar. Rutkowski, Varella e Campos (2014) também observam que os valores de venda dos materiais são definidos pelos poucos compradores. Os preços são estabelecidos de acordo com os valores da matéria prima virgem, mas pode variar ao longo do ano e com a qualidade.

Para Calderoni (2003) e Rutkowski, Varella e Campos (2014) a ausência de mercado é a razão pela qual alguns materiais recicláveis não são reciclados, pois o preço de venda não cobre os custos de coleta, transporte e processamento envolvidos. Rutkowski, Varella e Campos (2014) afirmam que, em determinadas regiões do país não há demanda de alguns tipos de resíduos, pois não possuem indústrias recicladoras locais ou porque situam-se distantes, inviabilizando economicamente seu transporte.

**Parâmetro: Poder de comercialização**

Os integrantes da cadeia de reciclagem que menos se beneficiam com a atividade da reciclagem são os catadores de materiais recicláveis, pois são poucas as indústrias compradoras de materiais recicláveis, o que proporciona um mercado com poucos compradores que determinam o preço dos recicláveis. Além disso, as indústrias estabelecem requisitos para o estado dos materiais (GONÇALVES, 2003) e possuem um enorme poder de mercado como observa Calderoni (1999). Essas condições normalmente são satisfeitas pelos intermediários que possuem infraestrutura e equipamentos adequados e compram os materiais em pequenas quantidades dos catadores.

Demajorovic, Besen e Rathsam (2006) observam que um aumento do poder de negociação na comercialização do material ocorre quando a separação dos resíduos é mais eficiente, gerando matéria prima de boa qualidade que, somada à estrutura de armazenamento disponível, possibilita estocar maiores quantidades de recicláveis.

No entanto, a negociação realizada via uma rede de comercialização seria a solução para obterem melhores preços devido ao maior poder de negociação (AQUINO, CASTILHO e PIRES, 2009). Para os autores, o ideal é a organização dos catadores em associações ou cooperativas, pois contribui para ampliar a comercialização dos materiais recicláveis e a preços melhores. Assim obtêm recursos para aquisição de equipamentos, construção de centrais de triagem de resíduos sólidos, cursos de capacitação e formação, melhorias nas condições sanitárias e de trabalho e o fortalecimento das redes de comercialização.

Quando as organizações de catadores atuam de forma isolada, nem todas têm potencial para realizar a comercialização direta dos materiais diretamente à indústria, porém ao atuarem em rede, podem obter um aumento da venda dos materiais e conseqüentemente na renda dos catadores.

**Parâmetro: Frequência de comercialização**

Segundo Soto (2001), a indústria recicladora aponta que a instabilidade no fornecimento de materiais recicláveis representa um entrave à atividade da reciclagem. Sendo assim, Aquino et al. (2009) observa que no momento da compra de materiais recicláveis das centrais de triagem de resíduos sólidos geridas por cooperativas e associações de catadores de materiais, a maioria das indústrias exigem uma frequência mensal de oferta de materiais, tais como a indústria do alumínio, do vidro e de material ferroso (AQUINO et al., 2009). Demajorovic, Besen e Rathsam (2006) afirmam que a instabilidade no fornecimento de recicláveis prejudica a oferta contínua de matéria prima. Com a parceria entre prefeitura e catadores, é possível contornar esse entrave na medida em que a coleta seletiva realizada pela prefeitura garante o fornecimento contínuo de materiais recicláveis para os catadores.

Segundo o INSEA (2013), a remuneração pelos serviços ambientais e urbanos - por meio do PSAU, às organizações de catadores de materiais recicláveis é uma das condições para que a atividade da coleta seletiva seja eficiente. Os recursos mantêm financeiramente a atividade e garantem certa frequência na oferta de materiais à indústria. De acordo com Aquino et al. (2009) as redes de comercialização atenderiam os requisitos das empresas quanto à frequência de comercialização, pois agregam grandes quantidades de materiais e garantem a oferta o ano todo.

**Parâmetro: Pagamento**

Aquino et al. (2009) afirma que as indústrias fazem algumas exigências no processo de comercialização de materiais. Segundo o autor, o comportamento das indústrias recicladoras quanto ao tempo e forma de pagamento varia de acordo com o tipo de material, como pode ser visto na Tabela 37. Geralmente, enquanto a indústria do papel chega a pagar os fornecedores dentro de um período de 30 a 60 dias, a do plástico paga em 10 a 30 dias. As indústrias de alumínio, vidro e material ferroso pagam em um período menor de tempo – a vista ou em até 15 dias, o que é vantajoso para os fornecedores.

Tabela 36 – Comportamento da indústria quanto ao tempo de pagamento

Indústria de papel	Indústria de plástico	Indústria de alumínio	Indústria de vidro	Indústria de material ferroso
Paga geralmente em 30 ou 60 dias	Paga geralmente em 10 ou 30 dias	Paga adiantado, a prazo ou à vista	Paga em 15 dias	Paga à vista

Fonte: Aquino et al. (2009)

Além disso, a maioria das indústrias (dependendo do território) exige que os fornecedores emitam nota fiscal dos materiais comercializados, como é o caso das indústrias de papel, plástico, vidro e material ferroso. As indústrias do papel, plástico e alumínio ainda exigem um determinado prazo de entrega dos materiais pelos fornecedores (AQUINO et al., 2009). Diante das exigências das indústrias quanto a emissão de notas fiscais, é fundamental que as associações e cooperativas de catadores de materiais recicláveis estejam jurídica e fiscalmente legalizadas, aptas a emissão de notas durante a comercialização de materiais.

Outra solução para atender às exigências impostas pelas indústrias relacionadas à obrigatoriedade de emissão de nota fiscal e a adequação aos prazos de pagamentos geralmente realizados pelas indústrias é a articulação das associações e cooperativas em redes de comercialização, como já visto anteriormente (AQUINO et al., 2009).

#### **Parâmetro: Incentivos tributários**

Segundo o CEMPRE, de acordo com a estrutura da cadeia de reciclagem específica de cada produto, o mecanismo de tributação do país pode fazer com que produtos reciclados tenham incidência de impostos maior que os produzidos com matéria-prima virgem<sup>61</sup>.

Os custos de fabricação de alguns produtos reciclados podem ser maiores que o custo de produção com matéria-prima virgem. Isto em função do sistema de

<sup>61</sup> Segundo o CEMPRE Informa “O peso da tributação na cadeia da reciclagem”. Disponível em: <http://cempre.org.br/informa-mais/id/48/o-peso-da-tributacao-na-cadeia-da-reciclagem>

coleta e transporte e do próprio processo industrial para dar a esses produtos condições de serem recicláveis. O Brasil hoje não possui incentivos tributários para a utilização de materiais pós-consumo.

Para Almeida e Zaneti (2008), a tributação excessiva ou a reincidência de impostos denominada de bitributação, compromete o desempenho da reciclagem de determinados materiais. Em todos os processos produtivos, seja na reciclagem ou no reaproveitamento dos resíduos, ocorre a de bitributação. Para Nepomuceno (2006), esse problema se caracteriza como uma bitributação sobre a matéria-prima que já foi objeto de arrecadação, mas em que o Estado não considera os argumentos e apelos para isentar o setor.

Segundo Santos (2016), no transcorrer das etapas do ciclo de vida do produto, diversas são as atividades econômicas tipificadas na hipótese de incidência de tributos de competência privativa da União, dos Estados e dos municípios. Os resíduos sólidos se originam de inúmeras atividades econômicas, como as das indústrias, da construção civil, do comércio, dos serviços de saúde e dos domicílios, e se não tratados adequadamente impactam negativamente o meio ambiente e a saúde humana.

Essas atividades podem ser objeto de incentivos tributários de maneira a atrelar o cumprimento de normas técnicas ao estímulo à minimização daqueles impactos pela adequada prevenção (redução na fonte, reutilização e/ou prolongamento do tempo de vida de produtos) e gestão eficiente dos resíduos (GONÇALVES e BORTOLETO, 2014).

Um projeto de lei (PL 2101/11, do ex-deputado Nelson Bornier) proposto que pretende criar incentivos fiscais para a reciclagem foi aprovado pela Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável e será analisado pelas comissões de Finanças e Tributação; e Constituição e Justiça e de Cidadania. Se aprovado, seguirá para votação no Plenário da Câmara.

De acordo com o Decreto Federal nº 7.404, Art. 34, inciso IX, que regulamenta a PNRS, compete ao Comitê Orientador para Implementação de

Sistemas de Logística Reversa, dentre outras, a promover estudos e propor medidas de desoneração tributária das cadeias produtivas sujeitas à logística reversa.

#### **Parâmetro: Viabilidade econômica**

Diversos autores se propõem a estudar a viabilidade econômica da reciclagem. Gonçalves (2003) aborda a viabilidade econômica da reciclagem especificamente a partir da atividade realizada por centrais de triagem de resíduos sólidos administradas por cooperativas ou associações de catadores de materiais recicláveis. Para ela, a viabilidade pode ser determinada em uma relação entre o que se gasta e o que se ganha com a atividade da reciclagem.

Segundo a autora, a viabilidade econômica da reciclagem deve considerar os custos de investimento inicial na aquisição de equipamentos, tais como balanças, prensas enfardadeiras, caminhões gaiola ou baú, mesas de triagem, equipamentos de proteção individual (EPIs) e coletivo de segurança, carrinhos para transporte interno, a instalação física e além disso, a formação legal da cooperativa ou associação. Há também os custos operacionais, que incluem o aluguel do galpão com as despesas de água e energia, com o combustível e a manutenção dos caminhões e os custos do rateio mensal de cada associado ou cooperado. Já a comercialização dos materiais recicláveis gera a receita das cooperativas e associações. A autora observa que o mercado exige quantidade, qualidade, frequência e forma de pagamento. Os valores da venda dos materiais podem variar também em função da sazonalidade, ou seja, em épocas do ano os materiais atingem preços melhores que em outras.

Uma das condições para que a atividade da coleta seletiva seja viável economicamente é a remuneração pelos serviços ambientais e urbanos pelo PSAU. Os recursos garantem a atividade, a quantidade, qualidade e a frequência na oferta de materiais à indústria (INSEA, 2013).

Segundo Aquino et al. (2009) os fatores a serem considerados para a determinação da viabilidade econômica também são o capital de investimento (equipamentos, infraestrutura e o terreno), os custos de produção (energia elétrica,

coleta e transporte de materiais, o custo de financiamento), a receita obtida com a venda de materiais, o repasse pela prefeitura dos custos evitados, o pagamento aos associados/cooperados e a seguridade social, conforme visto na Tabela 38.

Tabela 37 – Relação de custos e receitas em Centrais de Triagem

<b>Custos de Investimento</b>	<b>Custos Operacionais</b>	<b>Receita</b>
Formação legal da cooperativa ou associação	Aluguel do galpão	Venda dos materiais recicláveis
Instalação física	Despesas de água e energia	Pagamento da prefeitura por serviços ambientais prestados
Equipamentos	Combustível	
• Balanças	Manutenção dos caminhões	
• Prensas enfardadeiras	Rateio mensal de cada associado ou cooperado	
• Caminhões gaiola ou baú	Seguridade social	
• Mesas de triagem		
• Carrinhos transportadores		
Equipamentos de proteção individual (EPIs)		
Equipamentos coletivo de segurança		

Fonte: GONÇALVES (2003) e AQUINO et al. (2009)

Lakhan (2015) observa que a reciclabilidade e o custo de gerenciamento de materiais específicos tem um efeito significativo sobre a viabilidade econômica dos sistemas de reciclagem. Assim, materiais com valor de revenda baixo (e baixos custos de matérias-primas) podem não ser economicamente sustentáveis a longo prazo, principalmente se os custos da reciclagem também são elevados e se os materiais são difíceis de reciclar (por exemplo, plásticos laminados e embalagens compostas). Os custos da reciclagem acabam sendo maiores que o lucro esperado com novos produtos ou insumos, seja devido aos altos custos de logística envolvendo a coleta, o transporte.

A ABIVIDRO cita três fatores que podem determinar a viabilidade econômica da reciclagem do vidro, mas que podem ser considerados para todos os outros tipos de materiais: o volume de material a ser beneficiado, a distância a ser percorrida e os custos operacionais - de coleta, beneficiamento, transporte e preço dos materiais. Desse modo, mensurar a logística dos materiais é fundamental para determinar o potencial de coleta e a frequência de modo a garantir a continuidade do fluxo dos materiais.

Calderoni (1999) considera que a viabilidade econômica da reciclagem possui várias abordagens de acordo com os pontos de vistas dos diferentes atores envolvidos. O autor cita duas metodologias encontradas na literatura para determinar a viabilidade econômica da reciclagem, a partir das quais criou a sua própria metodologia. Uma das metodologias que Calderoni (1999) apresenta possui uma abordagem do ponto de vista do vendedor. Nela, a viabilidade econômica – entendida como o ganho com a reciclagem, é obtida a partir da subtração entre o montante alcançado com a comercialização dos materiais e o custo envolvido em todo o processo de coleta e separação dos mesmos. A comercialização dos materiais é instável pois o mercado apresenta grandes oscilações. O custo do processo de reciclagem envolve os custos de transporte, armazenagem, enfardamento, trituração, lavagem, além de outros tipos de beneficiamentos.

Outra metodologia que o autor apresenta é a advinda de Duston, em 1993, que considera os custos evitados com a atividade da reciclagem em relação à coleta convencional. Referem-se aos custos com a coleta, transporte, transbordo e disposição final - aterros sanitários, incineração, transporte, transbordo e disposição inadequada.

A sua proposta utiliza as duas metodologias apresentadas e ainda acrescenta os ganhos com a economia de energia e matéria prima, com a redução dos custos de controle ambiental, com o consumo de água e demais ganhos econômicos. Assim, observa-se que a viabilidade econômica para Calderoni (1999) é muito mais ampla que a comercialização dos materiais e os custos com a atividade. Esta metodologia é adotada no *software* VERDES – Viabilidade Econômica da Reciclagem de Resíduos Sólidos, criado por Magera (2012). O programa é alimentado por dados como a população do município, salário mínimo, cotação do dólar e mostra números referentes à geração de resíduos sólidos domésticos. O *software* calcula os ganhos de energia, matéria prima, água, a redução dos danos ambientais, coleta, transporte e beneficiamento.

Calderoni (1999) afirma que ainda assim, alguns fatores que podem tornar a reciclagem uma atividade viável tecnológica e economicamente: a centralidade da

cidade, suas funções como centro processador, difusor e exportado de inovações e sua escala. Segundo ele, a reciclagem se desenvolve mais em alguns territórios que outros justamente em função da escala das cidades em que está inserida.

Ao entender que a reciclagem dos materiais deve considerar todas as etapas da cadeia produtiva, este trabalho permite observar que a viabilidade econômica também deverá ser considerada em todas as etapas da cadeia, mas não apenas durante a comercialização dos resíduos ou durante o processo de transformação. Em todas as etapas vão existir fatores que poderão encarecer ou baratear as atividades, impactando financeiramente o processo como um todo.

## APÊNDICE VII – ANÁLISE: ATRIBUTOS INFRAESTRUTURAIS

### **Parâmetro: Infraestrutura da reciclagem**

Para Ribeiro et al. (2009) a existência de uma infraestrutura adequada de reciclagem é uma das premissas para a sustentabilidade da atividade. Como observam Sakundarini et al. (2014), a disponibilidade de infraestrutura é fundamental para garantir que o processo de reciclagem será realizado de forma eficaz e eficiente.

Para Demajorovic e Besen (2007), a garantia de uma infraestrutura adequada de triagem e armazenamento disponível, possibilita uma separação mais eficiente e o estoque de maiores quantidades de recicláveis, ampliando o poder de negociação na comercialização do material. Destaca-se, portanto, que a maior disponibilidade de materiais recicláveis permite que parte do material seja vendida diretamente para a indústria, eliminando a figura do intermediário e favorecendo o aumento da renda dos catadores. Estão inclusos a formalização de organizações de catadores, os equipamentos, a capacitação para o desempenho de atividades de coleta, triagem e comercialização e as condições adequadas de trabalho – higiene, segurança e saúde dos trabalhadores.

Um dos índices que Aguiar et al. (2017) estabelecem para avaliar a reciclagem é o de Infraestrutura. Consideram que além da existência de infraestrutura ideal para o processamento dos materiais, também é necessária a infraestrutura logística para coletar os materiais e entrega-los à indústria recicladora. Para os autores, o índice é diretamente proporcional à proximidade entre a infraestrutura do local de geração e coleta dos materiais e a do local de processamento. As infraestruturas locais e regionais possuem uma maior efetividade na reciclagem dos materiais. Já infraestruturas que transcendem os limites nacionais e internacionais, a reciclagem se torna mais difícil, considerando que a logística é maior. Em infraestruturas inexistentes ou desconhecidas, no entanto, não quer dizer que a reciclagem não é possível.

A reciclabilidade dos resíduos sólidos depende, em grande parte, do território em que está inserida a cadeia produtiva da reciclagem. Sendo assim,

conforme Dagnino (2004) os mecanismos que envolvem a coleta dos materiais e a dinâmica econômica devem ser considerados a partir de um enfoque geográfico.

Rutkowski, Varella e Campos (2014) afirmam que, em determinadas regiões do país não há demanda de alguns tipos de resíduos, pois não possuem indústrias recicladoras locais ou porque situam-se distantes, inviabilizando economicamente seu transporte. Segundo as autoras, a reciclagem de materiais recicláveis encontra um problema ligado, prioritariamente, aos canais de distribuição, com os principais fatores de custos e requisitos de qualidade estando diretamente associados à coleta, seleção e transporte destes materiais.

Ferri, Chaves e Ribeiro (2015) observam que a logística reversa deve possuir uma estrutura da rede de distribuição estendida para contemplar fluxo de retorno dos clientes para os locais de reparo, de condicionamento ou de destino final apropriado. Afirmam que há uma inter-relação entre a localização e a logística reversa, e portanto é necessário um modelo de localização de facilidades que considere a capacidade e custos fixos de instalação e de operação relacionados. Deste modo, propõem que a localização de Centrais de Triagem de Resíduos Sólidos deve ser adequada para minimizar os custos logísticos.

A localização deve ser em função dos locais de produção, produtos, centros de distribuição e clientes que demandam produtos. Além disso, considera a capacidade de fornecimento de cada produto em cada planta, volumes mínimo e máximo, passando pelas facilidades, custos fixos de instalação e custos variáveis, que são função das quantidades transportadas. Com isso, busca-se localizar os centros de distribuição de carga ao menor custo possível, tal que todo cliente seja atendido e que as restrições de capacidade sejam respeitadas.

Devido a estas questões, Campani (2016) considera que a discussão acerca da reciclagem possui caracteres temporais e regionais. A reciclabilidade dos resíduos sólidos depende, em grande parte, do território em que está inserida a cadeia produtiva da reciclagem. Sendo assim, conforme Dagnino (2004) os mecanismos que

envolvem a coleta dos materiais e a dinâmica econômica devem ser considerados a partir de um enfoque geográfico.

Segundo Silva et al. (2016) é fundamental que na gestão integrada articule-se planos de gestão de resíduos em função do território, região e/ou município (Bertolini, (1998 *apud* NUNESMAIA, 2002). Na região Norte, por exemplo, (composta pelos estados de Tocantins, Amazonas, Acre, Amapá, Pará, Roraima e Rondônia) apenas 6,4% dos resíduos urbanos são coletados. A situação de disposição final dos resíduos também é bastante precária. Há uma atuação do poder público na coleta e transporte dos resíduos para longe dos centros populacionais, porém o tratamento e disposição final ocorrem de forma bastante deficiente.

Os resíduos recicláveis não são vistos como uma possibilidade real de geração de renda. Não há programas de coleta seletiva ou política que contemple o gerenciamento integrado de resíduos sólidos. No Acre, os vidros, papéis, papelão e outros similares, quando não são aproveitados nas residências, não são segregados ou preparados para comercialização, uma vez que não existem escalas para seu reaproveitamento econômico. Essa situação é realidade na maioria dos municípios dos estados amazônicos.

#### **Parâmetro Tecnologia de reciclagem disponível**

Campani (2016) afirma que, além da viabilidade econômica, a reciclagem dos resíduos depende também da disponibilidade de técnica para a reciclagem do material. Ainda que atualmente alguns materiais são considerados rejeitos pois não possuem tecnologia para serem reciclados ou a mesma não é financeiramente viável, espera-se que no futuro esse cenário mude de condição, seja pelo desenvolvimento de tecnologia capaz de reciclar tais materiais ou mesmo por uma redução nos preços de materiais virgens que viabilize economicamente sua reciclagem, mesmo considerando a tributação sobre o material.

Para Monterosso (2016) o conceito real de rejeito varia de acordo com o espaço e o tempo. Varia de lugar para lugar em função do mercado para os recicláveis;

e também muda no tempo, quando as tecnologias de reciclagem vão avançando. O autor afirma que há muito a se fazer quanto ao desenvolvimento de tecnologias que possibilitem viabilidade técnica para o reaproveitamento de uma série de materiais que atualmente não são passíveis de reaproveitamento ou apresentam custo exorbitante para tal objetivo. Além disso, em função da grande diversidade de materiais que compõem os produtos, cada vez mais são requeridas tecnologias para a separação e a reciclagem destes produtos.

Fleck (2016) observa que as regiões possuem diversidade entre si quanto a capacidade tecnológica e que isto está atrelado à necessidade logística do transporte dos resíduos a longas distâncias, que pode conferir valores econômicos e ambientais negativos à reciclagem dos mesmos caso sejam processados em locais distantes.

## APÊNDICE VIII – ANÁLISE: ATRIBUTOS DE GESTÃO

### **Parâmetro: Gestão compartilhada**

O fato dos resíduos sólidos serem tratados apenas sob o ponto de vista da engenharia da limpeza urbana, pela frota de caminhões, número de funcionários e sistemas de destinação final, não representa a realidade do problema. A política nacional reforça a ideia de que os resíduos devem ser tratados sob uma abordagem integrada, articulando as dimensões políticas, econômicas, ambientais e sociais por meio de um conjunto de ações (Art. 3º, inciso XI). Para tanto, foi estabelecida a Responsabilidade Compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, definida como

“um conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos, nos termos desta Lei” [Art. 3º, inciso XVII].

Entende-se então que a gestão integrada deve basear-se em uma gestão compartilhada, diante de responsabilidades atribuídas a cada um dos atores da cadeia produtiva. Demajorovic e Besen (2007) observam que a gestão compartilhada é uma estratégia para transitar de uma abordagem estritamente técnica a uma abordagem socioambiental. No entanto, requer a construção de uma abordagem mais ampla da problemática.

Para Demajorovic, Besen e Rathsam (2006) a existência de uma gestão compartilhada é um fator determinante na reciclagem dos materiais, pois além de compartilhar as responsabilidades pela gestão dos resíduos, garante a sustentabilidade da cadeia da reciclagem.

Em uma gestão compartilhada, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes possuem a obrigatoriedade de estruturar e implementar sistemas de logística reversa independentemente do serviço público de limpeza urbana, mediante

o retorno de produtos específicos<sup>62</sup> após o uso pelo consumidor. Portanto, a indústria é responsável por estruturar e viabilizar o sistema de logística reversa e manter uma interface direta com a coleta seletiva (ABRELPE, 2015), podendo financiar os serviços prestados de coleta seletiva desenvolvidos pelos catadores organizados em associações ou cooperativas.

Para Demajorovic, Besen e Rathsam (2006), a participação das prefeituras, dos catadores organizados e da comunidade local traz benefícios socioambientais e financeiros. Este modelo de gestão apresenta um aumento da eficiência e uma significativa redução dos custos dos programas de coleta seletiva, além de desviar parcela de resíduos dos aterros sanitários para a reciclagem.

Os autores afirmam que é possível garantir uma maior quantidade e qualidade do material reciclável por meio da gestão compartilhada. A melhoria da qualidade na separação aliada à uma melhor infraestrutura de triagem e armazenamento, pode-se estocar maiores quantidades de material e ampliar o poder de negociação na comercialização dos mesmos. Uma maior quantidade de materiais recicláveis permite que parte do material seja vendida diretamente para a indústria, eliminando a figura do intermediário e favorecendo o aumento da renda dos catadores. Defendem que a inclusão dos catadores de materiais recicláveis na gestão e no gerenciamento de resíduos sólidos é fundamental para ampliar os índices de reciclagem.

Para Aquino et al. (2009) a gestão compartilhada resolveria os problemas relacionados à baixa qualidade da matéria prima e à instabilidade no fornecimento de materiais. Uma parceria entre a prefeitura e os catadores, na qual o poder público realize a coleta seletiva garantiria um fornecimento contínuo de materiais recicláveis. Além disso, segundo a PNRS, o poder público pode instituir medidas indutoras e linhas de financiamento para a implantação de infraestrutura física e aquisição de

---

<sup>62</sup> A lei estabeleceu a obrigatoriedade do retorno de alguns produtos específicos: embalagens de agrotóxicos, pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes, lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista, produtos eletroeletrônicos e seus componentes e embalagens em geral.

equipamentos para cooperativas ou associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, estruturação de sistemas de coleta seletiva e de logística reversa e o desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos.