



COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB
ESCOLA SUPERIOR DA CETESB – ESC
CURSO DE PÓS - GRADUAÇÃO: “CONFORMIDADE AMBIENTAL COM
REQUISITOS TÉCNICOS E LEGAIS”

Bruna Barbi Sanches

DESAFIOS DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS
ELETROELETRÔNICOS E SUAS IMPLICAÇÕES NA LOGÍSTICA
REVERSA

São Paulo

2018



Bruna Barbi Sanches

DESAFIOS DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS E SUAS IMPLICAÇÕES NA LOGÍSTICA REVERSA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais, da Escola Superior da CETESB, como requisito para obtenção do título de especialista em Conformidade Ambiental

Orientador: Profº Drº Flávio de Miranda Ribeiro

São Paulo

2018

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO

(CETESB – Biblioteca, SP, Brasil)

S19d	Sanches, Bruna Barbi Desafios da reciclagem de resíduos eletroeletrônicos e suas implicações na logística reversa / Bruna Barbi Sanches. – São Paulo, 2018. 67 p. : il. color. ; 30 cm. Orientador: Prof. Dr. Flávio de Miranda Ribeiro. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Conformidade Ambiental) – Pós-Graduação Lato Sensu Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais, Escola Superior da CETESB, São Paulo, 2018. Disponível também em: < http://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/producao-tecnico-cientifica/ >. 1. Logística reversa 2. Reciclagem 3. Resíduos eletroeletrônicos I. Ribeiro, Flávio de Miranda, Orient. II. Escola Superior da CETESB (ESC). III. Título.
CDD (21. ed. Esp.)	363.728 2 658.567 028 6 628.5
CDU (2. ed. Port.)	502.174.:628.4.043

Catálogo na fonte: Lígia Espíndola – CRB 8.4154
Margot Terada – CRB 8.4422

Direitos reservados de distribuição e comercialização.
Permitida a reprodução desde que citada a fonte.

© CETESB.

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345
Pinheiros – SP – Brasil – CEP 05459900

Site: <<http://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/producao-tecnico-cientifica/>>

FOLHA DE APROVAÇÃO



CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO
CONFORMIDADE AMBIENTAL COM REQUISITOS TÉCNICOS E LEGAIS



AVALIAÇÃO DOS TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aluno(a):	Bruna Barbi	
Título do trabalho:	Desafios da reciclagem de eletroeletrônicos e suas implicações na logística reversa	Turma: 2016

Avaliadores	Nota	Assinatura
Avaliador 1 Nome: Consuelo Yatsuda Moromizato Yoshida	9,0	
Avaliador 2 Nome: José Valverde Machado Filho	9,0	
Orientador Nome: Flávio de Miranda Ribeiro	9,0	
Nota final	9,0	

Aprovado em: São Paulo, 29 de junho de 2018

Observações:
A banca solicita que a candidata incorpore ao documento as observações da arguição que considerou pertinentes, além de aprimorar a redação.

Ciência do aluno(a): 	Assinatura
--------------------------	----------------

A aprovação do Trabalho de Conclusão de Curso não significa aprovação, endosso ou recomendação, por parte da CETESB, de produtos, serviços, processos, metodologias, técnicas, tecnologias, empresas, profissionais, ideias ou conceitos mencionados no trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me fortalecer e me abençoar em todos os dias de minha vida, em seguida ao meu marido Ricardo Sanches pelo seu apoio, companheirismo e paciência. Aos meus pais, que me ensinaram a enfrentar os desafios da vida com garra e honestidade e por todo estudo que me proporcionaram. Aos meus amigos Denise Veronez, Lígia Nishimoto Martins e Renato Assis por todos os conselhos e ajuda na minha jornada de pós-graduação. E ao meu gestor Marcelo Souza e ao meu orientador Flávio de Miranda Ribeiro pelos seus ensinamentos.

RESUMO

É estimada uma geração de mais de 1,4 milhões de toneladas ao ano de resíduos eletroeletrônicos no Brasil, e mundialmente 42 milhões de toneladas em 2014. A evolução tecnológica somada a uma produção diversificada, além do comportamento do consumidor na substituição do produto eletroeletrônico de forma acelerada, faz com que aumente ainda mais a geração de equipamentos pós-consumo e consecutivamente os impactos ambientais quanto ao manejo e tratamento final deste. A Política Nacional de Resíduos Sólidos sob a Lei 12.305 publicada em 2010 representou um marco a este segmento principalmente no que tange à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado do resíduo sólido acompanhada pela implementação do sistema de logística reversa. Ou seja, é por meio desse mecanismo que materiais provenientes de um eletroeletrônico potencialmente no final de vida útil retornam ao setor produtivo como matéria-prima secundária para fechar o ciclo sustentável do produto. Entretanto na prática, tal fato apresenta entraves diante das características das composições dos materiais ali presentes no equipamento. No presente trabalho foram feitas avaliações do formato de fabricação desses materiais e das composições ali presentes. A partir das linhas branca, marrom e verde, foram obtidos dados de exemplos extraídos de empresa do setor de reciclagem e de artigos científicos do mesmo segmento. Avaliaram-se os resíduos eletroeletrônicos pós-manufatura reversa quanto à taxa de reciclagem e a presença de resíduos perigosos somados a especificidades de cada equipamento que inviabilizam a reciclagem e o retorno das matérias-primas ao ciclo produtivo novamente. Foram propostas medidas de melhoria que visam desenvolver produtos com foco no respectivo ciclo de vida aptos à reutilização e à reciclagem, além de novas tecnologias voltadas à manufatura reversa que viabilizem aumentar a taxa de reciclagem do equipamento eletroeletrônico descartado, diminuindo inclusive a quantidade de resíduos sólidos destinados a aterros cuja vida útil precisa ser prolongada. Dentro desse contexto foram mapeadas as dificuldades da implementação da logística reversa e contextualizada legalmente, principalmente sob o âmbito estadual, a promoção de avanços no auxílio da gestão ambientalmente adequada do eletroeletrônico pós-consumo, trazendo a logística reversa como elemento chave à efetivação do sistema. Agregados a isso, foram apresentadas normas técnicas e certificação internacional que norteiam de forma sustentável o segmento da reciclagem diante das etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final aos resíduos eletroeletrônicos e aos rejeitos gerados.

Palavras-chave: resíduo eletroeletrônico. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Logística Reversa. Reciclagem. Eco-design. Manufatura reversa.

ABSTRACT

It is estimated a generation of more than 1.4 million tons per year of waste electrical and electronic equipment in Brazil, and a global production of 42 million tons in 2014. Technological evolution combined with diversified production, as well as consumer behavior in product substitution electro-electronic equipment, it has accelerated the generation of post-consumer equipment and consequently has increases the environmental impacts on the final handling and treatment of these. The National Solid Waste Policy under the Law 12,305 published in 2010 represented a milestone in this segment, mainly regarding the integrated management and environmentally sound management of solid waste accompanied by the implementation of the reverse logistics system. That is, it is through this mechanism that materials from a potentially end-of-life electronics return to the productive sector as a secondary raw material to close the sustainable cycle of the product. However in practice, this fact presents obstacles due to compositions' s characteristics of the materials present in the equipment. In this work evaluations were made of the manufacturing format of these materials and the compositions present. From the white, brown and green lines, data were obtained examples extracted from the Recyclers Company and scientific articles of the same segment. The electro-electronic waste after reverse manufacturing was evaluated in terms of the recycling rate and the presence of hazardous waste added to the specificities of each equipment that result unfeasible in the recycling and return of the raw materials to the production cycle. Improvement measures have been proposed to develop more sustainable products with a focus on the respective life cycle suitable for reuse and recycling, as well as new technologies aimed at the reverse process that make it is possible to increase the rate recycling of discarded electro-electronic equipment, even reducing the amount of solid waste destined for landfills whose useful life needs to be extended. Within this context, the difficulties of the implementation of reverse logistics and legally contextualized, mainly under the state scope, were mapped the promotion of advances in the aid of the environmentally adequate management of the consumer electronics post-consumption bringing reverse logistics as a key element to the effectiveness of the system. Added to this, technical standards and international certification have been elucidated that sustainably guide the recycling segment before the collection, transportation, transshipment, treatment and final disposal stages of the electro-electronic waste and the tailings generated.

Keywords: Waste electrical and electronic equipment. National Solid Waste Policy. Reverse logistics. Recycling. Eco-design. Reverse manufacturing.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	09
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1 Objetivo geral	13
1.1.2 Objetivos específicos	13
1.2 JUSTIFICATIVA	14
1.3 METODOLOGIA	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, LOGÍSTICA REVERSA E RESÍDUOS SÓLIDOS	17
2.2 RESÍDUO ELETROELETRÔNICO E SUAS CLASSIFICAÇÕES	20
2.3 RECICLAGEM E DISPOSIÇÃO FINAL	24
3 DESENVOLVIMENTO	27
3.1 COMPOSIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS	27
3.2 MANUFATURA REVERSA E AS NORMAS TÉCNICAS DO SETOR	29
3.3 AVALIAÇÃO DOS REES E OS DESAFIOS DA RECICLAGEM	36
3.4 ASPECTO LEGAL E OPERACIONAL DA LOGÍSTICA REVERSA E SUAS IMPLICAÇÕES NO REEE	51
3.5 PROPOSTAS DE MELHORIA	59
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
5 REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) apresentam um dos maiores índices de crescimento de resíduos no mundo, o que representou 42 milhões de toneladas gerados em 2014 (INDUSTRIAL, 2013). Estimou-se para 2017 um acúmulo de 50 milhões de toneladas de lixo eletrônico no mundo (ACHARYA, 2017). No continente americano o Brasil ficou atrás apenas dos Estados Unidos ao tratar-se da quantidade gerada de resíduos eletroeletrônicos, com o valor de 1,4 milhões de toneladas, segundo o documento intitulado “Gestão Sustentável de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos na América Latina” de 2014 (ACHARYA, 2017).

Esses expressivos números estão relacionados diretamente aos avanços tecnológicos no setor de equipamentos eletroeletrônicos dos últimos anos, atribuídos a uma produção diversificada e de larga escala somados ao desenfreado desejo do consumidor na substituição de produtos mais atuais (tecnológicos). Fomentando-se, portanto, a obsolescência abrupta dos equipamentos e os impactos ambientais a curto, médio e longo prazo do manejo e do tratamento final do produto pós-consumo.

Por outro lado, no âmbito da responsabilidade pós-consumo, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) sob a Lei 12.305 de 2010 veio representar uma grande evolução quanto à gestão e ao gerenciamento de resíduos sólidos.

A PNRS reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotadas pelo governo federal, isoladamente ou em regime de cooperação com estados, distrito federal, municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Em dezembro de 2010, houve a regulamentação da respectiva lei por meio do Decreto nº 7.404.

O Decreto disciplina as inovações introduzidas na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos pela PNRS, sendo a principal delas o sistema de logística reversa. Os sistemas de logística reversa visam à restituição no ciclo produtivo ou para destinação final ambientalmente adequada (INDUSTRIAL, 2013).

A PNRS permitiu adotar modelos sustentáveis de produção e de consumo visando o gerenciamento ambientalmente adequado de toda a cadeia, sem prejudicar a qualidade ambiental e as próximas gerações (Brasil, 2010). Como resultado, geram-

se hábitos de conscientização de consumo, de redução de resíduos, de práticas de reutilização e de reciclagem, além de atribuições de responsabilidade ao próprio destino final dos resíduos, com tratamento correto e ambientalmente adequado.

O Capítulo I de Disposições Preliminares da PNRS menciona no Artigo 9º:

Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não gera

ção, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010).

Entretanto, a não geração do resíduo ou a sua própria redução já demonstra dificuldades e obstáculos no seu cumprimento, tendo como premissas questões econômicas e comportamentais a serem confrontadas.

A maneira de se instituir práticas satisfatórias de gerenciamento de resíduos é a partir do compromisso compartilhado por parte dos geradores na extensão completa do ciclo de vida do produto, que estão inclusos os fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes e consumidores, além daqueles que executam a coleta, a logística e o respectivo manejo. Ou seja, a lei é atuante sob:

Pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, que geram resíduos sólidos por meio de suas atividades, nelas incluído o consumo (BRASIL, 2010).

Dentre os instrumentos de gestão, insere-se a logística reversa, que concebe ações e procedimentos objetivando a viabilidade da coleta dos resíduos sólidos e o respectivo retorno ao setor empresarial. É por meio desse instrumento que se pode, por exemplo, retornar materiais recicláveis provenientes de produtos eletroeletrônicos e de seus componentes em fim de vida ao setor produtivo como fonte de matéria-prima novamente.

Diante desse cenário, faz-se necessário progredir e desenvolver tecnologias voltadas ao processo reverso que, por meio da reciclagem, permitam aperfeiçoar processos quanto à separação dos materiais e proporcionar o retorno das matérias-primas ao ciclo produtivo, além do próprio avanço de soluções tecnológicas diante das composições perigosas inseridas no produto eletroeletrônico. Estes efeitos permitem impulsionar o desenvolvimento econômico, social e a redução dos impactos e de recursos naturais.

Apesar de atualmente já existirem tecnologias disponíveis que colaborem para a reciclagem, no Brasil o processo de descaracterização dos produtos pós-consumo apresenta baixa eficiência se comparado a outros países, principalmente no que tange manufatura reversa em larga escala e elevada taxa de reciclagem. Esses dados podem ser evidenciados por meio do relatório da Agência Europeia do Ambiente no qual a taxa de reciclagem dos países europeus aumentou 21 % entre os anos de 2001 e 2010, destacados pelos países Áustria, Alemanha, Bélgica, Holanda e Suíça, que já atingiram índices superiores a 50 % na taxa de reciclagem de seus resíduos (AGENCY, 2018). O Brasil atinge índices de reciclagem de apenas 13% de seus resíduos (Barbosa, 2016), entretanto há relatos de que essa porcentagem é de apenas 3%, segundo PIEVE (2016), especialista em Economia Circular e Sustentabilidade.

No setor de reciclagem de eletroeletrônicos, o mercado brasileiro apresenta instabilidades no suprimento destes equipamentos, principalmente quando se atrelam a informalidades na coleta e na distribuição do produto à cadeia da reciclagem. Ou também pela quantidade reduzida coletada e pela falta de investimento em tecnologias que proporcionam a valorização do resíduo (PIEVE, 2016).

(...) televisores, rádios, celulares, eletrodomésticos portáteis, todos os aparelhos de microinformática, DVD's, luminárias fluorescentes, brinquedos eletrônicos e milhares de outros produtos que foram idealizados para facilitar a vida moderna e que hoje são descartados na medida em que ficam tecnologicamente ultrapassados em um ciclo de vida cada vez mais curtos ou então devido à inviabilidade econômica de conserto (NATUME, 2011).

Os eletroeletrônicos podem ser classificados pelas suas tipologias, tamanhos e aplicações devido ao elevado índice de variedade e complexidade dos constituintes.

Porém, deve-se ressaltar que, apesar de inserir os equipamentos eletroeletrônicos pós-consumo na cadeia produtiva agregando valor e contribuindo à sustentabilidade, apresentam-se entraves à reciclagem: a própria composição dos constituintes, formados por distintos materiais como plásticos, metais ferrosos, não ferrosos, componentes eletrônicos, além dos itens nocivos e prejudiciais ao ambiente e à saúde humana, dificultam a separação e a possível valoração da matéria-prima secundária. Todos esses constituintes dentro da composição do eletroeletrônico exigem um processamento diferenciado e de alta complexidade em suas

separações, gerando custo e impactos ainda maiores para o recolhimento, à logística e ao tratamento desses resíduos.

Posteriormente à introdução estabelecida, o trabalho apresenta motivação e a metodologia do assunto abordado, sequenciados pelo referencial teórico no que tange PNRS, resíduos eletrônicos e as respectivas classificações, o processo de reciclagem e disposição dos materiais gerados. No item seguinte, é abordado o desenvolvimento do tema por meio dos tipos e das características de resíduos eletroeletrônicos, convergindo aos equipamentos das linhas branca, marrom e verde exemplificados pelo refrigerador comercial, pela máquina de lavar, pelo televisor de tubo e pelo celular tipo Smartphone. A partir disso, são indicadas peculiaridades na reciclagem dos compostos dos REEE mencionados e os desafios a serem defrontados quanto à viabilidade da logística reversa deste segmento. Por fim, estabelecem-se as contribuições de melhoria desde o início da cadeia na fabricação do produto eletroeletrônico até a implementação efetiva da logística reversa desses equipamentos e finaliza com conclusões referentes ao tema relatado.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Identificar os principais desafios da reciclagem de produtos eletroeletrônicos pós-consumo no Brasil e os respectivos entraves na logística reversa.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Levantar o progresso legal e normativo no gerenciamento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos pós-consumo ocorrido a partir da promulgação da Lei 12.305, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

b) Avaliar as composições dos materiais dos equipamentos eletroeletrônicos pós-consumo das linhas branca, marrom e verde por meio de exemplos e identificar o tipo de tratamento a ser adotado posteriormente atrelado às dificuldades da manufatura reversa.

c) Avaliar a taxa de reciclagem dos equipamentos citados e confrontar com as dificuldades da aplicação da logística reversa.

1.2 JUSTIFICATIVA

Ao longo desses anos após a regulamentação da Lei 12.305 instituída pela Política Nacional de Resíduos Sólidos se faz necessário averiguar os progressos e obstáculos da gestão de resíduos sólidos, contemplados principalmente pela implementação da logística reversa pelo setor industrial, a qual permite o retorno do resíduo sólido ao ciclo produtivo e à destinação final ambientalmente adequada.

Dentre os resíduos que são classificados na lei, o trabalho em questão volta-se somente a equipamentos eletroeletrônicos pós-consumo, considerando a notoriedade da produção e do consumo do eletroeletrônico, o alto impacto ambiental do descarte inadequado, e a crescente valorização das frações geradas no processo reverso, dando destaque aos equipamentos de linha branca, marrom e verde.

A classificação brasileira dos eletroeletrônicos se divide em linhas, linha branca, composta por eletrodomésticos de grande porte, linha marrom, composta por equipamentos de áudio e vídeo, linha verde composta por equipamentos de tecnologia da informação e comunicação e linha azul, que compõem as ferramentas e eletrodomésticos de pequeno porte.

Na linha branca foram selecionados dois equipamentos para a abordagem do tema proposto, o refrigerador comercial e a máquina de lavar, pois apresentam características como porte grande e potencial elevado de reaproveitamento dos seus constituintes, tendo como maioria a fração metálica e plástica. Além disso, apresentam impactos ambientais significativos quanto ao seu manuseio e descartes incorretos que devem ser levados em pauta, principalmente ao equipamento de refrigeração antigo que possui em seu sistema gases nocivo ao meio ambiente em virtude das substâncias destruidoras da camada de ozônio (SDO'S) presentes tanto no circuito de refrigeração quanto na espuma responsável pelo isolamento térmico. Apesar de ter sido banido por conta do Protocolo de Montreal, há ainda uma quantidade que pode ser encontrada também nos refrigeradores e que devem ser corretamente gerenciados.

Em relação às linhas marrom e verde, optou-se pelo televisor de tubo e pelo celular (Smartphone) respectivamente, diante dos evidentes riscos por conta de suas composições com toxicidade (metais pesados), que podem causar inúmeros danos ao ser humano e a natureza, e na identificação dos seus materiais e das formas de

manejo e de tratamento que auxiliam no progresso de uma gestão de resíduos mais adequada ambientalmente.

Optou-se pela não utilização de equipamentos da linha azul, pois tratam de itens com tamanhos reduzidos com uma variedade expressiva de materiais ali constituídos dificultando a abordagem quanto à recuperação dos materiais e à valoração pós-manufatura reversa.

Evidencia-se a importância desse estudo a partir da quantidade de lixo eletrônico crescente a nível mundial e suas devidas implicações econômicas, sociais e ambientais conseqüentemente. Em 2016 a geração de REEE alcançou 45 milhões de toneladas, proveniente do descarte de televisores, celulares, refrigeradores e outros produtos. E desse montante, apenas 20% foram destinados à reciclagem (BALDÉ et al., 2017).

O trabalho também enfatiza a composição dos resíduos eletroeletrônicos e as dificuldades da respectiva manufatura reversa no Brasil e as tratativas da implantação da logística reversa neste setor.

O ordenamento jurídico, as normas e as certificações abordadas validam e contextualizam o estudo dentro o intervalo determinado, sendo sua descrição imprescindível na elaboração no trabalho.

1.3 METODOLOGIA

O levantamento de dados para o trabalho em questão foi feito a partir do método de pesquisa descritiva, que busca a análise da reciclagem de resíduos eletroeletrônicos e suas implicações na logística reversa, norteados através de legislações e de normatizações nacionais desde a implantação da Lei 12.305/2010.

Posteriormente, foram realizadas pesquisas de artigos científicos, revistas técnicas, manuais e sites do segmento com o objetivo de identificar as práticas realizadas quanto à gestão de captação, de tratamento e de valoração do resíduo eletroeletrônico, focando-se no mercado brasileiro.

Dentre as categorias de produtos eletroeletrônicos, optou-se pelo estudo da linha branca, representada pelo refrigerador comercial e pela máquina de lavar, da linha marrom, representada pelo televisor de tubo, e da linha verde, representada pelo celular, identificando as composições, as respectivas porcentagens e os potenciais tratamentos adotados.

Os dados levantados da linha branca (refrigerador comercial e máquina de lavar) e da linha marrom (televisor de tubo) foram obtidos a partir de uma pesquisa feita a uma empresa no ramo da reciclagem no interior de São Paulo. Já os dados da linha verde (celular) foram obtidos a partir de artigos científicos voltados ao segmento da manufatura.

E por fim, há o mapeamento dos desafios e das consequências no cenário brasileiro diante da implantação da Política Nacional de Resíduos Sólidos e dos entraves da Logística Reversa especificadamente do setor do eletroeletrônico, adicionados às propostas de melhoria para a operacionalização dos sistemas ao setor produtivo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, LOGÍSTICA REVERSA E RESÍDUOS SÓLIDOS

A Política Nacional de Resíduos Sólidos foi promulgada no dia 2 de agosto de 2010, após duradoura discussão entre vários setores: governo, academia, produtor e entidades civis. Ambientalmente é vista como um grande avanço quanto à maneira de tratar o resíduo, pois contém instrumentos significativos que podem contribuir para o avanço do país desafiando questões problemáticas no âmbito social, econômico e ambiental por conta do manejo incorreto dos resíduos sólidos (INDUSTRIAL, 2013).

A lei, dentre outros fatores, se destaca por atribuir responsabilidades a todas as partes relacionadas ao ciclo de vida de um produto, permitindo uma gestão integrada e um gerenciamento adequado aos resíduos. Diante disso, impulsiona-se a volta dos resíduos pós-consumo às indústrias e submete o próprio poder público na concretização de planos para o gerenciamento do resíduo (INDUSTRIAL, 2013).

Sinteticamente, a solução da gestão do resíduo provém de todos os setores, a partir da ordem de prioridade, conforme Artigo 9º da Lei 12.305 ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Hierarquia das ações no manejo de Resíduos Sólidos



Fonte: (COSTA, 2014)

Adicionados a essa hierarquia estabelecida, a lei menciona a extinção de lixões a céu aberto, restringindo apenas aos materiais não passíveis de recuperação a possibilidade de serem destinados aos aterros sanitários sob controle de exigências ambientais (BRASIL, 2010).

Define-se rejeito aos materiais com tal característica, conforme a Lei 12.305 no artigo 9°.

XV – rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

A Lei 12.305/2010 foi regulamentada no dia 23 de dezembro 2010 por meio do Decreto nº 7.404 e cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para Implantação dos Sistemas de Logística Reversa.

Os sistemas de logística reversa visam o retorno do resíduo sólido à indústria seja para reaproveitamento como matéria-prima no ciclo produtivo ou para o destino ambientalmente correto. Mediante acordos entre as esferas do poder público, do setor privado, de associações e de entidades, é possível a implantação desses sistemas, formalizados em Acordos Setoriais, termos de compromisso ou regulamentos (INDUSTRIAL, 2013).

Segundo Mendonça et al., (2017), a logística reversa visa o manejo e o gerenciamento de equipamentos pós-consumo tendo a reciclagem como forma de recuperar seus materiais. Além disso, tem como vantagem a contribuição à sociedade e ao meio ambiente. Exemplificado pelo retorno dos resíduos às empresas de manufatura, evitando negativos impactos ambientais e estabelecendo reduções de custos nos processos produtivos, por conta inclusive da redução do consumo da matéria-prima (Mendonça et al., 2017).

A logística reversa é estabelecida por conta da Política Nacional de Resíduos Sólidos, que tem seu significado estabelecido no artigo 3°, inciso XVI, da Lei 12.305/2010.

XVI – resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpo d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou

economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

É estabelecida a obrigatoriedade de estruturar e implementar sistemas de logística reversa dos seguintes segmentos conforme a PNRS do Artigo 33:

I-agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso;

II-pilhas e baterias;

III-pneus;

IV-óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;

V-lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;

VI-produtos eletroeletrônicos e seus componentes

Ou aqueles se identifiquem a viabilidade técnica e econômica da aplicação da logística reversa, como é o caso das embalagens em geral e dos medicamentos descartados.

Logo, em tese, qualquer produto pode estar sujeito à logística reversa de seus resíduos desde que haja o chamamento do Poder Público e seja validada a implementação do sistema. No âmbito nacional, cinco setores foram chamados após a instituição da PNRS visando à logística reversa contemplada pelo setor de embalagens plásticas de óleo lubrificante, de lâmpadas, de embalagens, de eletroeletrônicos e de medicamentos. No setor de pneus e de óleo lubrificante já havia regulamento em virtude do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) que estabeleceu previamente a PNRS a responsabilidade pós-consumo (Moro, 2017).

No final de outubro de 2017, foi assinado o Decreto 9711 que regulamenta o artigo 33º da Lei 12305/2010 e complementa os artigos 16º e 17º do Decreto 7404/2010 e dá outras providências.

Evidencia-se um grande avanço a partir desse Decreto, uma vez que efetiva a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos no que tange principalmente a importância da destinação ambientalmente adequada dos resíduos, visando também o fomento da concorrência ética e de práticas de responsabilidades socioambientais.

Conforme Art. 1º do Decreto 9177/2017, estabelece-se:

(...) normas para assegurar a isonomia na fiscalização e no cumprimento das obrigações imputadas aos fabricantes, aos importadores, aos distribuidores e aos comerciantes de produtos, seus resíduos e suas embalagens sujeitos à logística reversa obrigatória (BRASIL, 2017).

Além disso, os responsáveis cujos produtos são objetos da logística reversa conforme se determina no Artigo 33º da Lei 12305/2010 e que não sejam signatários de acordos setoriais ou de algum termo firmado com a União devem estruturar e implementar sistemas de logística reversa com as mesmas obrigações atribuídas aos signatários e aos aderentes de acordo setorial (BRASIL, 2017).

E para casos de não cumprimento das obrigações determinadas nos acordos setoriais ou de termos de compromisso, serão aplicadas penalidades previstas na legislação ambiental (BRASIL, 2017).

No âmbito estadual nota-se um número amplo de acordos ou termos de compromissos firmados, exemplificados pelo Estado de São Paulo que já foram assinados vinte e três termos de compromisso, em duas fases, estando vigentes no momento da elaboração deste trabalho dez destes, para os setores de embalagens de agrotóxicos; de filtros de óleo lubrificante; de óleo combustível; de pilhas e baterias portáteis; de baterias inservíveis de chumbo-ácido; de embalagens plásticas de óleos lubrificantes; de embalagens vazias de saneantes desinfetantes; de produtos eletroeletrônicos de uso pessoal; e de dois para embalagens em geral (CETESB, 2018).

2.2 RESÍDUO ELETROELETRÔNICO E CLASSIFICAÇÕES

Os produtos eletroeletrônicos e seus componentes, mencionados como um dos tipos de resíduos sólidos após o seu consumo, e pertencentes ao sistema da logística reversa, são definidos como produtos que dependem do uso de corrente elétrica ou de campos magnéticos para funcionarem (INDUSTRIAL, 2013).

Esses produtos após seu final de vida são nomeados como resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. É idealizado que esses produtos sejam classificados como resíduos apenas quando são esgotadas todas as possibilidades de reuso e reparo, entretanto na prática é sabido que, diante da introdução de novas tecnologias, são forçados a um ciclo de obsolescência mais reduzido, ou pela falta

de peças de substituição ou de reparo, gerando um número ainda maior a serem descartados e reciclados (INDUSTRIAL, 2013).

Seguindo a cronologia a respeito das definições dos equipamentos eletroeletrônicos, há MORSELLI (2009) que definiu equipamento eletroeletrônico como qualquer dispositivo que, por razões funcionais, dependa de correntes elétricas ou campos eletromagnéticos para o correto funcionamento. Torna-se resíduo eletroeletrônico, portanto, quando o seu proprietário o descarta. Já em 2014, a Step Initiative definiu o termo equipamento eletroeletrônico como qualquer item residencial ou empresarial que contém circuitos ou componentes eletrônicos e uma fonte de energia ou massa. Estabelece que o termo REEE possa abranger todos os tipos de equipamentos e peças elétricas e eletrônicas descartados sem a intenção de uso por parte do seu proprietário novamente (ITU, 2016).

Conforme referenciado pela Diretiva Europeia de REEE da União Europeia (2002), os resíduos eletroeletrônicos foram classificados em vários agrupamentos levando em consideração seu propósito de origem, seu tamanho, composição e peso. Na classificação a seguir é evidenciada a relação dos equipamentos eletroeletrônicos em 10 grupos.

1. Grandes eletrodomésticos, como os grandes equipamentos de refrigeração, exemplificados pelos refrigeradores, freezers ou equipamentos como fogões e fornos de micro-ondas;
2. Pequenos eletrodomésticos, como equipamentos de limpeza, exemplificados pelos aspiradores de pó e ferros de passar;
3. Tecnologia da informação (TI) e equipamentos de telecomunicações, exemplificados pelos computadores pessoais, impressoras, fotocopiadoras, telefones celulares e equipamentos de gerenciamento de dados;
4. Eletrônicos para consumo, exemplificados pelos rádios, televisores, câmaras de vídeo e instrumentos musicais;
5. Equipamentos de iluminação, exemplificados pelas lâmpadas fluorescentes e compactas;
6. Ferramentas elétricas e eletrônicas, excetuando ferramentas industriais fixas;

7. Brinquedos ou equipamentos de esporte e de lazer, exemplificados pelos consoles de vídeos e carros elétricos;

8. Dispositivos médicos, excetuando os produtos implantados e infectados.

9. Instrumentos de monitoramento e controle, como detectores de fumaça e painéis de controle;

10. Máquinas de venda automática de bebidas e caixas automáticos.

De acordo com a EUROPEIA (2012), os produtos eletroeletrônicos são aqueles que funcionam com correntes elétricas ou campos eletromagnéticos e destinam-se ao uso com uma tensão nominal que não exceda 1000V a uma corrente alternada e 1500V a uma corrente direta (DC), são também os aparatos necessários para gerar, transmitir e medir tais correntes e campos.

Logo, as categorias ou classificações de equipamento eletroeletrônico são feitas a partir de vários agrupamentos, considerando as características do respectivo propósito original, tamanho, composição de materiais e peso.

Internacionalmente, a partir de 2018, a Diretiva Europeia estabelecerá revisões nas quais todos os equipamentos eletroeletrônicos deveriam ser agrupados em seis categorias gerais, reconhecidas pela Universidade das Nações Unidas e validadas para a classificação dos REEEs, conforme enumeração a seguir (ITU, 2016).

1. Equipamento de troca de calor: referem-se a equipamentos de refrigeração e congelamento, exemplificados pelos refrigeradores, freezers, ares condicionados ou bombas de calor;

2. Telas e monitores: dispositivos típicos que incluem televisores, monitores, laptops, notebooks e tablets;

3. Grandes equipamentos: incluídos as máquinas de lavar roupa, secadoras, máquinas de lavar louça, grandes impressoras, fotocopiadoras e painéis fotovoltaicos (Dimensão externa superior a 50 cm);

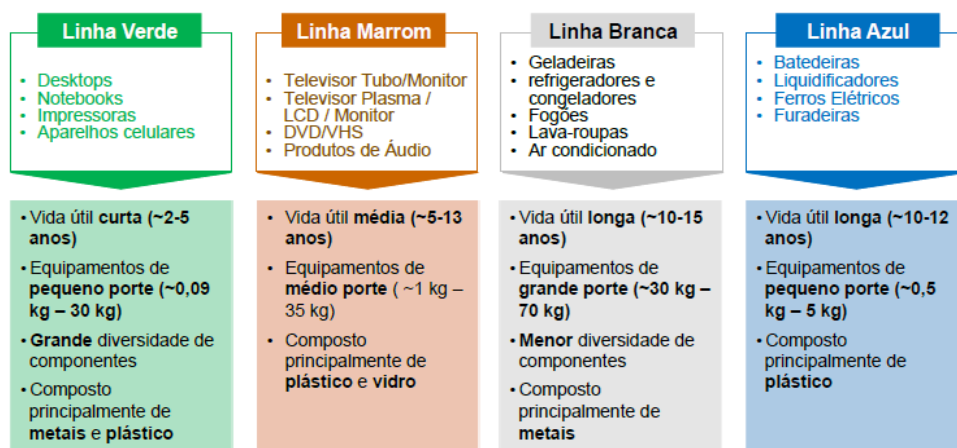
4. Lâmpadas: incluídos as lâmpadas fluorescentes verticais, compactas, de alta pressão, de descarga e de diodos emissores de luz (LEDs);

5. Pequenos equipamentos: incluídos os aspiradores de pó, fornos de micro-ondas, ventiladores, torradeiras, chaleiras elétricas, barbeadores elétricos, câmeras de vídeos e brinquedos eletrônicos, pequenas ferramentas elétricas e eletrônicas, pequenos dispositivos médicos e pequenas ferramentas para monitoramento e controle;

6. Pequenos equipamentos da tecnologia da informação e comunicação: incluídos os telefones celulares, sistemas de posicionamento global (GPS), calculadoras de bolso, roteadores, computadores, impressoras e telefones.

No Brasil, o setor de equipamentos eletroeletrônicos abrange uma quantidade variável de produtos agrupados com a nomenclatura de linhas, com atribuições de cores para serem classificadas e diferenciadas: linha branca, marrom, azul e verde (INDUSTRIAL, 2013). A linha branca abrange os refrigeradores, congeladores, fogões, lavadoras de roupa e louca, secadoras, condicionadores de ar; a linha marrom abrange os monitores e televisores de tubo, plasma, LCD e LED, aparelhos de DVD e VHS, equipamentos de áudio, filmadoras; a linha azul abrange as bateadeiras, liquidificadores, ferros elétricos, furadeiras, secadores de cabelo, espremedores de frutas, aspiradores de pó e cafeteiras; e a linha verde abrange os computadores desktop e laptops, acessórios de informática, tablets e telefones celulares (PRADO FILHO, 2018). A Figura 2 a seguir revela o agrupamento dos produtos eletroeletrônicos com seus respectivos exemplos e características como tempo de vida, peso e relevantes peculiaridades nas composições dos materiais.

Figura 2 – Linhas de produtos eletroeletrônicos



2.3 RECICLAGEM E DISPOSIÇÃO FINAL

Os resíduos se transformam por meio do processo da reciclagem envolvendo a alteração de propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, objetivando a transformação em novas matérias-primas ou novos produtos (BRASIL, 2010). Ou seja, apenas resíduos que possam sofrer transformações em suas propriedades e posteriormente servirem como matéria-prima para fabricação de novos produtos que podem ser nomeados como resíduos recicláveis.

Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, há como ordem de prioridade, conforme a Lei 12.305/ 2010, no artigo 9º, a não geração, a redução, a reutilização e em quarto lugar a reciclagem (BRASIL, 2010).

Em uma sociedade moderna, o ciclo da sustentabilidade, posteriormente às práticas de redução e reuso, é fundamentalmente fechado pela reciclagem, que traz como vantagens redução de recursos naturais e diminuição no consumo de energia para a manufatura e nos impactos ambientais. (BALDÉ, 2017).

O processo de reciclagem de REEE, conforme INDUSTRIAL (2013), geralmente cumpre várias etapas: eliminação de dados, como os equipamentos de informática e de comunicação, pesagem, desmontagem, segregação por tipologia (composição do material), compactação dos materiais com características semelhantes, processamento mecânico e/ou químico para recuperação dos itens mais valiosos e por fim o tratamento e disposição final dos resíduos perigosos.

Por meio da reciclagem, os resíduos eletroeletrônicos dão origem às matérias-primas secundárias (não virgens) que podem ser recolocadas no processo produtivo, reduzindo, portanto, a extração de novas matérias-primas. Os insumos provenientes da reciclagem não são reutilizados para a mesma finalidade necessariamente (INDUSTRIAL, 2013).

Apesar do crescimento ao estímulo à reciclagem, há poucos mecanismos legais para proporcionar isenções fiscais nessa atividade. Diante da sua importância na sociedade e a sua representação ambientalmente, é entendido que a reciclagem deveria ter uma carga ária mais apropriada. Além disso, o custo da reciclagem hoje está relacionado diretamente à eficiência de separação. Quanto mais se busca elevadas taxas de reciclagem dos produtos, portanto menores índices de rejeitos à disposição final, mais oneroso o processo fica (INDUSTRIAL, 2013).

Logo o processo de reciclagem de REEE, além de requerer cada vez mais mão de obra especializada na área, é necessário implantar fábricas de alta capacidade de uso para atingir índices satisfatórios de separação e de recuperação de matérias-primas secundárias, somados a incentivos fiscais de forma que auxilie na redução da geração de rejeitos à disposição final (Santana; Elabras-Veiga, 2017).

Portanto, é plausível questionar a consideração de que os resíduos sólidos destinados à disposição final já passaram pelo esgotamento de possibilidades de tratamento e de recuperação dos resíduos sólidos, visto que a dificuldade no setor da reciclagem é notória e dependem de vários fatores como processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis para que de fato somente rejeitos sejam destinados à disposição final ambientalmente adequada em aterros, respeitando normas operacionais de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010).

Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) (2018), o setor de reciclagem apresenta estatísticas que evidenciam em torno de 160 mil toneladas de resíduo sólido urbano gerados no Brasil diariamente, entretanto 30 a 40% desse montante são considerados passíveis de reaproveitamento e reciclagem. Sendo que somente 13% desses resíduos são encaminhados à reciclagem. Já para o setor de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, o Brasil fica em segundo lugar quanto a sua geração, com 1,5 milhão de toneladas anualmente.

O processo de reciclagem é um componente-chave pertencente à gestão de resíduos e de estratégia quanto à eficiência de recursos, tanto para municípios quanto às indústrias. Implementar uma política de reciclagem pode significar um desempenho considerável, que permite aumentar a eficiência de recursos assim como forma de coibir os problemas ascendentes no âmbito social e ambiental no que tange a gestão de resíduos (HOTTA, 2016). É possível ocorrer tal cenário, pois passam de produtos finais de vida para fontes de recursos.

Promover a reciclagem oferece muitos benefícios. Altas taxas de reciclagem reduzem o número de materiais que requerem tratamento final e isso se estende à diminuição de custos consequentemente, aumentando inclusive a vida útil dos aterros sanitários (HOTTA, 2016). Destinar materiais ou produtos a aterros, que não passaram previamente por procedimentos de triagem, segregação ou reciclagem,

inviabiliza a recuperação de materiais aptos a retornar ao respectivo ciclo de vida como fonte de matéria prima secundária.

Outras vantagens quanto à prática da reciclagem podem ser estabelecidas por meio da redução dos gases de efeito estufa, de energia e dos impactos também à saúde humana, além de proporcionar geração de emprego e fomentar a economia consequentemente (BALDÉ, 2017).

A atribuição de índices de reciclagem, podendo ser nomeado como grau de reciclabilidade, é uma das formas mais representativas ao uso de indicadores de desempenho da política dos três Rs (Redução, Reutilização e Reciclagem), que podem ser incorporados em metas no setor empresarial e público. Utiliza-o na forma de porcentagem que reflete a proporção de materiais recicláveis ou recuperados a partir do resíduo ou também através das matérias-primas secundárias reintroduzidas na geração de um novo produto. Altos índices revelam evolução e progresso nas atividades produtivas de reciclagem, variando de empresa para empresa e de acordo com as especificidades de cada país atuante neste segmento.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 COMPOSIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS

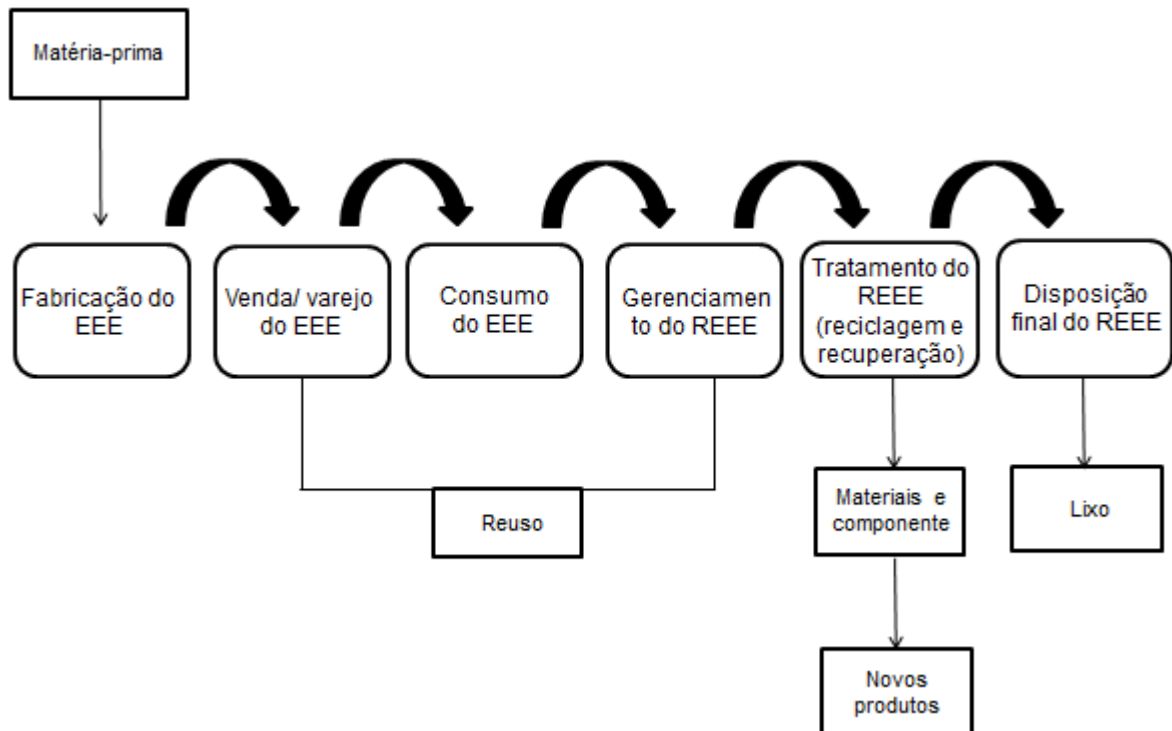
Destaca-se a importância da classificação de equipamento eletroeletrônico e de seus termos associados objetivando conhecer e selecionar os melhores métodos em gerenciar sustentavelmente o resíduo eletroeletrônico.

As características de cada categoria proposta norteiam o melhor processo de tratamento e disposição final aos resíduos eletroeletrônicos. Com isso, o gerenciamento da logística reversa de coleta e da reciclagem realizam-se sob influência de tais fatores.

A geração de resíduo eletrônico provém de uso doméstico, profissional, industrial, institucional entre outros, e depende de vários fatores para o seu crescimento: vida útil do equipamento, necessidade ou importância de renovação de equipamentos pelos usuários ou também de bruscas mudanças tecnológicas que induzem forçadamente a troca de equipamentos eletroeletrônicos.

Sabe-se que o resíduo eletroeletrônico possui uma mistura complexa de materiais que compõem os perigosos e não perigosos que requer especificidades no gerenciamento quanto à coleta, ao transporte, à segregação, ao tratamento e à disposição final, identificando e reduzindo impactos ambientais ali previstos. A partir da Figura 3, identifica-se o ciclo de vida do eletroeletrônico e os processos que desencadeiam o equipamento até tornarem-se resíduo eletrônico.

Figura 3 – Ciclo de vida do eletroeletrônico



Fonte: Adaptado International Labor Organization (2012)

Na Figura 3 há alguns princípios básicos e definições de sustentabilidade ambiental para a gestão do resíduo eletroeletrônico, atribuindo processos relevantes aos equipamentos pós-uso. Nos termos adaptados (ITU, 2016) a seguir evidenciam-se os processos que permeiam a gestão do processo do resíduo eletrônico.

- Reuso/ Reutilização: prorrogação do fim de vida útil do equipamento ou componentes a ser utilizado com a mesma funcionalidade de origem, isso pode ou não incluir uma mudança na propriedade do equipamento. Portanto esse processo proporciona otimizar os recursos disponíveis, de forma que estejam em pauta os riscos sociais ou ambientais ali associados.
- Desmontagem e segregação: envolve a separação manual das partes e componentes de uma peça de equipamento em desuso. É sugerido que essa atividade seja realizada por empresas de reciclagem autorizadas e especializadas em acondicionamento.
- Reciclagem e recuperação: envolve a recuperação de dispositivos, componentes e materiais. A separação dos constituintes pode ser feita manualmente ou semi-manual. A recuperação de materiais faz parte do

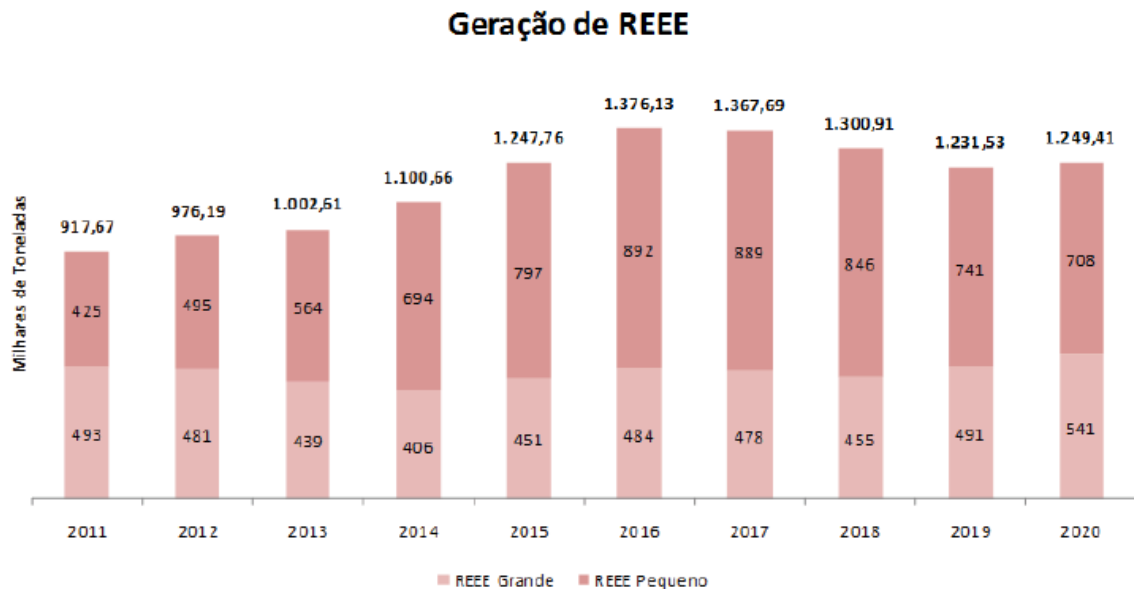
processo de reciclagem do resíduo eletroeletrônico, especialmente para recuperação, que requer instalações especializadas e investimento.

- Reforma (Refurbish): refere-se a qualquer processo que permita a reutilização do eletrônico que anteriormente era um resíduo eletrônico, inclui mudanças em hardware e software.
- Disposição final: materiais não recuperáveis podem ser descartados em aterros controlados ou incinerados.

Para o gerenciamento do resíduo eletroeletrônico sempre deve ser levado em conta os princípios dos “3R’s”, redução, reutilização e reciclagem, a fim de minimizar a sua geração ao longo do seu ciclo de vida, conforme Figura 3.

Foi estimado para o ano de 2018 que a geração de resíduos eletroeletrônicos no Brasil, conforme Figura 4, seria mais de 1.300 milhares de toneladas, representando aproximadamente 35 % nos itens classificados como linha branca, e o restante dentre as linhas marrom, azul e verde. Classificações atribuídas no Brasil por meio de linhas e cores que relatam funcionalidade e especificidades de cada família de eletroeletrônico.

Figura 4 – Geração de resíduos eletroeletrônicos no Brasil



Fonte: INDUSTRIAL (2013).

3.2 MANUFATURA REVERSA E AS NORMAS TÉCNICAS DO SETOR

A manufatura reversa é uma estratégia relevante para solucionar problemas ambientais gerados pelo descarte inadequado de equipamentos eletroeletrônicos

com fim de vida útil ou devido à própria obsolescência forçada. Define-se manufatura reversa como um processo pelo qual os produtos manufaturados antigos ou os refugos de fabricação retornam ao processo produtivo objetivando a descaracterização e a valoração dos resíduos gerados posteriormente. Levam-se em consideração aspectos econômicos, ambientais e sociais e contam com a participação de toda a cadeia produtiva, inclusive do próprio consumidor final (AGUIAR; VIZENTIM, 2011).

A partir da manufatura reversa são inseridos os processos de remanufatura e de desmanufatura conectados à prática da logística reversa visando à disponibilidade e acúmulos de resíduos. Remanufatura visa à recuperação de equipamentos sem condições de uso e, ao praticar a substituição de peças e o condicionamento, é possível reutilizar para a mesma finalidade inicial. Já a desmanufatura visa à desmontagem dos aparelhos para componentes e peças reduzidas a serem destinadas sob foco de reciclagem ou para destinação ambientalmente adequada Realff et al., (2004).

A manufatura reversa dos resíduos eletroeletrônicos em geral pode ser dividida em três partes: a desmontagem, que tem como objetivo a separação dos materiais nocivos ou dos materiais e componentes com valoração econômica; a utilização de processos físicos e/ou mecânicos e/ou metalúrgicos para prepará-los visando o refino; e o último estágio em que as frações são utilizadas para produção de um novo produto, ou seja, a utilizando como matéria-prima secundária Rousis et al., (2008).

Os resíduos eletroeletrônicos são compostos por uma variedade de materiais, plásticos, metais, vidros, componentes eletrônicos, além da presença de mais 20 tipos de metais pesados. Todos esses materiais estão dispostos em camadas e subcomponentes que se fixam por meio de soldas ou colas. Pode-se também receber jatos de substâncias com especificidades, por exemplo, retardantes de chama cujas moléculas possuem elementos halogenados altamente reativos, como o cloro e o bromo. Apesar de sua eficiência na questão de inibição ou eliminação da propagação do fogo, preocupa-se quanto o seu impacto ambiental e sobre a saúde humana.

Os retardantes de chama, à base de compostos halogenados presentes nos plásticos, foram banidos em muitos países por conta de determinações governamentais, como a diretiva europeia Restrictions of Hazardous Substances (RoHS), que significa restrição de substâncias perigosas (RODA, 2014).

Atualmente no âmbito nacional, se discute a regulação da reciclagem do plástico de produtos eletroeletrônicos que contenham Poluentes Orgânicos Persistentes (POP's), dentre eles o próprio bromo utilizado como retardantes. Apesar da formulação do retardantes de chama já ter sido banida desde 2004, o plástico com contaminantes ainda está em circulação, em virtude da sua reintrodução na reciclagem e da geração de novos insumos conseqüentemente. A decisão de se regular faz parte dos compromissos assumidos pelo Brasil na Convenção de Estocolmo a respeito dos POP's, a qual determina que os signatários eliminem tais substâncias do processo de reciclagem do plástico e adotem formas de controlar toda a etapa do ciclo de vida do material (MMA, 2016).

Logo, é evidenciado que a manufatura reversa desses equipamentos apresente alta complexidade quanto à separação dos componentes e ao tratamento, gerando elevados custos e impactos ambientais. Necessita-se, portanto, de procedimentos diferenciados no que tange a extração dos materiais tanto sob concentrações de grande escala até microscópicas, além da inserção de gestão ambiental ao manuseio e ao tratamento desses resíduos eletroeletrônicos, levando-se em conta os itens perigosos pertencentes a suas formulações.

Especificidades no gerenciamento de resíduos eletroeletrônicos também se fundamentam pelos itens que apresentam potencialmente toxicidade, além de composições nocivas como a presença de retardantes de chama, há a presença de metais pesados em determinados equipamentos, como por exemplo, alumínio, arsênio, cádmio, bário, cobre, chumbo, mercúrio, cromo (DA SILVA, 2007).

Os metais pesados citados apresentam riscos provenientes tanto da contaminação direta a partir do manuseio dos resíduos quanto do acondicionamento incorreto no meio ambiente. A primeira pode ocorrer desde o uso de equipamentos obsoletos quanto da manipulação do resíduo nas atividades de coleta, triagem, descaracterização e reciclagem. Já a segunda possibilidade ocorre a partir de

deposição de resíduos eletroeletrônicos diretamente na natureza ou dispostos junto ao rejeito orgânico (INDUSTRIAL, 2013).

A Figura 5 relaciona os metais pesados provenientes dos resíduos eletroeletrônicos e os respectivos danos causados ao ser humano.

Figura 5. Metais pesados e principais danos

Elemento	Principais danos causados à saúde humana
Alumínio	Alguns autores sugerem existir relação da contaminação crônica do alumínio como um dos fatores ambientais da ocorrência de mal de Alzheimer.
Bário	Provoca efeitos no coração, constrição dos vasos sanguíneos, elevação da pressão arterial e efeitos no sistema nervoso central.
Cádmio	Acumula-se nos rins, fígado, pulmões, pâncreas, testículos e coração; possui meia-vida de 30 anos nos rins; em intoxicação crônica pode gerar descalcificação óssea, lesão renal, enfisema pulmonar, além de efeitos teratogênicos (deformação fetal) e carcinogênicos (câncer).
Chumbo	É o mais tóxico dos elementos; acumula-se nos ossos, cabelos, unhas, cérebro, fígado e rins; em baixas concentrações causa dores de cabeça e anemia. Exerce ação tóxica na biossíntese do sangue, no sistema nervoso, no sistema renal e no fígado; constitui-se veneno cumulativo de intoxicações crônicas que provocam alterações gastrintestinais, neuromusculares e hematológicas, podendo levar à morte.
Cobre	Intoxicações com lesões no fígado.
Cromo	Armazena-se nos pulmões, pele, músculos e tecido adiposo, pode provocar anemia, alterações hepáticas e renais, além de câncer do pulmão.
Mercúrio	Atravessa facilmente as membranas celulares, sendo prontamente absorvido pelos pulmões. Possui propriedades de precipitação de proteínas (modifica as configurações das proteínas), sendo suficientemente grave para causar um colapso circulatório no paciente, levando à morte. É altamente tóxico ao homem, sendo que doses de 3g a 30g são fatais, apresentando efeito acumulativo e provocando lesões cerebrais, além de efeitos de envenenamento no sistema nervoso central e teratogênicos.
Níquel	Carcinogênico (atua diretamente na mutação genética).
Prata	10g na forma de Nitrato de Prata são letais ao homem.

Fonte: (INDUSTRIAL, 2013).

Para minimizar o risco de contaminação, é imprescindível o uso de equipamentos de proteção individual em qualquer etapa de manuseio e processamento destes resíduos. Além disso, deve-se evitar a deposição de tais resíduos em contato direto ao solo, eliminando possíveis impactos ambientais como a contaminação de lençóis freáticos ou até mesmo o acúmulo nos seres vivos.

Deve-se ressaltar que, mesmo diante de todos os perigos associados às composições químicas do resíduo eletroeletrônico, há um mercado expressivo caracterizado por práticas de baixíssimos padrões ambientais e precárias condições

operacionais, o qual países industrializados enviam seus respectivos resíduos aos países em desenvolvimento e geram impactos notoriamente negativos (REIDLER, 2012). Tornou-se comum exportar sucatas eletrônicas mascaradas como equipamentos novos a preços reduzidos e com certa funcionalidade, transferindo, portanto, a outro local a responsabilidade do gerenciamento dos equipamentos pós-consumo, e com isso há também as devidas composições químicas inseridas de alto risco ao meio ambiente e ao ser humano que necessitam de tratamento ambientalmente adequado.

Diante desse cenário, é considerável destacar o papel da Convenção da Basileia, que em 1989 estabeleceu um mecanismo internacionalmente harmonizado de Controle dos Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito que objetiva coibir o tráfico ilegal e prevê fortalecimento da cooperação internacional à gestão ambientalmente adequada dos resíduos perigosos (AMBIENTE, 2018).

Na contramão de práticas incorretas e não seguras no que tange o manuseio e o processamento dos resíduos eletroeletrônicos, há também o surgimento de normas do segmento da reciclagem que visam o tratamento adequado dos resíduos em relação à saúde e à segurança do operador e ao meio ambiente, podendo viabilizar o processo de manufatura reversa dos equipamentos eletroeletrônicos pós-consumo.

Ao considerar a cronologia da implantação de normas brasileiras no tema específico de manufatura reversa de eletroeletrônicos, podem ser citadas a ABNT NBR 15833 de 2010, nomeada Manufatura reversa-aparelhos de refrigeração, e em seguida, em 2013, a ABNT NBR 16156, nomeada Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos – Requisitos para atividade de manufatura reversa (ABNT, 2010; ABNT, 2013).

A primeira norma prescreve:

Procedimentos para o transporte, armazenamento e desmonte com reutilização, recuperação dos materiais recicláveis e destinação final de resíduos de aparelhos de refrigeração. Esta Norma se aplica aos seguintes aparelhos (...) a-) refrigerador doméstico e comercial; b-) congelador doméstico e comercial (horizontal e vertical); c-) combinado (refrigerador e congelador) doméstico e comercial; d-) condicionador de ar com capacidade até 17600 watts (60000 BTUs/h) ABNT (2010).

(...) Recomenda-se que os critérios descritos nesta Norma sejam adaptados e utilizados para os demais aparelhos e equipamentos de refrigeração comerciais e industriais, especialmente aqueles relacionados a captação e tratamento de fluidos refrigerantes, fluidos lubrificantes e isolamento térmico com espumas de PU ABNT (2010).

A norma ABNT NBR 15833 menciona, portanto, condições desde o momento do carregamento do equipamento de refrigeração até a sua manufatura reversa e destinação dos itens ali presentes, tendo como foco o cuidado com a extração dos gases de refrigeração e do óleo do circuito, além da reciclagem ambientalmente correta do isolamento térmico, objetivando principalmente a captação dos gases CFCs ou seus substitutos utilizados como agentes expansores.

Além disso, a norma mapeia os requisitos ambientais para operação das unidades de manufatura reversa, incluindo licenciamento ambiental, certificado de regularidade junto ao órgão ambiental federal, além de exigir tratativas de acondicionamento, preservação, armazenamento e destinação final de todos os materiais pertencentes à manufatura reversa dos equipamentos de refrigeração, sendo recicláveis ou não.

Já a segunda norma indicada, a ABNT NBR 16156 de 2013, traz de forma mais global o processo da manufatura reversa, que abrange todos os resíduos eletroeletrônicos e focando principalmente em requisitos para a atividade, conforme se define no escopo.

Esta Norma estabelece requisitos para proteção ao meio ambiente e para o controle dos riscos de segurança e saúde no trabalho na atividade de manufatura reversa de resíduos eletroeletrônicos ABNT (2013).

A norma também descreve definições de termos associados ao tema em questão, como, por exemplo, o próprio gerenciamento de resíduos eletroeletrônicos:

(...) conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos eletroeletrônicos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos ABNT (2013).

Além disso, esta norma insere conceitos relevantes à manufatura reversa desses equipamentos objetivando uma gestão mais eficiente. A aplicação dos termos balanço de massa e rastreabilidade validam e aperfeiçoam o processo de reciclagem. Com o balanço de massa é possível comparar a massa de material que entra inicialmente no processo em relação à massa que sai após a realização de todas as operações, com isso estabelecem-se porcentagens de recuperação de materiais e índices norteadores à reciclabilidade em função do processo adotado, podendo mapear quantitativamente os materiais passíveis de reciclagem, de

tratamento e aqueles que devem ser destinados à disposição final ambientalmente correta (ABNT, 2013).

Em relação ao termo rastreabilidade adotado na norma há diversas vantagens em sua aplicação, como a capacidade de recuperar históricos e de localizar o resíduo eletroeletrônico até a respectiva transformação em matéria-prima secundária e em rejeitos direcionados ao tratamento e/ou disposição final. Ao considerar um produto, a rastreabilidade volta-se à origem dos materiais ou das peças, identificando o processamento e distribuição de produtos, com a inclusão do seu caminho efetivamente (ABNT, 2013).

Um dos pontos em comum das duas normas de manufatura reversa é assegurar a gestão dos resíduos perigosos proveniente da reciclagem dos equipamentos com práticas e procedimentos que garantam a proteção ao meio ambiente e a saúde e segurança no trabalho.

Complementada às normas brasileiras de gestão e de manufatura reversa de eletroeletrônicos, há internacionalmente uma certificação voltada às práticas de reciclagem responsável de componentes eletrônicos, chamada Responsible Recycling Standard (R2), e que tem se mostrado presente no mercado brasileiro (SERI, 2018).

Esta certificação, por meio de um órgão certificador externo acreditado, dá amparo aos recicladores de componentes eletrônicos e auxilia os compradores dos serviços (clientes) a tomar decisões com solidez e a confiar em que os equipamentos eletroeletrônicos pós-consumo e no final de vida útil sejam gerenciados de forma ambientalmente responsável, protegendo a saúde e segurança dos funcionários e do público, além dos dados dos dispositivos de mídia permanecer seguros até a respectiva destruição (SERI, 2018).

Entretanto, o escopo da certificação da R2 não se aplica a produtos da linha branca, eletrodomésticos, equipamentos médicos ou automóveis que podem conter equipamentos eletrônicos. A R2 volta-se a equipamentos como desktops e respectivos periféricos (teclado, alto-falantes, mouse, impressora entre outros), monitores com tubo de raios catódicos (CRT), televisores laptop, equipamentos de telecomunicações e de ponto de venda (PDV), copiadoras, celulares e componentes eletrônicos para uso pessoal (SERI, 2018).

A cadeia de reciclagem nesta certificação engloba todas as entidades compreendidas na movimentação da reciclagem de equipamentos eletrônicos e que lidaram com equipamentos, componentes ou materiais que passaram pela instalação ou pelo domínio de um reciclador de componentes eletrônicos (SERI, 2018).

Atualmente já possuem seis recicladores com certificação R2 no Brasil, segundo o site Sustainableelectronics.org (2018). Ou seja, a preocupação com a manufatura reversa adequada e com gerenciamento de resíduos eletroeletrônicos está crescente e o próprio mercado vem exigindo isso, por meio de certificações deste segmento ou pela inserção de normas técnicas nas unidades de manufatura reversa voltadas a esse tema.

3.3 AVALIAÇÃO DOS REES E OS DESAFIOS DA RECICLAGEM

A partir do contexto da manufatura reversa de equipamentos eletroeletrônicos, foi estabelecida a seleção dos equipamentos pós-consumo no estudo proposto dentre as categorias de linhas branca, marrom e verde, focando-se nas tipologias dos materiais ali presentes, suas devidas porcentagens e também nos itens nocivos voltados à necessidade de tratamento e disposição final.

A partir de um refrigerador comercial tipo expositora de 61,5Kg, vertical com porta de vidro, de 378 l, foram obtidas as seguintes composições médias e as porcentagens médias (em peso) pós-processo de manufatura reversa, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Composições e porcentagens do refrigerador comercial

Composição	Porcentagem média (peso)
Metais ferrosos	58,0%
Porta de vidro	11,5%
Compressor e micromotor	11,0%
Isolamento térmico	10,0%
Plástico	4,5%
Metais não ferrosos	3,5%
Rejeito	1,5%

Após o processo de reciclagem, destacam-se os metais ferrosos conforme Figura 6, que possuem quantidades expressivas em relação aos demais materiais ali presentes. Sob o âmbito da reciclagem e do ciclo produtivo do material tal fato é

satisfatório, pois o metal ferroso é 100% reciclável e apresenta características que possibilitam recuperá-los novamente diversas vezes, sem que haja perdas de suas propriedades e de forma que a extração de recursos naturais seja minimizada conseqüentemente.

Figura 6. Metal ferroso gerado pós-reciclagem



Fonte: Imagem fornecida pela empresa do setor

A sucata de metal ferroso retorna ao setor produtivo a partir das seguintes etapas: primeiramente, na unidade de reciclagem, se faz a trituração e triagem desse metal, em escala superior, utiliza-se de separadores eletromagnéticos e posteriormente são enviados às unidades de transformação do material para que os metais ferrosos sejam aquecidos e fundidos, atingindo temperaturas de 1550° C. Diante disso, ele passa ao estágio líquido e é lingotado e moldado na forma de tarugos e placas metálicas para finalmente serem cortados e conformados para atingir formatos de perfis, de chapas ou de barras de aço (VEIT, 2018).

Atualmente no Brasil aproximadamente 30% da produção de aço provêm da reciclagem conforme informações do INSTITUTO AÇO BRASIL (2016). Independente do seu ciclo da reciclagem é possível produzir novos aços que se aplicam em diversos segmentos, tendo também sua representatividade no setor de eletrodoméstico.

Evidencia-se que a somatória de metais ferrosos presentes no equipamento excede à quantidade determinada na Tabela 1, pois os metais ferrosos também estão

presentes nos compressores e motores, podendo atingir porcentagens acima de 85 e 70% de ferro em peso respectivamente.

Ao focar-se nos metais, os não ferrosos possuem uma concentração em peso significativamente inferior com aproximadamente 3,5% compostas por alumínio e cobre majoritariamente. Apesar dessa inferior porcentagem, apresentam de forma semelhante aos metais ferrosos grande vantagem, visto que possuem como característica a possibilidade de inúmeras vezes serem reprocessados sem perder suas propriedades, tendo também o processo de refusão como meio de recuperação da matéria-prima.

Dentro dessa categoria, há o metal alumínio que se evidencia pelas propriedades como resistência à corrosão, condutibilidade, impermeabilidade, alta relação resistência/ peso entre outras (Cardoso et al.,2018).

O alumínio pode estar na forma de blocos, chapas, folhas, latas, perfis, panela. Enfatiza-se esse metal por conta de redução representativa da extração de bauxita poupada: a cada 1000 Kg de alumínio reciclado evita-se extrair 5000 Kg de minério bruto. Além disso, reciclar o alumínio gera-se uma economia de 95% de energia ao compará-lo à produção de alumínio primário (Cardoso et al.,2018).

Em relação ao cobre, presente principalmente em tubulações, cabos e internamente aos compressores e motores possuem propriedades de condutividade elétrica e térmica, facilidade em junções, e resistentes mecanicamente e à corrosão, os quais se recuperam diversas vezes e com um diferencial, geram uma mínima ou nenhuma quantidade de lixo residual de forma que atinja uma economia de 85% em relação à produção primária (Cardoso et al.,2018).

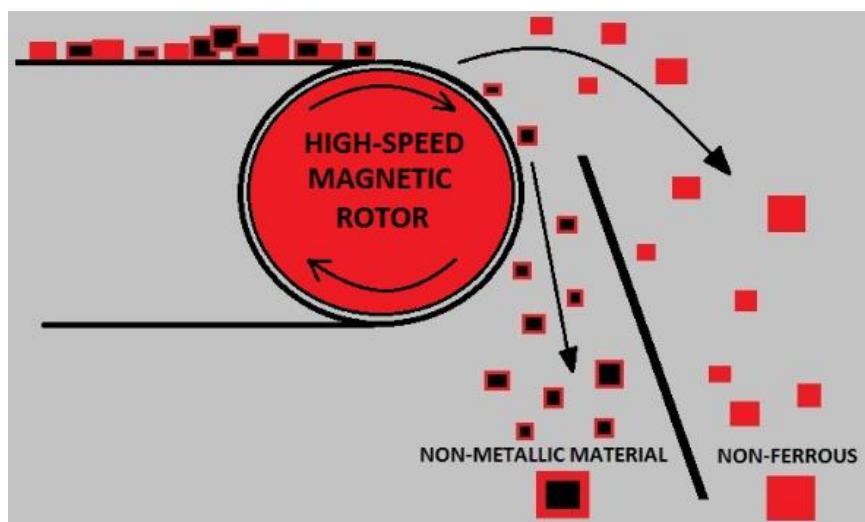
O processo de triagem dos metais não ferrosos e ferrosos se torna simples uma vez que é possível a utilização de equipamentos ou dispositivos eletromagnéticos, entretanto, posteriormente a esse estágio, dificulta-se a separação dos não ferrosos na obtenção de alto grau de pureza e rentabilidade. O alumínio e o cobre podem ser triados por métodos visuais devido às cores distintas e com a utilização de mão de obra, porém, em larga escala, necessita de equipamentos mais avançados tecnologicamente. Um exemplo é a utilização de sensores de raios-X que podem identificar e separar o alumínio dos demais metais potencialmente presentes, como o cobre, porém nacionalmente há pouca acessibilidade no setor.

Em relação aos plásticos, também é possível utilizar de métodos manuais de separação em relação às demais famílias de materiais, caracterizados por processos mais simples e não eficientes em larga escala. Há no mercado equipamentos que viabilizam em larga escala a separação de metais dos plásticos. Um dos exemplos é o separador de metais não ferrosos, também conhecidos como separador de corrente *Eddy Current*, tendo como principal área de atuação nas unidades de reciclagem de sucata metálica e eletrônica. Ele é constituído conforme Inbras (2018).

Ele é constituído basicamente por um transportador de correia, que conduz o material a ser tratado, um alimentador vibratório para dosar e distribuir o material sobre a largura da correia do transportador (isso permite melhorar a eficiência na separação), um rotor de separação dos metais, motores de acionamento, estrutura de sustentação, além de um painel elétrico de comando Inbras (2018).

O rotor gira em altas velocidades de forma que uma corrente elétrica seja induzida na condução de metais, diante disso se produz um campo magnético que se opõe ao campo gerado pelo rotor fazendo com que repila os metais condutores sobre uma placa de separação preposicionada. Diante disso, os materiais remanescentes, por exemplo, o plástico, cai livremente sobre o rotor se separando dos demais metais repelidos, como ilustra a Figura 7.

Figura 7. Princípio do sistema separador Eddy Current



Fonte: MASTER MAGNETS LTD, 2013.

Após a separação do plástico dos demais metais, salienta-se que a reciclagem dos plásticos apresenta peculiaridades e grandes desafios ao respectivo processo de

recuperação de seu material, o qual, não só por questões econômicas e tributárias, mas também pela composição, possuem características térmicas que restringem diretamente o seu processo pós-consumo, como é o caso dos termofixos/termorrígidos: plásticos que após aquecimento promovem decomposição do constituinte antes mesmo de sua fusão, prejudicando a sua recuperação.

Em contra partida, há os termoplásticos, materiais que podem ser fundidos diversas vezes, tendo como exemplo o poliestireno (PS), presentes em utensílios domésticos como gavetas e em peças de refrigeradores. Pós-processado é visto conforme Figura 8 com a maior porcentagem diante dos demais plásticos ali compostos, aproximadamente 70% em peso.

Figura 8. Plásticos pós-processados



Fonte: Imagem fornecida pela empresa do setor

A reciclagem mecânica dos plásticos, tipo mais comum aplicado no segmento de recuperação do material, consiste em transformar plásticos descartados pós-indústria ou pós-consumo em grânulos, visando reutilizá-los na produção de outros produtos, tendo como etapas: triagem, moagem, lavagem, aglutinação e extrusão. Esta última fundamenta-se em fundir o material e gerar homogeneidade a fim de se produzir material granulado novo ou reciclado (PLÁSTICO VIRTUAL, 2017).

Por meio da gravidade, o material cai sobre uma rosca que o levará dentro de um cilindro aquecido passando pelas três zonas: alimentação, compressão e dosagem.

A zona de alimentação tem por função o aquecimento do material aproximando à temperatura de fusão e posteriormente transportá-lo à próxima etapa. (PLÁSTICO VIRTUAL, 2017).

Por isso, para considerar a reciclagem efetiva do plástico, previamente às etapas, é necessária a triagem dos mesmos, pois impacta diretamente na temperatura de aquecimento previamente mencionada. Diferentes plásticos possuem diferentes pontos de fusão e, portanto, viabilizar reciclagem de plásticos misturados, principalmente em granulometrias reduzidas, torna-se uma tarefa complexa de ser alcançada, tendo como requisitos prévios a segregação dos materiais, exigindo mão de obra especializada, além de avançadas tecnologias que viabilize a operação.

Além da separação dos plásticos distintos, é importante fazer a triagem dos plásticos em relação a outros materiais como os metais e demais impurezas que possam inviabilizar o processo da reciclagem novamente. Soldas, colas, aditivos, camadas de outras composições dentre outros contaminantes também requerem atenção. Isso pode ser exemplificado dentro das próprias composições geradas do refrigerador comercial mencionado.

As portas de vidro, visando à exposição do produto de consumo disposto internamente, exigem de portas transparentes para tal finalidade. Entretanto, pode ser observada na Figura 9 a presença de uma mistura de materiais que inviabilizam a triagem prévia como forma de recuperar os constituintes separadamente.

Figura 9. Misturas de materiais inseridos nos batentes de porta



Fonte: Imagem fornecida pela empresa do setor

A partir da Figura 9 é possível identificar camadas com vidro, plástico, alumínio dentre outros materiais que dificultam estágios preliminares à reciclagem efetiva, logo, impedindo que a princípio os recupere novamente, dando margem a tratativas de disposição final, dessa maneira fica na contra mão da hierarquia estabelecida das ações de manejo de resíduos sólidos proposto na Lei 12.305/2010.

Além desses materiais no equipamento de refrigeração, nota-se a presença de itens que apresentam dificuldades em seu manejo e que requerem cuidados e tratamentos específicos, como é o caso do isolamento térmico de poliuretano, que contém gases responsáveis por expandir o material objetivando o isolamento térmico. O poliuretano de refrigeração é um termorrígido a partir da polimerização do isocianato com o polioliol e demais aditivos e são acompanhados por expansões químicas e físicas simultaneamente. Possuem pequeno tamanho em suas células, o que dificulta a condução do calor, por isso são excelentes materiais no segmento da refrigeração, além de vantagens como espessura mais fina de forma que aumente a capacidade interna desses equipamentos (CANAUD, 2007), porém com grandes desafios em promover sua reciclagem.

Por fim, dentro da composição do refrigerador comercial há o gás de expansão, proveniente das espumas de poliuretano, e o gás de refrigeração, pertencente ao sistema de refrigeração do aparelho, os quais podem apresentar periculosidades ao meio ambiente devido às suas formulações de clorofluorcarbonetos - CFC's e seus substitutos que necessitam de tratamentos finais por meio de centrais de regeneração ou unidades de reciclagem, fomentados inclusive por planos nacionais de eliminação e gerenciamento dos passivos por conta dos riscos de destruírem a camada de ozônio.

A presença de capacitor, de lâmpada fluorescente e do óleo do compressor também requer tratamento ambientalmente adequado e estão inseridos na porcentagem de "Rejeitos". Além desses, estão somados as sobras do processo (varrição e poeiras) cujo destino é a disposição final por meio de aterros, tal destino ocorre devido ao esgotamento de possibilidade de seleção, reciclagem e de tratamento desses materiais.

Diante desse cenário, resulta-se, portanto em taxas de reciclagem inferiores aquilo que se espera ou se propõe na Tabela 1, em virtude da complexa segregação e

separação dos materiais e daqueles itens que apresentam periculosidade ao meio ambiente e à saúde humana, proporcionando a necessária busca de tecnologias mais avançadas e de metodologias específicas de manejo.

Na prática, esse número de rejeitos pode ser multiplicado diversas vezes, dependendo da tecnologia aplicada e do conhecimento efetivo do processo de reciclagem dos materiais, atribuindo, portanto, custos extremamente elevados para o seu manejo, tratamento e disposição final, além de dificultar a valoração comercial das respectivas frações geradas e a reintrodução dos materiais no ciclo produtivo.

b-) Para a máquina de lavar com peso médio 32 Kg, geraram-se as seguintes composições médias (em peso) pós-manufatura reversa, conforme Tabela 2.

Tabela 2. Composições e porcentagens da máquina de lavar

Composição	Porcentagem média (peso)
Metais ferrosos	40,0%
Plástico	33,0%
Motor	13,0%
Metais não ferrosos	8,0%
Outros	3,25%
Concreto	0,8%
Borracha	0,5%
Vidro	0,30%
Rejeito	0,60%
Capacitor	0,30%
Placa de circuito	0,25%

De forma semelhante ao refrigerador comercial, a porcentagem de metais ferrosos dispara em relação aos demais, o que representa acima de 50 % em peso, fato que favorece o processo de recuperação desses materiais. Na composição do motor encontram-se mais de 70 % em ferro e aproximadamente 25% em alumínio.

Após a manufatura reversa da máquina de lavar, ressaltam-se particularidades nos plásticos, nos metais não ferrosos e no concreto.

Plásticos também possuem tratativas de reciclagem, entretanto tem que se evidenciar a qualidade desses materiais para serem viáveis economicamente. Assim como se deve atentar a mistura de resinas no processamento de materiais, o mesmo deve ocorrer para formulação de produtos que se compõem com demais

constituintes de outras famílias, por exemplo, plásticos reforçados com algum tipo de fibra. Apesar de maximizar propriedades e ampliar funcionalidades, o composto final traz como desvantagens os entraves de sua recuperação pós-consumo.

As Figuras 10 e 11 evidenciam uma cuba pós-processo de desmontagem e a identificação da composição do material respectivamente, base polimérica com reforço de fibra de vidro (PP + 30 GF).

Figura 10. Cuba de máquina de lavar pós-processo



Fonte: Imagem fornecida pela empresa do setor

Figura 11. Identificação da composição do material



Fonte: Imagem fornecida pela empresa do setor

As dificuldades em valorar o resíduo não estão apenas na formulação da composição do material, mas também nas dificuldades de separação, requerendo dispositivos mais sofisticados que permitam a extração e separação garantida dos materiais. Na Figura 12 é ilustrada a porta de vidro desmontada com as respectivas peças plásticas pertencentes, evidenciam-se, na mesma funcionalidade, peças do tipo ABS, PP+TD20 cinza e PP+TD20 branco. A nomenclatura TD20 refere-se à presença de 20% de talco, dificultando ainda mais o processo de reciclagem desse material.

Figura 12. Identificação da composição do material



Fonte: Imagem fornecida pela empresa do setor

Outro exemplo é a fixação da cuba de plástico e a da cuba de inox internamente ou o próprio eixo ferroso na parte central da cuba plástica, requerendo de dispositivos e equipamentos apropriados, prensa, por exemplo, para a separação dos dois materiais, conforme da Figura 13.

Figura 13. Identificação da composição do material



Fonte: Imagem fornecida pela empresa do setor

Além disso, há blocos de concreto revestido de plástico para atuar como contrapeso no equipamento, portanto, atribuem-se mais dificuldades na questão operacional e na busca de soluções de tratamento pós-consumo, conforme Figura 14.

Figura 14. Bloco de concreto na máquina de lavar



Fonte: Imagem fornecida pela empresa do setor

Além disso, é considerável a porcentagem de “outros” que se referem a tudo aquilo que não foi viável separá-los e, portanto atribuem-se às destinações de tratamento ou à disposição final.

Ou seja, a porcentagem de rejeitos excede o 0,5% mencionado na Tabela 2 e trás preocupações em viabilizar a recuperação dos materiais pós-consumo.

c-)Em relação ao equipamento de linha marrom, representado pelo televisor de tubo com peso médio de 24 Kg, foram gerados, conforme Tabela 3, as composições médias (em peso) e as respectivas porcentagens pós-processo de manufatura reversa.

Tabela 3. Composições e porcentagens do televisor de tubo

Composição	Porcentagem média (peso)
Tela + tubo	74,0%
Plástico	16,0%
Placa eletrônica	5,0%
Metais não ferrosos	2,3%
Metais ferrosos	1,5%
Outros	1,2%

Identifica-se componentes plásticos e metálicos os quais são possíveis reaproveitá-los, entretanto, o processo reverso de desmontagem do televisor de tubo compõe uma porcentagem alta de material que não é possível reciclar, que requer tratamento específico quanto ao manuseio dos componentes tóxicos ali presentes, compondo por 74% em peso de todo material e que necessita da descontaminação dos constituintes. Tal fato já revela que a taxa de reciclagem desse material é extremamente baixa e requer também processos onerosos de operação a respeito da descontaminação do tubo de raios catódicos para posteriormente ser aproveitado com a extração de seus constituintes.

As Figuras 15 e 16 identificam a tela e o tubo de raios catódicos respectivamente, após desmontagem das demais peças pertencentes ao televisor.

Figura 15. Tela do televisor



Fonte: Imagem fornecida pela empresa do setor

Figura 16. Tubo de raios catódicos do televisor



Fonte: Imagem fornecida pela empresa do setor

Segundo CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO (2016), o óxido de chumbo está presente nos televisores que usam tubos de raios catódicos, com

concentrações maiores no pescoço e no funil, o seu incorreto manuseio pode expor óxido de chumbo e potencial dados ao sistema nervoso e sanguíneo. Além disso, há na tela de tubos de raios catódicos óxido de bário, potencial causador de edema cerebral fraqueza muscular, danos ao coração, fígado e baço.

A Figura 17 fornece a composição química de um tubo de raios catódicos por espectroscopia de fluorescência de Raios X. Nota-se a presença significativa de óxido de chumbo principalmente no funil e no pescoço do tubo de raios catódicos (CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 2016).

Figura 17. Composição química do tubo de raio catódico

Óxido	Amostra		
	Painel (wt%)	Funil (wt%)	Pescoço (wt%)
SiO₂	66,50	59,30	56,20
PbO	0,03	19,60	22,10
K₂O	6,65	6,98	6,69
Na₂O	7,38	5,78	5,55
CaO	1,57	3,40	3,28
BaO	6,25	nd	0,17
SrO	6,79	0,06	0,08
Al₂O₃	1,79	1,77	1,79
Fe₂O₃	0,38	0,83	1,39
ZrO₂	1,49	0,03	0,02
Co₃O₄	0,01	0,01	0,02
TiO₂	0,42	0,03	0,15

Fonte: Kasper et al. (2009).

d-) Quanto ao equipamento da linha verde, os dados obtidos foram a partir de um celular com peso médio de 100 g e, conforme Tabela 4, determinam-se as composições médias (em peso) e as respectivas porcentagens previamente ao processo de manufatura reversa.

Tabela 4. Composições e porcentagens do celular (Smartphone)

Composição	Porcentagem média (peso)
Carcaça	22,21%
Bateria	21,46%
Display	17,61%
Placas de circuito impresso (PCI)	17,53%
Outros	12,47%
Outros polímeros	4,7%
Metais	4,04%

Fonte: Adaptado RESÍDUOS SÓLIDOS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS (2016)

O aparelho celular é composto principalmente por quatro partes: carcaça plástica e metálica, tela e teclado, bateria e PCI. Com o avanço tecnológico surgiram as telas sensíveis ao toque, dentre os materiais, há a composição da liga metálica formada por 90% de Índio e 10% de estanho. Já a carcaça metálica provém de derivados de bauxita e a carcaça plástica a partir de misturas de polímeros e as baterias, podendo ser de níquel e cádmio e as de íon lítio (COUTO, 2016).

Placas de circuito possuem diversos metais e apesar de possuíram metais tóxicos, também contem elementos valiosos ao ser humano, fomentando-se a recuperação desses elementos.

As placas de circuito possuem três categorias em função do teor de metais valiosos, de baixo valor (<10 ppm de ouro), de médio valor (100 a 400 ppm de ouro) e alto valor (acima de 400 ppm de ouro). As PCIs dos aparelhos celulares possuem maior atrativo em relação aos demais componentes (COUTO, 2016). Já as baterias possuem como composição metais poluentes, logo resulta em tecnologias aprimoradas para o respectivo tratamento. Não só à questão ambiental, mas também estarem inseridos elementos com valores econômicos significativos (COUTO, 2016).

Utiliza-se geralmente plástico de engenharia na fabricação de carcaças (policarbonato – PC e acrilonirila-butadieno-estireno – ABS principalmente) e outras com metais na concepção da carcaça, objetivando resistência e proteção aos componentes internos. Quanto aos materiais citados, pode-se dizer que são passíveis de reciclagem, entretanto deve-se verificar a influência de misturas de

materiais e polímeros para que a taxa de recuperação dos materiais não inviabilize a operação (COUTO, 2016).

Afirma-se que 65 a 80% dos componentes dos aparelhos celulares podem ser reciclados, porém apenas 2% dos aparelhos fabricados no Brasil são encaminhados à reciclagem, conforme pesquisa feita pela empresa Nokia e 10% se descartam no lixo comum (KASPER, 2011).

Ressalta-se que, dentro do cenário brasileiro, o resíduo eletroeletrônico, principalmente quanto às placas de circuito impresso, não possui tecnologia disponível que vise à extração de seus metais, com destaque aos metais raros provenientes de placas de equipamentos do segmento de informática e de telecomunicação. A recuperação dos elementos minerais das placas de circuito impresso ocorre em outros países, como a Bélgica; no Brasil ocorrem apenas a coleta, a segregação e a trituração dos materiais.

Avalia-se que os equipamentos eletroeletrônicos pós-consumo na teoria podem apresentar taxas de reciclagem superiores em virtude dos seus constituintes e da possibilidade de recuperação devido às propriedades intrínsecas ao material. Porém é sabido que na prática há desafios e entraves no manuseio, na triagem, na reciclagem e na própria destinação ambientalmente adequada, requerendo de avançada tecnologia e know-how que viabilize a operação de separação dos materiais consequentemente.

3.4 ASPECTO LEGAL E OPERACIONAL DA LOGÍSTICA REVERSA E SUAS IMPLICAÇÕES NOS REEES

Segundo PRADO FILHO (2018), menos de 3% dos equipamentos eletroeletrônicos é reciclado considerando uma geração anual de mais de 1,4 milhões de toneladas no Brasil, sendo que 140 mil toneladas, representados por 10% desse montante, são equipamentos de informática e de telecomunicações. Para viabilizar a coleta da maioria desses itens descartados, utiliza-se da aplicação da logística reversa, entendida, segundo a própria legislação Lei 12.305/2010 no artigo 3º, como:

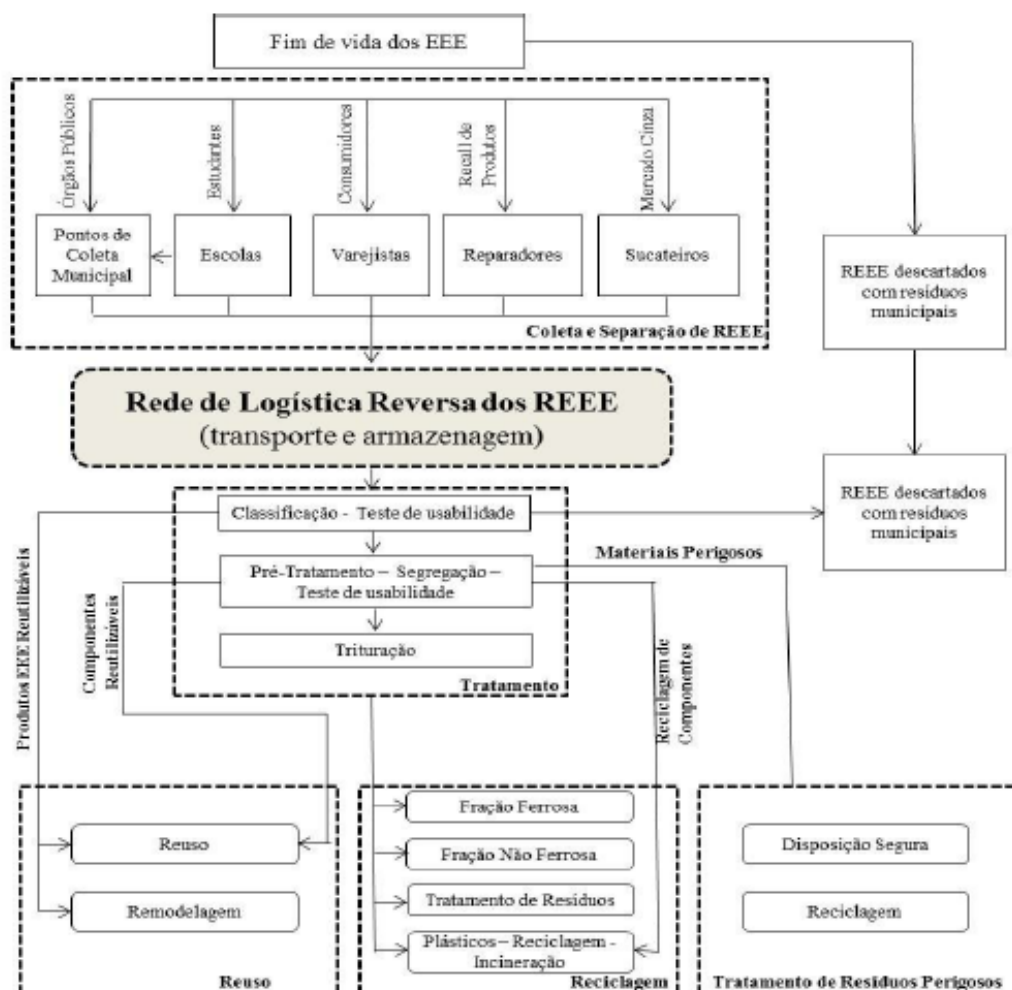
(...) instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para

reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

A logística reversa também possibilita que os materiais recicláveis de um equipamento eletroeletrônico, idealmente no final de vida útil, retornem ao processo produtivo como fonte de matéria-prima, além de dar o encaminhamento ambientalmente adequado para aqueles materiais não passíveis de reciclagem.

A estrutura de Logística Reversa para resíduos eletroeletrônicos detalha, conforme modelo proposto da Figura 18, os processos e as possibilidades de operação após o respectivo fim de vida útil. Segundo Achillas et al. (2010) são mencionados os potenciais cenários de reuso e de reciclagem do equipamento posteriores às atividades de classificação, testes de uso, segregação e trituração (LEMOS; VIEIRA 2016).

Figura 18. Modelo das operações de logística reversa de eletroeletrônicos



Fonte: Achillas et al. (2010)

Apesar do mapeamento representativo da cadeia reversa do eletroeletrônico pós-uso, é necessário identificar as interações e as modalidades de parceria entre esses elos. E os grandes desafios dessa operação são justamente a interação entre as partes envolvidas, os atores da cadeia produtiva: clientes, intermediários ou consumidores finais (LEMOS; VIEIRA, 2016).

Podem ser citadas algumas dificuldades na coleta de resíduos eletrônicos, por exemplo, em virtude dos itens nocivos à saúde e ao meio ambiente e que dificultam a separação dos materiais. Outro fator é a presença de intermediários no processo, comumente nomeados de “atravessadores”, que possibilitam condições inferiores de qualidade, além de questões de confiabilidade de entrega ou também pela mão de obra não qualificada envolvida, sendo fundamental, portanto, maiores investimentos em conhecimento e tecnologia principalmente.

A logística reversa já existe em sua prática especificadamente para alguns produtos, como são os casos do pneu, do óleo lubrificante, das embalagens de agrotóxicos, das pilhas e das baterias (CETESB, 2018), que, há mais de dez anos, já possuem um sistema consolidado do retorno desses produtos pós-consumo ao setor produtivo ou a tratamentos ambientalmente adequados.

Antecedente a PNRS, foi introduzida a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) no estado de São Paulo em 2006 por meio da Lei Estadual 12300 e, por meio do Decreto 54645/2009, a qual define princípios e diretrizes para a gestão de resíduos sólidos (SÃO PAULO, 2006) (SÃO PAULO, 2009). A partir dela estabeleceu-se o conceito de responsabilidade pós-consumo que é fortalecida com a Política Nacional de Resíduos Sólidos em 2010 (CETESB, 2018).

Entretanto, é entendido que só a partir da PNRS que a logística reversa se consolidou na teoria e trouxe a obrigatoriedade de cumprimento, ampliando escopo de produtos a serem considerados no sistema e mapeando as devidas responsabilidades ao fabricante, importador, distribuidor e comerciante, conforme Artigo 33 da Lei 12.305.

(...) são obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidos, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

A logística reversa tem como objetivo quatro principais pontos, o melhoramento físico da gestão dos resíduos, fazendo com que o número de resíduos seja crescente com adequadas coletas e destinações. Outro ponto é a transferência da responsabilidade de gestão do município ao setor privado, principalmente no quesito financeiro. Além de fazer com que a eficiência no uso de recursos naturais aumente com a atribuição de índices de reuso, reciclagem e recuperação de materiais e, por fim, o incentivo à melhoria ambiental, fomentando a ideia de ecodesign, estabelecendo projetos de produtos e embalagens com foco no ciclo de vida do produto (CETESB, 2018).

Após a implementação da Lei Federal nº 12.305/2010 Política Nacional de Resíduos Sólidos e a respectiva regulamentação por meio do Decreto Federal nº7.404/2010, há no âmbito estadual a Resolução Estadual e duas Decisões de Diretoria que permeiam e auxiliam no processo de implementação da logística reversa.

Em 2015 houve a publicação da Resolução nº 45 de 23/06/2015 que definiu as diretrizes para implementação e operacionalização de responsabilidade pós-consumo no Estado de São Paulo, deu outras providências correlatas e estabeleceu inclusive a relação dos produtos e embalagens comercializados no estado sujeito à logística reversa que apresentam grande impacto ambiental pós-consumo, dentre estes, os produtos eletroeletrônicos e seus componentes (BRASIL, 2015).

Há a Decisão de Diretoria nº 120/2016/C de 01/06/2016 que estabelece:

Procedimentos para o licenciamento ambiental de estabelecimentos envolvidos no sistema de logística reversa, para a dispensa de CADRI e para o gerenciamento dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos pós-consumo, e dá outras providências (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2016).

A partir dessa Decisão de Diretoria estabelece que, apesar de os resíduos de equipamentos de eletroeletrônicos pós-consumo serem considerados geralmente como resíduos perigosos, os mesmos poderão ser gerenciados como resíduos não perigosos, os considerando como tal somente quando não houver a separação de seus componentes, além da não exposição de possíveis constituintes perigosos, com exceção a etapa de disposição final (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2016).

Portanto os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos pós-consumo não precisam obter Certificado de Movimentação de Resíduos de Interesse Ambiental (CADRI)

uma vez que não são considerados resíduos de interesse ambiental para fins de recebimento ou coleta, armazenagem temporária e transporte secundário, ou seja, até a unidade de beneficiamento e/ou tratamento. (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2016).

Sob o ponto de vista da logística reversa, essa decisão trouxe vantagens ao segmento da manufatura reversa. Uma vez que reduz custos de transporte e exime-se de cumprir requisitos legais voltados ao transporte de produto ou resíduo perigoso cumprindo a exigência da não desmontagem prévia dos equipamentos e evitando que exponham os resíduos perigosos consequentemente.

De fato, quando o equipamento eletroeletrônico encontra-se fechado e completo, ele não apresenta risco à saúde dos usuários e nem ao meio ambiente. Haja vista que o uso de um computador, televisor ou de uma geladeira não apresenta periculosidade no cotidiano da sociedade.

Em 2018, no dia 04 de abril foi publicada no Diário Oficial de São Paulo a Decisão de Diretoria nº 076/2018/C, que estabelece:

Procedimentos para a incorporação da Logística Reversa no âmbito do licenciamento ambiental, em atendimento a resolução SMA 45, de 23 de junho de 2015 e dá outras providências (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2018).

A Diretoria Plena da CETESB decide, por meio de diretrizes gerais, a forma de estruturar e implementar sistemas de logística reversa e as utiliza como exigência técnica para emissão ou renovação de licenças de operação. Este procedimento volta-se aos fabricantes ou responsáveis pela importação, distribuição ou comercialização desde que a princípio sejam sujeitos ao licenciamento ambiental ordinário pela CETESB e para produtos que após o consumo resultem em resíduos com significativo impacto ambiental (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2018).

Por meio do cadastro Plano de Logística e de seus relatórios anuais operacionais, será feita a alimentação das informações dos sistemas de logística reversa à CETESB, através do módulo de Logística Reversa Sistema Estadual de Gerenciamento Online de Resíduos Sólidos – SIGOR (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2018).

Aos produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes, com tensão até 240 Volts, o procedimento deverá ser aplicado a partir dos seguintes tópicos 2.4.2.1, 2.4.2.2 e 2.4.2.3 mapeados na Decisão de Diretoria:

- 2.4.2.1 A partir de 2018, e em até 180 dias da publicação deste Procedimento: aqueles que possuam instalação com área construída acima de 10 (dez) mil metros quadrados;
- 2.4.2.2 A partir de 2019: aqueles que possuam instalação com área construída acima de 1 (um) mil metros quadrados, com a cobrança incidindo quando da solicitação ou renovação da licença de operação; e
- 2.4.2.3 A partir de 2021: todos os empreendimentos sujeitos ao licenciamento ordinário, com a cobrança incidindo quando da solicitação ou renovação da licença de operação (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2018).

Há a atribuição de metas quantitativas e geográficas para o sistema de Logística Reversa no Estado de São Paulo. Ao setor de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes com tensão até 240 V estabelece a porcentagem de 13% e para metas geográficas 80% dos municípios com mais de 80 mil habitantes (pelo menos um ponto de entrega a cada 25 mil habitantes), conforme Figura 19.

Figura 19. Meta quantitativa e geográfica do setor de produtos eletroeletrônicos

<p>Meta quantitativa <i>Quantidade coletada / Quantidade colocada no mercado no ano anterior (% em peso)</i> 2021 - 13%*</p> <p>Meta geográfica <i>Nº municípios de SP atendidos / Nº municípios onde os produtos foram comercializados</i> 2021 - 80% dos municípios com mais de 80 mil hab. (pelo menos 1 ponto de entrega a cada 25 mil hab.)</p>

Fonte: COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (2018).

Seguem as definições das metas determinadas:

- 1 - Meta quantitativa: determinada pela divisão entre a quantidade de resíduos pós-consumo coletados pelo sistema, e a quantidade dos respectivos produtos ou embalagens sujeitos à logística reversa colocados no mercado paulista pelas empresas que fazem parte do sistema, ambos os dados em peso e relativos ao ano anterior ao do relatório; e
- 2 - Meta geográfica: determinada pela divisão entre o número de municípios atendidos pelo sistema (por ponto de coleta/ entrega, sistema itinerante ou outra forma) e o número de municípios onde os respectivos produtos sujeitos à logística reversa foram colocados no mercado pelas empresas que fazem parte do sistema, ambos os dados relativos ao ano anterior ao do relatório (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2018).

Deve-se ressaltar que produto eletroeletrônico de uso doméstico é um dos tipos de produto cujo termo de compromisso de sistema de logística reversa no estado de

São Paulo foi assinado. Ao objetivar a implementação efetiva do sistema de logística reversa, foi firmado um acordo entre a Secretaria de Meio Ambiente e a CETESB com sindicatos e associações, representando o setor privado (CETESB, 2018).

As empresas visam aceitar as novas responsabilidades ditas em lei e assim avançam no cumprimento da Política Estadual de Resíduos Sólidos. E por outro lado, há o governo no qual visa por meio do conhecimento adquirido, viabilizar modelos de sistema de logística reversa, inclusive para regulamentações posteriores (CETESB, 2018).

Na esfera nacional, o acordo setorial de eletroeletrônicos para efetivar o sistema de logística reversa ainda não foi implantado. O acordo é firmado entre o poder público e fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes a fim de designar responsabilidades pelo ciclo de vida produto (Ministério do Meio Ambiente, 2018). Em 2011 o Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comercio Exterior (MDIC) coordenou um Grupo de Trabalho Temático (GTT) que objetivou estruturar procedimentos visando à efetivação da logística reversa de resíduos eletroeletrônicos no Brasil. Em 2013 publicou-se um Edital de Chamamento proveniente do Estudo de Viabilidade Técnica Econômica (EVTE) e, mesmo diante de várias propostas de acordo, ainda não se firmou nenhum acordo (FAGUNDES, 2017). No final de outubro de 2018, foi entregue por meio da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE) uma nova proposta ao governo para o acordo setorial de logística reversa de eletroeletrônicos e que se encontra sob avaliação atualmente (ASSOCIACAO BRASILEIRA DA INDUSTRIA ELETRICA E ELETRONICA, 2018).

É notório que, sob os aspectos legais, pode-se identificar o avanço da implantação do sistema de logística reversa ao longo desses anos desde a implementação da Lei 12.305/2010. Entretanto para a atuação da logística reversa ainda são defrontados dificuldades e desvantagens na situação da infraestrutura do país.

A logística reversa de resíduos eletroeletrônicos abrange a etapa do recebimento e de transporte desde o consumidor até as unidades de reciclagem ou tratamento e disposição final. Ela conecta todas as regiões do Brasil, porém enfrenta condições adversas devido às extensas dimensões territoriais, à escassa infraestrutura em

locais mais distantes dos grandes centros, à ausência de alternativas modais, além das disparidades entre regiões no que tange a tributação e custos de operação.

Para se construir um sistema de logística reversa voltado aos equipamentos pós-consumo de eletroeletrônicos há também algumas particularidades que devem ser levadas em conta, principalmente no comportamento do consumidor. Exemplo disso é com os equipamentos de grande porte, só haverá adesão para descarte de uma geladeira usada caso, no mesmo instante tenha uma nova a ser instalada. Outro exemplo pode ser citado através dos computadores, telefones e tablets, pois muitas vezes o produto dessa categoria não é descartado devido à questão de confiabilidade no tratamento pós-consumo dos dados ali gravados. Uma vez questionado a respeito da proteção à privacidade desses dados, certamente o consumidor optará por guardá-lo e postergará o respectivo descarte. Ou seja, diferentes portes e tipos de equipamentos eletroeletrônicos, atribuem-se tratativas diferenciadas nos sistemas de descarte.

Além de todas essas peculiaridades do setor, é importante ressaltar que os responsáveis pela manufatura reversa desses equipamentos revelam que atualmente possuem em suas unidades fabris uma capacidade instalada muito superior em relação aos itens que recebem. Isso é resultado não só pelas grandes distâncias das quais os resíduos eletroeletrônicos têm que ser transportados, mas também pelos aspectos tributários, a movimentação interestadual impõe taxaço sobre toda mercadoria circulante, fazendo com que os impostos para movimentar esses resíduos de estado para estado onere ainda mais, fazendo com que o sistema de logística reversa tenha maiores dificuldades em ser implantado.

Outro fator a ser considerado como desafiante neste sistema é a questão de titularidade dos materiais, visto que é necessário um apoio jurídico na questão da logística reversa desses resíduos, podendo existir, por exemplo, a necessidade de preenchimento de termos ou declarações de doações dos equipamentos descartados pelos consumidores.

Enfim, é custoso e de alta complexidade todo o processo de coleta, de logística, de reciclagem e de disposição final dos resíduos, possuindo especificidades diferenciadas por categorias, tipologias e tamanhos dos produtos eletroeletrônicos,

necessitando, portanto, de um amparo legal sólido e de incentivos fiscais para a sustentação do sistema da logística reversa.

3.5 PROPOSTAS DE MELHORIA

Para enfrentar os desafios elucidados quanto ao gerenciamento do resíduo eletroeletrônico e suas implicações na logística reversa devem ser estabelecidas propostas de melhoria para o sistema como um todo, de forma que funcione de forma satisfatória promovendo a respectiva gestão ambientalmente adequada dos equipamentos pós-consumo a curto, médio e longo prazo.

Ao focar-se primeiramente na questão dos materiais e suas especificidades, tanto intrínsecas ao material quanto externas por conta do modo de fabricação, propõem-se incentivos ao ecodesign, o qual a partir de uma visão global e integrada promove o desenvolvimento do produto com práticas de redução de impacto ambiental. Isso pode ocorrer por meio da aplicação do conceito cradle to cradle, segundo o qual os materiais devem circular retornando ao ciclo produtivo novamente (INDUSTRIAL, 2013), garantindo a sua perpetuação no ecossistema e resultando em menos desperdícios dos materiais e viabilização do processo de reciclagem pós-consumo.

Recomendam-se incentivos não somente em linhas de pesquisa voltados aos materiais e às técnicas de reciclagem, mas também a introdução de matérias específicas de reciclagem somadas a conceitos de análise de ciclo de vida do produto para as formações técnicas de graduação. Estabelecendo, portanto, desde a vida acadêmica a concepção de recuperação de materiais proporcionando maiores índices de reciclabilidade do produto pós-consumo atrelados à redução de impactos ambientais, minimizando, inclusive, a inserção de elementos que apresentam toxicidades.

Alavancar eficientemente o processo de manufatura reversa e, principalmente, eliminar o uso de substâncias nocivas que requerem tratamentos complexos e custosos também é uma forma de proporcionar melhorias ao sistema, assim a própria logística reversa se fortalecerá na cadeia da reciclagem de resíduos eletroeletrônicos. É possível tal cenário por meio de estímulo a disponibilização de linhas de créditos voltados ao segmento da reciclagem, permitindo a inserção de novas tecnologias no país e também de novos recicladores favorecendo logisticamente a operação reversa.

Somados a isso, se deve impulsionar o consumo de produtos que possuam características ambientalmente mais sustentáveis e dissipar essa conscientização de forma que o consumidor também entenda seu papel dentro do ciclo de vida do produto, adicionadas por metodologias educacionais e de comunicação social.

Como forma de elucidação, há uma estratégia desenvolvida pelo Departamento de Educação Ambiental da Secretaria de Articulação Institucional e Cidadania Ambiental do Ministério do Meio Ambiente a qual incentiva nacionalmente a tratar a gestão de Resíduos Sólidos com ferramentas de educação ambiental e comunicação social, chamada EducaRES (Ministério do Meio Ambiente, 2018).

Trata-se de uma ação do Governo Federal a fim de auxiliar na implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos sob a ótica distinta. Utiliza-se de uma plataforma pública de registro e de experiências com a transversalização da educação ambiental e de comunicação social. E estabelece, portanto, um conjunto de indicadores e de orientações dos quais se avaliam ações socioambientais e pedagógicas no tema em questão que devem ser dissipadas em todo território nacional (Ministério do Meio Ambiente, 2018).

Além disso, é inquestionável o avanço do segmento quanto à viabilização da logística reversa dentro do estado de São Paulo ao considerar que o resíduo eletroeletrônico pós-consumo previamente às etapas de reciclagem sejam tratados como resíduos não perigosos. O órgão ambiental do estado de São Paulo publicou a Decisão de Diretoria nº 120/2016/C de 01/06/2016 e estabeleceu que os resíduos de equipamentos de eletroeletrônicos pós-consumo sejam gerenciados como resíduos não perigosos. Logo, é proposto aos demais estados o mesmo procedimento, favorecendo trâmites interestaduais quanto à gestão do resíduo eletroeletrônico.

Questões sobre a incidência de impostos em toda a cadeia da reciclagem também devem ser revisadas, de forma que o resíduo não seja tratado como mercadoria e sim como algo que promove benefícios e reduz negativos impactos ambientais. A isenção de impostos no setor logístico já minimizaria os custos do transporte do resíduo, principalmente entre estados, e da operação conseqüentemente. Atualmente, dependendo da estrutura adotada à cadeia de gestão do resíduo, são atribuídos mais impostos se comparado ao material da matéria-prima.

E por fim, promover articulações sólidas e eficazes entre todos os responsáveis pela gestão de resíduos: fabricantes, importadores, comércio, recicladores e o poder público, com atribuições e responsabilidades definidas e isonômicas por meio de instrumentos de controle de forma a fidelizar a participação desses membros na gestão correta dos eletroeletrônicos pós-consumo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do estudo dos eletroeletrônicos pós-consumo proposto, principalmente na análise de equipamentos da linha branca (geladeira comercial e máquina de lavar), da linha marrom (televisor de tubo) e linha verde (celular), foram avaliados os principais desafios da reciclagem e da recuperação dessas composições inseridas, motivados pela composição dos constituintes, pelos presentes itens nocivos ao meio ambiente e à saúde humana ou pela própria forma que o equipamento é fabricado. Inviabilizam, portanto, processos reversos que permitam atingir altas taxas de reciclagem e, em consequência, resultam no aumento de materiais enviados à disposição final, encurtando inclusive a vida útil dos aterros sanitários, além do recuo de práticas que visem reduzir impactos ambientais e a valorização da matéria-prima secundária sob o âmbito econômico.

Diante desse cenário, foram mapeados os entraves logísticos do retorno desses resíduos ao setor produtivo novamente, somados a questões complexas de tributações no papel de mercadoria ao resíduo ao longo da cadeia da reciclagem, além da atribuição de resíduo perigoso ao resíduo eletroeletrônico pós-consumo, partindo de condições ainda mais burocráticas e onerosas à gestão do transporte.

Logo, foram propostos mecanismos de melhoria para que o sistema como um todo desde a sua logística até a utilização e recuperação do resíduo sejam cumpridos eficazmente e permita retornar à manufatura visando à fabricação de novos produtos. Com isso, reduzem-se recursos naturais e energéticos de forma que favoreça o meio ambiente e a saúde humana.

A partir dessas questões analisadas, amparou-se no contexto legal a partir do marco da Lei 12.305/2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos dando partida a fomento da gestão adequada do resíduo sólido e da implementação da logística reversa no segmento de eletroeletrônico pós-consumo. Além disso, foram elucidadas normativas brasileiras e certificação internacional voltado ao ramo da reciclagem de eletroeletrônicos que orientam e dão suporte às etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final aos resíduos eletro eletrônicos e aos rejeitos gerados de forma ambientalmente segura e correta.

5 REFERÊNCIAS

6TH INTERNATIONAL WORKSHOP | ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION – ACADEMIC WORK, 2017, São Paulo. O Estado da Arte da Reciclagem de Resíduos Eletroeletrônicos no Brasil. Rio de Janeiro: “Ten Years Working Together For A Sustainable Future”, 2017. 9 p. 2014.

ACHARYA, Sanjay. **New report offers guidance to e-waste management in Latin America**. Disponível em: <http://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2015/14.aspx#.WU2SoY7yu03>. Acesso em: 18 maio 2017.

Achillas, C., Vlachokostas, C., Aidonis, D., Moussiopoulos, N., Iakovou, E., & Baniyas, G. (2010) **Optimising reverse logistics network to support policy-making in the case of Electrical and Electronic Equipment**. *Waste Management*, 30(12), 2592-2600.

AGENCY, European Environment. **Highest recycling rates in Austria and Germany - but UK and Ireland show fastest increase**. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/media/newsreleases/highest-recycling-rates-in-austria#tab-news-and-articles>>. Acesso em: 23 maio 2018.

AGUIAR, Alexandre de Oliveira e; VIZENTIM, Fabiola Aparecida. **MANUFATURA REVERSA DE REFRIGERADORES**. RGSA - Revista de Gestão Social e Ambiental, São Paulo, v. 5, n. 2, p.1-2, 2011.

AMBIENTE, Ministério do Meio. **Manejo de resíduos sólidos urbanos**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/folder_pnrs_125.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2018.

AMBIENTE, Ministério do Meio. Convenção de Basiléia. **Controle dos Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-perigosos/convencao-de-basileia>>. Acesso em: 30 maio 2018.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELETRICA E ELETRONICA. **Abinee apresenta ao governo proposta para Acordo Setorial de Logística Reversa**. 2018. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/noticias/com424.htm>>. Acesso em: 07 nov. 2018.

ASSOCIACÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. NBR 15833: **Manufatura reversa - Aparelhos de refrigeração**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT 2010, 2010. 12 p.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. NBR 16156: **Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos - Requisitos para atividade de manufatura reversa**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT 2013, 2013. 26 p.

BALDÉ, C P et al. **The Global E-waste Monitor 2017: Quantities, Flows, and Resources**. Brasil: Unu And Itu, 2017. 116 p.

BARBOSA, Vanessa. **15 PAÍSES QUE DÃO LIÇÃO EM RECICLAGEM DE LIXO**: Enquanto o Brasil ainda rascunha os planos setoriais de logística reversa, previstos na Política Nacional de Resíduos Sólidos, distante daqui, o velho continente registra taxas de reciclagem superiores a 50%, movimentando um

mercado bilionário. 2016. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/mundo/15-paises-que-dao-licao-em-reciclagem-de-lixo/>>. Acesso em: 16 maio 2018.

BRASIL. Decreto nº 9177, de 23 de outubro de 2017. : Regulamenta o art. 33 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, e complementa os art. 16 e art. 17 do Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010 e dá outras providências.. Brasília

BRASIL. Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a **Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. DF, Brasília, Planalto, Casa Civil, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 18 mai. 2017.

BRASIL. Resolução nº 45, de 23 de junho de 2015. **Resolução SMA N 45**. Secretaria de Estado de Meio Ambiente, SAO PAULO, 24 jun. 2015.

CANAUD, Cristine. **Tecnologia do Poliuretano**. Rio de Janeiro: Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro Redetec, 2007.

Cardoso, Mariana de Moraes et al. **Materiais Recicláveis**. Disponível em: <<http://www.sorocaba.unesp.br/Home/Extensao/residuossolidos/catalogoebook.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2018.

CETESB. **Motivadores e Objetivos da Logística Reversa**. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/logisticareversa/logistica-reversa/motivadores-e-objetivos-da-logistica-reversa/>>. Acesso em: 22 maio 2018.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de Sao Paulo. **Fase 2 – Termos de Compromisso para a Logística Reversa de Resíduos Pós consumo (2015 – em andamento)**. 2018. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/logisticareversa/termos-de-compromisso-de-logistica-reversa/fase-2-termos-de-compromisso-para-a-logistica-reversa-de-residuos-pos-consumo-2015-em-andamento/>>. Acesso em: 30 out. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SAO PAULO. **Decisão de Diretoria N 120/2016/c**. Diário Oficial Estado de São Paulo, SAO PAULO, Caderno Executivo I.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SAO PAULO. **Decisão de Diretoria N 076/2018/c**. Diário Oficial Estado de Sao Paulo, SAO PAULO, 03 abr. 2018. Caderno Executivo I.

CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 2016, Rio de Janeiro. **ANÁLISE DOS ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS DOS TUBOS DE RAIOS CATÓDICOS (CRT'S) EM CAMPOS DOS GOYTACAZES**: Área temática: Gestão Ambiental e Sustentabilidade. Rio de Janeiro: Inovarse, 2015. 14 p.

COUTO, Renato de Carli Almeida. **GESTÃO DA CADEIA PÓS-CONSUMO DOS APARELHOS CELULARES EM BELO HORIZONTE (MG)**. 2016. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos., Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

DECRETO. Regulamenta A Lei no 12.305, de 2 de Agosto de 2010, Que Institui **A Política Nacional de Resíduos Sólidos, 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. Brasília.

EUROPEIA, Parlamento Europeu e O Conselho da União. **DIRETIVA 2012/19/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 4 de julho de 2012 relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) (reformulação) (Texto relevante para efeitos do EEE).** Jornal Oficial da União Europeia. União Europeia, p. 38-71. jul. 2012.

FAGUNDES, Alexandre Borges. Modelos de Logística Reversa para Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos no Brasil: os projetos Descarte ON e Descarte Green. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ADMINISTRAÇÃO, 2017, Ponta Grossa. **Conhecimento: a alavanca do desenvolvimento.** Santa Catarina: 2017. p. 1 - 11

HOTTA, Yasuhiko. **Recycling rate and target setting: challenges for standardized measurement.** Journal Of Material Cycles And Waste Management. Japan, p. 14-21. jan. 2016.

INDUSTRIAL., Agência Brasileira de Desenvolvimento. **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos: Análise de Viabilidade Técnica e Econômica.** Brasília: Cdn Comunicação Corporativa), 2012.

INDUSTRIAL., Agência Brasileira de Desenvolvimento. **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos: Análise de Viabilidade Técnica e Econômica.** Brasília: Cdn Comunicação Corporativa), 2013.

INSTITUTO AÇO BRASIL (Rio de Janeiro). **Relatório de Sustentabilidade 2016:** Dados 2014/2015. 2016. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/sustentabilidade/>>. Acesso em: 01 maio 2018.

IPEA. **Apenas 13% dos resíduos sólidos urbanos no país vão para reciclagem.** Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=29296:apenas-13-dos-residuos-urbanos-no-pais-vaio-para-reciclagem&catid=1:dirur&directory=1>. Acesso em: 21 mar. 2018.

INBRAS (Diadema). **Separador de Metais Não-Ferrosos (separador Eddy Current).** Disponível em: <<http://www.inbras.com.br/produto/separador-de-metais-nao-ferrosos-separador-de-corrente-eddy-2/>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

ITU, **Secretariat of the Basel Convention**, UNESCO, UNIDO, UNU, WIPO, BCRC-South America, ECLAC 2016.

KASPER, Angela Cristina et al. **Caracterização de Sucatas Eletrônicas Provenientes de Baterias Recarregáveis de Íons de Lítio, Telefones Celulares e Monitores de Tubos de Raios Catódicos.** Revista Brasileira de Ciências Ambientais, Porto Alegre, v. 12, p.9-17, abr. 2009.

KASPER, A. C.; BERSELLI, G. B. T.; FREITAS, B. D.; BERNARDES, A. M.; VEIT, H. M. **Caracterização e processamento mecânico de placas de circuito impresso de telefones celulares.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 26. Porto Alegre, 2011. Anais...Rio Grande do Sul: ABES, 2011

LEMOS, Paula Horta; VIEIRA, José Geraldo Vidal. **Estruturação da cadeira Reversa de Celulares e os Critérios Relevantes na comercialização pós-consumo**. RGSA: Revista de Gestão Social e Ambiental, São Paulo, v. 10, n. 2, p.53-69, maio 2016.

MASTER MAGNETS LTD. (Inglaterra). **Sistema separador Eddy Current**. 2013. Disponível em: <<http://www.mastermagnets.com.br/product/eddy-current-separators/>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

Mendonça, Jane Corrêa Alves et al. **LOGÍSTICA REVERSA NO BRASIL: UM ESTUDO SOBRE O MECANISMO AMBIENTAL, A RESPONSABILIDADE SOCIAL CORPORATIVA E AS LEGISLAÇÕES PERTINENTES**. Capital Científico, Guarapuava, v. 15, n. 2, p.1-18, abr. 2017.

Ministério do Meio Ambiente. **Resíduos Sólidos**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-perigosos/logistica-reversa>>. Acesso em: 31 out. 2018.

Ministério do Meio Ambiente. **Resíduos Sólidos**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/10239.html>>. Acesso em: 31 out. 2018.

MMA. **MMA debate reciclagem do plástico dos eletroeletrônicos**: Objetivo é evitar que os plásticos contendo poluentes sejam reintroduzidos como insumos em cadeias produtivas que o utilizam como matéria-prima. 2016. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/index.php/comunicacao/agencia-informma?view=blog&id=1827&tmpl=component&print=1>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

MORO, Carolina Correia. **Logística reversa dos resíduos sólidos**: O efeito vinculante dos acordos setoriais. 2017. Disponível em: <<https://www.jota.info/opiniao-e-analise/artigos/logistica-reversa-dos-residuos-solidos-25112017>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

MORSELLI, L., Passarini, F., Vassura, I. Vassura, **WASTE RECOVERY. STRATEGIES, TECHNIQUES AND APPLICATIONS IN EUROPE**: OECD, 2009.

NATUME, R Y; SANT'ANNA, F S P. **Resíduos Eletroeletrônicos: Um Desafio Para o Desenvolvimento Sustentável e a Nova Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos**, 2011.

PLÁSTICO VIRTUAL. **Como funciona uma extrusora para plástico?** 2017. Disponível em: <<https://plasticovirtual.com.br/como-funciona-uma-extrusora-para-plastico/>>. Acesso em: 01 maio 2018.

PIEVE, Paulo da. **Nosso lixo pode melhorar a economia**. Saiba como. 2016. Disponível em: <<https://medium.com/@Sustentabilidade/nosso-lixo-pode-melhorar-a-economia-saiba-como-585697d530c2>>. Acesso em: 28 maio 2018.

PRADO FILHO, Hayrton Rodrigues do. **A logística reversa de resíduos eletroeletrônicos**. Disponível em: <<https://revistaadnormas.com.br/2018/05/16/a-logistica-reversa-de-residuos-eletroeletronicos/>>. Acesso em: 16 maio 2018.

Realff, M. J., Ammons, J. C., David, J., Newton, D.J. (2004). **Robust reverse production system design for carpet recycling**. IIE Transactions; 36, 8, 767-776.

REIDLER, Nivea Maria Vega Longo. **Resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos em instituições de ensino superior: estudo de caso e diretrizes**

para a gestão integrada. 2012. 210 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós Graduação em Saúde Pública, Faculdade de Saúde Pública da Usp, São Paulo, 2011.

RESÍDUOS SÓLIDOS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 7., 2016, Porto Alegre. **Desmontagem e Segregação de Sucatas de celulares: comparação entre componentes de aparelhos convencionais e smartphones.** Porto Alegre: Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, 2016. 8 p.

RODA, Daniel Tietz. [Http://www.tudosobreplasticos.com/aditivos/antichamas.asp](http://www.tudosobreplasticos.com/aditivos/antichamas.asp). 2014. Disponível em: <<http://www.tudosobreplasticos.com/aditivos/antichamas.asp>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

Rousis, K., Moustakas, K., Stylianou, K., Papadopoulos, M., A., Loizidou, M. (2008). **Management of waste from electrical and electronic equipment: The case of television sets and refrigerators.** Journal of Environmental Engineering and Science, 7, 105-114.

Santana, E. V. B, Elabras-Veiga L.B. **O Estado da Arte da Reciclagem de Resíduos Eletroeletrônicos no Brasil.** In: TEN YEARS WORKING TOGETHER FOR A SUSTAINABLE FUTURE, 6., 2017, Rio de Janeiro. **6th International Workshop Advances in Cleaner Production.** São Paulo, 2017. p. 1 - 9.

SAO PAULO. Decreto nº 54645, de 05 de agosto de 2009. **Decreto Estadual 54645:** Regulamenta dispositivos da Lei nº 12.300 de 16 de março de 2006, que institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos, e altera o inciso I do artigo 74 do Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976. Sao Paulo, SP.

SAO PAULO. Lei nº 12300, de 16 de março de 2006. **Lei Estadual Nº 12.300:** Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes.

SERI, **Responsible electronics recycling.** Disponível em: <<https://sustainableelectronics.org/>>. Acesso em: 20 maio 2018.

COSTA, Silvano Silvério da. **POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS PNRS:** Brasília: Silvano Silvério da Costa, 2014. 30 slides, color.

VEIT, Hugo Marcelo. **Reciclagem de Materiais Metálicos.** Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/napead/repositorio/objetos/reciclagem-materiais-metalicos/pag7.php>>. Acesso em: 01 maio 2018.