



**MARILIA TUNES MAZON**

**INSERÇÃO BRASILEIRA NA CADEIA GLOBAL DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE  
EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS (REEE)**

**CAMPINAS**

**2014**





**NÚMERO: 305/2014**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**MARILIA TUNES MAZON**

**“INSERÇÃO BRASILEIRA NA CADEIA GLOBAL DE RECICLAGEM DE  
RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS (REEE)”**

**ORIENTADOR: PROF. DR. NEWTON MÜLLER PEREIRA**

**CO-ORIENTADOR: DR. MARCO ANTONIO SILVEIRA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA AO INSTITUTO  
DE GEOCIÊNCIAS DA UNICAMP PARA OBTENÇÃO DO  
TÍTULO DE MESTRA EM POLÍTICA CIENTÍFICA E  
TECNOLÓGICA**

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA  
DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA MARILIA TUNES  
MAZON E ORIENTADA PELO PROF. DR. NEWTON MÜLLER  
PEREIRA**

---

**CAMPINAS**

**2014**

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca do Instituto de Geociências  
Cássia Raquel da Silva - CRB 8/5752

M458i Mazon, Marília Tunes, 1988-  
Inserção brasileira na cadeia global de reciclagem de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) / Marília Tunes Mazon. – Campinas, SP : [s.n.], 2014.

Orientador: Newton Muller Pereira.

Coorientador: Marco Antonio Silveira.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Resíduos eletroeletrônicos. 2. Reciclagem - Indústria. 3. Resíduos industriais - Legislação. 4. Inovações tecnológicas. I. Muller, Newton Pereira, 1949-. II. Silveira, Marco Antonio, 1967-. III. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Brazilian participation in the recycling global chain of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

**Palavras-chave em inglês:**

Electronic waste

Recycling - Industry

Industrial waste - Legislation

Technological innovation

**Área de concentração:** Política Científica e Tecnológica

**Titulação:** Mestra em Política Científica e Tecnológica

**Banca examinadora:**

Newton Muller Pereira [Orientador]

Adalberto Mantovani Martiniano de Azevedo

Stela Luiza de Mattos Ansanelli

**Data de defesa:** 17-03-2014

**Programa de Pós-Graduação:** Política Científica e Tecnológica



**UNICAMP**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
POLÍTICA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA**

**AUTORA:** Marília Tunes Mazon

**“INSERÇÃO BRASILEIRA NA CADEIA GLOBAL DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE  
EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS (REEE)”**

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Newton Muller Pereira

**CO-ORIENTADOR:** Prof. Dr. Marco Antonio Silveira

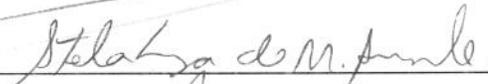
Aprovada em: 17 / 03 / 2014

**EXAMINADORES:**

Prof. Dr. Newton Muller Pereira

  
\_\_\_\_\_  
Presidente

Profa. Dra. Stela Luiza de Mattos Ansanelli

  
\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Adalberto Mantovani Martiniano de Azevedo

  
\_\_\_\_\_

Campinas, 17 de março de 2014.



## AGRADECIMENTOS

“*Haja hoje para tanto ontem*” (Leminski, P.). Para tantos “ontens” que deram forma a esta dissertação, há também tantos “outrens” que fizeram parte desta trajetória. A eles, os meus sinceros agradecimentos.

Ao Prof. Newton Müller Pereira, pela honra de ser uma de suas últimas orientandas no Departamento de Política Científica e Tecnológica. Agradeço imensamente pela condução ao longo deste caminho de aprendizado, pelas várias revisões e recomendações.

Ao Marco Silveira, que além de ter me dado a oportunidade do primeiro emprego, também me apresentou com paixão o tema de pesquisa. Obrigada por aceitar o convite de co-orientação.

Ao amigo e ex-colega de pesquisa Adalberto Azevedo, que gentilmente aceitou o convite de participar das bancas de qualificação e de defesa. Obrigada pelos cafés, almoços, conversas e, principalmente, pelo olhar crítico na leitura deste trabalho. Aprendi muito com você e fico feliz que tenha se tornado professor de tantos outros.

À Profa. Stella Ansanelli, pelas ótimas contribuições na qualificação e pela participação na banca de defesa. A sua tese de doutorado foi, com certeza, de grande relevância para o estudo aqui realizado.

Aos diretores e gerentes das empresas de reciclagem participantes da pesquisa de campo, que tão gentilmente me abriram as portas e me concederam a oportunidade de melhor conhecer o setor.

Aos professores do DPCT André Furtado, Beatriz Bonacelli, Flavia Consoni, Leda Gitahy, Marko Monteiro, Rafael Dias, Ruy Quadros e Sérgio Queiroz, por contribuírem com a minha formação. Um agradecimento especial ao Prof. Rafael, por compartilhar comigo seus ensinamentos de docência no Programa de Estágio Docente, ao Prof. Ruy, pela oportunidade de trabalho, e à Profa. Leda, pelas importantes sugestões na elaboração do projeto de pesquisa que deu origem à esta dissertação.

À FACAMP, especialmente na figura do Prof. João Manuel Cardoso de Mello, pelas valiosas discussões, apoio e confiança, imprescindíveis para a elaboração desta dissertação.

Aos amigos que fiz no Centro de Tecnologia Renato Archer (CTI) e que levo

comigo até hoje, Ana Paula Pegoraro, Cristiani Policeno, Nanci Gardin e Rúbia Quintão. Agradeço pelo companheirismo e risadas.

Aos amigos “DPCTenses”, Marcela Mazzoni, por me apresentar este programa de pós-graduação; Luciara Cid, por compartilhar assuntos e estudos sobre o tema; e aos companheiros de turma Camila Correa, Mariane Françoso, Eliana Agtz, Nathalia Andrade, Fábio Chaves, Lucca Vichr e Luiz Fernando Vazzolér, por fazerem parte desta experiência.

Aos amigos de sempre, Ana Carolina e Ana Cristina Braz, Lucas Pereira e Rodrigo Oliva. O destino foi muito generoso comigo!

À minha mãe, Izabel Tunes, que para mim ainda segue sua carreira de professora. Não cabem aqui palavras para agradecer todo o seu incentivo e respeito pela minha escolha de seguir a carreira acadêmica. Um agradecimento também especial ao meu irmão, Danio Mazon, por todo apoio e pela certeza de tê-lo sempre ao meu lado.

Ao querido Davi, por me ajudar a contornar as dificuldades encontradas ao longo destes dois ou três anos e por tanto me inspirar.

*“Temos que interrogar-nos se os povos da periferia vão desempenhar um papel central na construção da própria história, ou se permanecerão como espectadores enquanto o processo de transnacionalização define o lugar que a cada um cabe ocupar na imensa engrenagem que promete ser a economia globalizada do futuro”.*

Celso Furtado (1982)





UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

INSERÇÃO BRASILEIRA NA CADEIA GLOBAL DE RECICLAGEM DE EQUIPAMENTOS  
ELETROELETRÔNICOS (REEE)

RESUMO

**Dissertação de Mestrado**

**Marilia Tunes Mazon**

Os Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE), apesar de conterem substâncias perigosas ao meio ambiente e à saúde humana, tais como chumbo, cádmio e mercúrio, também contêm metais nobres, como ouro, prata e platina, característica que confere a estes resíduos alto valor agregado, se reciclados. A rápida expansão do mercado de eletroeletrônicos, o aumento dos fluxos legais e ilegais de REEE e a emergência em nível internacional de regulações específicas justificam a necessidade de estudos a este respeito.

Esta dissertação debate o tema a partir de duas perspectivas que se sobrepõem: os REEE como *commodities* (1) e os REEE inseridos em uma lógica de cadeia global (2). Entende-se que a dicotomia “lixo” e “valor” corresponde neste caso às diferenças econômicas e tecnológicas que dão forma às frentes de inserção na cadeia global de reciclagem de REEE. No setor formal, enquanto as etapas de pré-processamento estão localizadas em países em desenvolvimento, as etapas de processamento final (de maior intensidade tecnológica por envolver a recuperação de metais nobres) estão localizadas em países desenvolvidos.

A partir dessa problemática, o objetivo desta dissertação é o de descrever a cadeia de reciclagem de REEE no Brasil e analisar sua inserção global. Dado que, no país, o setor conta com recicladoras nacionais voltadas à fase de separação e desmantelamento e com recicladoras multinacionais estrangeiras (EMNs), voltadas à exportação de placas de circuito impresso para suas matrizes, o presente estudo avalia as perspectivas e barreiras para o desenvolvimento deste mercado nas dimensões política, regulatória, tecnológica e de valor, e reflete sobre o papel das EMNs para o seu desenvolvimento. Para tal, o estudo contou com o levantamento e a revisão bibliográfica da literatura nacional e internacional, de relatórios de instituições governamentais e privadas e de regulações sobre o tema, além de uma pesquisa de campo com recicladoras nacionais e estrangeiras instaladas em território brasileiro.

Constatou-se que, apesar de algumas recicladoras no Brasil possuírem processos semiautomáticos de separação e desmantelamento, o país ainda enfrenta limites para o tratamento de metais nobres e outros materiais complexos. No que diz respeito às vias de *catching-up* tecnológico, conclui-se que estas se mostram mais prováveis por meio da intervenção estatal e do fortalecimento da regulação vigente do que pela presença de EMNs.

**Palavras chaves:** Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE). Indústria de Reciclagem. Regulações Ambientais. Desenvolvimento Tecnológico.





UNIVERSITY OF CAMPINAS  
INSTITUTE OF GEOSCIENCE

BRAZILIAN PARTICIPATION IN THE RECYCLING GLOBAL CHAIN OF WASTE ELECTRICAL  
AND ELECTRONIC EQUIPMENT (WEEE)

ABSTRACT

**Masters Degree**

**Marilia Tunes Mazon**

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), while containing hazardous substances to the environment and human health, such as lead, cadmium and mercury, also contain noble metals such as gold, silver and platinum, a characteristic that gives to these waste high value-added, if recycled. The rapid expansion of the electronics market, the increase in legal and illegal flows of WEEE and the emergence of specific regulations worldwide justify the need for studies in this regard.

This dissertation discusses the issue from two perspectives that overlap: WEEE as commodities (1) and WEEE as into a global chain logic (2). It is understood that the dichotomy "waste" and "value" in this case corresponds to the economic and technological differences that shape the forms of insertion in the recycling global chain of WEEE. In the formal sector, while the pre-processing steps are located in developing countries, the final processing steps (involving higher technology by engaging the recovery of noble metals) are located in developed countries.

From this problematic, the aim of this dissertation is to describe the WEEE recycling chain in Brazil and to analyse its global insertion. Since, in the country, the national recycling industries are focused on separation and dismantling processes and foreign recycling multinationals (MNCs) are export-oriented on printed circuit boards, this study assesses the prospects and barriers for this market development in political, regulatory, technological and value dimensions, and reflects on the role of MNCs for their development. By these means, the study included the survey and literature review of national and international literature, reports of governmental and private institutions and regulations on the subject, besides a field research with domestic and foreign recyclers installed in Brazilian territory.

It was concluded that, despite some recyclers possesses semiautomatic separation and dismantling processes, the country still faces limits for the treatment of noble metals and other complex materials. With regard to the means of technological catching-up, it concluded that these are most likely through state intervention and strengthening of the existing regulation than by the presence of MNCs .

**Keywords:** Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). Recycling Industry. Environmental Regulations. Technological Development.



## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1. RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS (REEE): PERSPECTIVAS GERAIS .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1. Caracterização do problema: os REEE vistos como commodities.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2. Cadeia de reciclagem de REEE e seus atores .....</b>	<b>16</b>
<b>1.3. Políticas e regulações de REEE: experiência internacional e brasileira .....</b>	<b>25</b>
<b>2. ESTÁGIOS TECNOLÓGICOS DO GERENCIAMENTO DE REEE.....</b>	<b>43</b>
<b>2.1. Critérios de inovação para tecnologias de reciclagem de REEE e sua viabilidade para países em desenvolvimento .....</b>	<b>52</b>
<b>3. CADEIA GLOBAL DE RECICLAGEM DE REEE .....</b>	<b>61</b>
<b>3.1. A abordagem “The Best-of-2-Worlds” (Bo2W): apresentação e crítica .....</b>	<b>65</b>
<b>4. INSERÇÃO BRASILEIRA NA CADEIA GLOBAL DE REEE: PESQUISA DE CAMPO .....</b>	<b>77</b>
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>99</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>105</b>
<b>APÊNDICE A - Pontos de coleta no estado de São Paulo cadastrados no site e-lixo maps (2012) .....</b>	<b>111</b>
<b>APÊNDICE B - Recicladores de REEE atuantes no Brasil.....</b>	<b>115</b>
<b>APÊNDICE C - Siglas das instituições participantes das reuniões do GTT de eletroeletrônicos (Quadro 1.8).....</b>	<b>117</b>
<b>APÊNDICE D - Questionário aplicado no trabalho de campo .....</b>	<b>118</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Cadeia Produtiva de Ciclo Fechado de Equipamentos Eletroeletrônicos.....	17
Figura 1.2 - Dimensão do Setor Formal e Informal da Reciclagem de REEE em Países em Desenvolvimento.....	18
Figura 2.1 - Diagrama Simplificado das Etapas de Reciclagem de REEE.....	44
Figura 2.2 - Níveis de Tratamento de REEE.....	45
Figura 2.3 - Diagrama Simplificado do Segundo Nível do Processo de Tratamento de REEE.....	47
Figura 3.1 - Comércio Global de Resíduos de Baterias, Pilhas e Acumuladores Elétricos para o Ano de 2001 .....	63
Figura 3.2 - Comércio Global de Resíduos de Baterias, Pilhas e Acumuladores Elétricos para o Ano de 2006 .....	64
Figura 3.3 - Potencial Para a Adoção da Filosofia Bo2W para o Tratamento De REEE.....	69
Figura 4.1 - Fluxograma de Processos da Recicladora “A” em Cingapura.....	89



## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1.1 - Estimativa de Geração de REEE no Brasil .....	10
Gráfico 1.2 - Quantidade de REEE de Computadores Gerada em Kg per Capita .....	10



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 - Matriz de Atribuições de Responsabilidade e Modelo de Competição da Logística Reversa .....	19
Quadro 1.2 - Exemplos de Subsidiárias de Fundições Especializadas para Tratamento de Placas de Circuito Impresso Localizadas no Brasil .....	23
Quadro 1.3 - Atribuições do Princípio de Responsabilidade do Produtor (Diretiva WEEE) .....	28
Quadro 1.4 - Gerenciamento de REEE em Países da UE.....	30
Quadro 1.5 – Regulações de REEE em Outros Países .....	31
Quadro 1.6 - Atribuições do Princípio de Responsabilidade Compartilhada da Política Nacional de Resíduos Sólidos .....	33
Quadro 1.7 - Participantes das Reuniões do GTT de Eletroeletrônicos .....	35
Quadro 1.8 - Resumo das Recomendações do Estudo da ABDI (2012) para Implementação do Sistema de Logística Reversa de REEE no Brasil .....	37
Quadro 2.1 - Entrada ( <i>Input</i> ) e Saída ( <i>Output</i> ) do Terceiro Nível de Tratamento de REEE .....	48
Quadro 2.2 - Processos Formais e Informais de Tratamento de REEE em Países em Desenvolvimento.....	50
Quadro 2.3 - Critérios de Inovação para Técnicas e Tecnologias de Pré-Processamento de REEE de Países em Desenvolvimento .....	53
Quadro 2.4 - Critérios de Inovação para Tecnologias de Processamento Final de REEE para Países em Desenvolvimento.....	55
Quadro 2.5 - Potencial de Mercado de Tecnologias de Processamento-final de REEE em Países em Desenvolvimento.....	56
Quadro 2.5 - Membros do Programa <i>Solving The E-Waste Problem</i> / STEP (Novembro de 2010).....	58
Quadro 4.1 - Recicladoras de REEE Instaladas no Brasil (Amostra) .....	78
Quadro 4.2 - Categorias de REEE que as Empresas da Amostra Recebem.....	79
Quadro 4.3 - Atividades Exercidas pelas Empresas da Amostra .....	80
Quadro 4.4 - Destinação dos Produtos Finais da Amostra de Recicladoras de Capital Nacional .....	82
Quadro 4.5 - Destinação Final das Placas de Circuito Impresso das Empresas da Amostra	83
Quadro 4.6 - Processos Presentes nas Recicladoras de Capital Nacional da Amostra.....	87



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1.1 - Metais presentes nos equipamentos eletroeletrônicos.....	12
---	----



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABDI</b>	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
<b>ABIMO</b>	Associação Brasileira da Indústria de Artigos e Equipamentos Médicos, Odontológicos, Hospitalares e de Laboratório
<b>ABINEE</b>	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
<b>ABS</b>	Acrilonitrila Butadieno Estireno
<b>ANATEL</b>	Agência Nacional de Telecomunicações
<b>Bo2W</b>	<i>The Best-of-2-Worlds</i>
<b>CDI</b>	Comitê para Democratização da Informática
<b>CEDIR</b>	Centro de Descarte e Reuso de Resíduos de Informática
<b>CEMPRE</b>	Compromisso Empresarial para a Reciclagem
<b>CEPAL</b>	<i>Comissão Econômica para a América Latina</i>
<b>CETESB</b>	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
<b>CFC</b>	Clorofluorocarboneto
<b>CNPq</b>	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
<b>CRT</b>	Tubo de Raios Catódicos
<b>CTI</b>	Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer
<b>EMN</b>	Empresa Multinacional
<b>GeSI</b>	<i>Global e-Sustainability Initiative</i>
<b>GTT</b>	Grupo de Trabalho Temático
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>IDE</b>	Investimento Direto Externo
<b>MCTI</b>	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
<b>MDIC</b>	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio
<b>OCDE</b>	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
<b>ONG</b>	Organização Não Governamental
<b>P&amp;D</b>	Pesquisa e Desenvolvimento
<b>PC</b>	Policarbonato
<b>PE</b>	Polietileno
<b>PINTEC</b>	Pesquisa Industrial de Inovação Tecnológica

<b>PNRS</b>	Política Nacional de Resíduos Sólidos
<b>PP</b>	Poliestireno
<b>REEE</b>	Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos
<b>RoHS</b>	<i>Restriction of the use of Certain Harzardous Substances</i>
<b>STEP</b>	<i>Solving the E-waste Problem</i>
<b>UNEP</b>	<i>United Nations Environment Programme</i>
<b>WEEE</b>	<i>Waste Electrical and Electronic Equipment</i>

## INTRODUÇÃO

O tema dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) assume importância crescente a partir dos anos 90, quando passa a ser incorporado nas agendas ambientais nacionais e internacionais. Em razão do aumento do volume destes resíduos resultar em risco ambiental e à saúde humana, soluções viáveis para a sua destinação correta requerem urgência frente à expansão do mercado de equipamentos eletroeletrônicos.

Apesar de conterem substâncias perigosas, como chumbo e cádmio, os REEE também contêm metais de alto valor agregado que podem ser reaproveitados, entre eles o ouro, a prata e a platina. Depois de reciclados e tratados, grande parte dos materiais constituintes dos REEE podem retornar como matérias-primas para indústrias (especialmente para aquelas de equipamentos eletroeletrônicos).<sup>1</sup> De acordo com um estudo realizado por UNEP (2009), refinarias de fundição integrada envolvidas com a reciclagem de REEE poderiam representar 25% do volume global da produção de prata e ouro, e 65% de paládio e platina. A possibilidade de se estabelecer uma *cadeia produtiva de ciclo fechado*, ou seja, de retroalimentação da cadeia produtiva com materiais provenientes da reciclagem e tratamento dos próprios produtos, faz com que os REEE possam ser vistos, também, como *commodities*.

Apesar de já existir um mercado incipiente de reciclagem de REEE no Brasil, a regulação somente entrou em vigor no país em 2010, com a promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e, conseqüentemente, com a necessidade de promover estudos que orientassem as discussões dos Grupos de Trabalho formuladores da regulação. Ainda que a indústria eletroeletrônica ocupe posição de menor expressão no conjunto de investimentos industriais no país,<sup>2</sup> o Brasil é um dos maiores mercados destes

---

<sup>1</sup> A quantidade demandada pela indústria eletroeletrônica é de 300 ton/ano de ouro, 6000 ton/ano de prata e 6 ton/ano de platina (UNEP, 2009).

<sup>2</sup> “A produção da indústria eletroeletrônica no Brasil e as importações são essencialmente para atendimento da demanda interna, fazendo com que a produção doméstica do setor tenha permanecido estagnada como percentual do PIB nacional, mesmo durante o ciclo de expansão econômica mundial ocorrido no período 2003 a 2008, no qual o Brasil cresceu a taxas acima da média dos últimos 20 anos”. (BAMPI, 2009, p.18).

equipamentos na América Latina, sendo imprescindível a criação de infraestrutura para a destinação correta destes resíduos.

Valendo-se da maior inserção do Brasil no tema de REEE, a presente pesquisa teve início no ano de 2010 em um trabalho desenvolvido junto ao Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI)/ Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), intitulado “Projeto-Piloto ABIMO” (Associação Brasileira da Indústria de Artigos e Equipamentos Médicos, Odontológicos, Hospitalares e de Laboratórios). O objetivo da pesquisa foi o de apoiar empresas brasileiras de pequeno e médio porte de equipamentos eletromédicos na adequação às regulações<sup>3</sup> voltadas à minimização da periculosidade dos REEE e sua destinação correta. Estas regulações atuam como sinalizadoras de aprimoramento de tecnologias limpas para o setor, com o potencial de gerar melhorias de processos e produtos. Os resultados desta pesquisa apontaram a necessidade de dar continuidade ao tema, por meio do estudo da outra ponta desta cadeia, ou seja, da reciclagem. Surge daí a motivação dessa dissertação.

A cadeia de reciclagem de REEE é formada por um conjunto de pré-processadores, refinadores e destinatários finais, em diferentes etapas de tratamento, cumprindo as tarefas de reciclar materiais secundários e de controlar as substâncias perigosas contidas nestes resíduos. Enquanto as etapas de coleta, desmontagem e separação (manual ou mecânica) requerem menores investimentos e tecnologia, as etapas de processamento final, as quais envolvem a recuperação metalúrgica de metais, requerem investimentos consideráveis, da ordem de 25 milhões de euros de acordo com Wang et al. (2012), em infraestrutura e tecnologias avançadas para lidar com materiais heterogêneos e complexos.

A **proposta** desta dissertação é a de analisar a cadeia nacional de REEE de duas perspectivas que se sobrepõem: os REEE como *commodities* e inseridos em uma cadeia global. Essa perspectiva de análise sustenta-se no fato da recuperação de materiais que envolvem processos menos complexos, como plástico, cobre, ferro e alumínio, ocorrer em países menos desenvolvidos, e a recuperação de materiais que envolvem processos mais

---

<sup>3</sup> Tratava-se da adequação às Diretivas Europeias RoHS (*Restriction of the use of Certain Hazardous Substances*) e WEEE (*Waste Electrical and Electronic Equipment*), e à própria Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

complexos, tais como placas de circuitos, ocorrer em países mais desenvolvidos (Bélgica, Alemanha, Japão, Estados Unidos (EUA), Canadá, Suécia e, apenas mais recentemente, China).

Ou seja, a categorização dos REEE como “lixo” ou como dotado de “valor” depende de condições materiais e econômicas que se traduzem em diferenças geográficas no aproveitamento dos resíduos. Por esta razão, esse tema, ao invés de ser analisado isoladamente, deve ser pensado junto aos padrões de comércio internacional e ao processo geral de desenvolvimento econômico de países periféricos. Esta via expõe os crescentes desafios colocados às empresas demandantes de tecnologias ambientais e as deficiências estruturais destes países para a adequação a essas tendências.

**Pergunta-se**, então, *qual é a inserção do Brasil na cadeia global de reciclagem de REEE e quais são as suas possibilidades e restrições de catching-up tecnológico e de geração de valor?* Isso porque o setor formal de reciclagem de REEE no país conta com recicladoras nacionais voltadas à fase de separação e desmantelamento, e com recicladoras multinacionais (EMNs) estrangeiras, voltadas à exportação de placas de circuito impresso para suas matrizes com a finalidade de recuperar materiais mais nobres (ouro, prata e platina, entre outros).

O **objetivo** dessa dissertação é *descrever a cadeia de reciclagem de REEE no Brasil e analisar a sua inserção global*. Para tal, busca-se avaliar as perspectivas e barreiras para o desenvolvimento da cadeia no Brasil nas dimensões política e regulatória, tecnológica e de valor, além de descrever e de analisar a participação das EMNs nesta. Para tal, a **metodologia** de pesquisa contou com o levantamento e revisão bibliográfica da literatura nacional e internacional, de relatórios de instituições governamentais e privadas, e de regulações sobre o tema, além de uma pesquisa de campo com recicladoras nacionais e estrangeiras instaladas em território brasileiro.

Frente à extensão de assuntos e à complexidade do estudo da cadeia de reciclagem de REEE como um todo, este estudo optou por três principais **delimitações** de escopo correspondentes ao objetivo da pesquisa proposta:

i. Apreensão apenas do *setor formal de reciclagem* de REEE pela dificuldade de se obter e lidar com dados referentes ao setor informal de reciclagem destes resíduos. Além do

que, o objetivo desta dissertação está diretamente relacionado à importância de se fortalecer o mercado formal de REEE, questão atual ao caso brasileiro, que conta com o estímulo da recente promulgação da PNRS;

ii. Sendo que os metais nobres são os componentes de maior valor agregado destes resíduos, a presente dissertação se ateu ao *mercado de placas de circuito impresso* do que de outros materiais presentes nos REEE (plástico, vidro etc.). Consequentemente, o foco deste estudo é o *pré-processamento* e o *processamento final* de REEE, etapas em que ocorrem o tratamento dos metais contidos nas placas; ou seja, as etapas de coleta e de logística reversa são laterais na discussão aqui proposta e são mencionadas apenas nas análises de viabilidade econômica (escala) desta indústria, bem como nas análises político-regulatórias. Seguindo esta lógica, os *atores centrais* deste estudo são as próprias *empresas de reciclagem de REEE*, e não os catadores, empresas de logística reversa, serviços de coleta municipais, empresas de eletroeletrônicos e/ou outros envolvidos com esta primeira etapa do processo;

iii. Sobre a categoria de REEE usada na análise, o banco de dados da *Compliance & Risks C2P Knowledge*<sup>4</sup> revelou que existem pelo menos 75 diferentes definições para REEE em todo o mundo (UNEP, 2011). Isso porque os produtos eletroeletrônicos variam de acordo com seu conteúdo perigoso, seu valor agregado e sua facilidade de reciclagem. Pela razão de ser o padrão internacional mais difundido, a presente dissertação faz uso da definição de REEE prevista pela Diretiva *Waste Electrical and Electronic Equipment* (Diretiva 2002/96/CE, Diretiva 2012/19/UE) da União Europeia, a saber “*Electrical or electronic equipment which is waste including all components, subassemblies and consumables, which are part of the product at the time of discarding*”.<sup>5</sup> As categorias abrangidas por essa definição são: grandes eletrodomésticos, pequenos eletrodomésticos, equipamentos de informática e de telecomunicações, equipamentos de consumo e painéis fotovoltaicos, equipamentos de iluminação, ferramentas elétricas e eletrônicas (com exceção de ferramentas industriais fixas de grandes dimensões), brinquedos

---

<sup>4</sup> A *Compliance and Risks C2P Knowledge* é uma consultoria que presta assessoria a outras empresas na área de inteligência regulatória.

<sup>5</sup> Livre tradução: “Equipamentos eletroeletrônicos que são resíduos, incluindo todos os componentes e subconjuntos que fazem parte do produto no momento do descarte”.

eletroeletrônicos, equipamentos de lazer e esportivos, equipamentos médicos (com exceção dos produtos implantados e/ou infectados), instrumentos de monitorização e controle e distribuidores automáticos.<sup>6</sup>

Além desta introdução, a dissertação está **organizada em quatro capítulos**. O *capítulo um* traça perspectivas gerais referentes ao gerenciamento e à cadeia de REEE, seus atores, bem como as suas principais regulações e implicações para a cadeia. O *capítulo dois* descreve os processos tecnológicos da cadeia de reciclagem de REEE e avalia seu potencial de mercado para países em desenvolvimento. O *capítulo três* aborda a concepção de cadeia global de reciclagem de REEE e o debate sobre ela. Por fim, o *capítulo quatro* apresenta os resultados obtidos por meio de uma pesquisa de campo realizada com recicladoras de REEE de capital nacional e de capital estrangeiro instaladas no Brasil, com o intuito de caracterizar esta cadeia de reciclagem no país e de analisá-la de acordo com a sua inserção global. As *conclusões* trazem as principais deduções da pesquisa e recomendações para estudos futuros.

---

<sup>6</sup> Para outras definições além desta ver UNEP, 2011, p. 7.



## **1. RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS (REEE): PERSPECTIVAS GERAIS**

Esse capítulo apresenta e contextualiza questões gerais subjacentes ao gerenciamento de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE). A seção 1.1 discute a importância dos REEE no contexto da gestão de recursos naturais e do controle de substâncias tóxicas, a partir de uma análise técnica, institucional e econômica. A seção 1.2 apresenta as principais etapas e interfaces da cadeia de reciclagem de REEE, a caracterização de seus atores no Brasil e suas condições tecno-sociais gerais. A seção 1.3 apresenta as principais regulações de REEE e suas implicações em alguns países sujeitos a tais determinações.

### **1.1. Caracterização do problema: os REEE vistos como *commodities***

A alta expansão do mercado de equipamentos eletroeletrônicos é, em grande medida, justificada pela estratégia competitiva e comercial desta indústria de lançar novos produtos com tecnologias e funcionalidades incrementais em um curto espaço de tempo.

Esta prática, denominada de “obsolescência programada”,<sup>7</sup> tem como princípio projetar produtos que atendam a uma vida útil pré-determinada pelos fabricantes, por torná-los obsoletos, quebrados (ausência de peças para reposição) ou inúteis, conferindo vantagem potencial a esta indústria, já que estimula o consumidor a adquirir várias vezes o mesmo produto, ou um diferente, encurtando o ciclo de vida dos equipamentos. Soma-se para o aquecimento do mercado de eletroeletrônicos o consumismo desenfreado, estimulado pelo barateamento desses produtos, pela facilidade de acesso ao crédito e pela “digitalização da vida” como um todo.

Os equipamentos eletroeletrônicos quando descartados, estejam em condições de uso ou não, são considerados resíduos. A tendência de crescimento do mercado de equipamentos faz dos REEE um problema de grande proporção.

---

<sup>7</sup> Ver Bulow (1986).

De acordo com dados de UNEP<sup>8</sup> (2009), na União Europeia (UE) o peso total de aparelhos eletroeletrônicos colocados no mercado em 2005 alcançou mais de 9,3 milhões de toneladas.

Nos EUA, em 2006, foram vendidos mais de 34 milhões de televisores, além da fabricação de 24 milhões de computadores e de 139 milhões de dispositivos portáteis de comunicação, como telefones celulares, *paggers* ou *smart-phones* (UNEP, 2009), tornando o país o maior gerador de REEE do mundo (OLIVEIRA et al., 2012). De acordo com os dados de 2009 da *United States Environmental Protection Agency*, 82,3% dos REEE descartados foram destinados a aterros e incineradores, sendo apenas 17,7% destinados para recicladoras especializadas.

A China gera anualmente 2,3 milhões de toneladas de REEE, o que a torna o segundo maior gerador destes resíduos, de acordo com Oliveira et al. (2012). Dados do Programa UNEP (2009) preveem que entre 2007 e 2020 o crescimento de REEE de computadores no país irá crescer em 200 a 400%. A exportação de REEE de outros países para a China contribui para o agravamento do problema.

Salienta-se que essas taxas apresentam crescimento considerável a cada ano. Alguns dados da Universidade das Nações Unidas revelam que são depositados anualmente em nível global cerca de 40 milhões de toneladas de REEE (UNEP, 2009). Na UE, historicamente, os REEE aumentam entre 16 a 28% a cada cinco anos, ou seja, três vezes mais rápido do que a média anual da geração de resíduos sólidos municipais (UNEP, 2007; 2011).

---

<sup>8</sup> Os trabalhos realizados e organizados por UNEP (*United Nations Environment Programme*) referentes aos REEE e citados nessa dissertação foram elaborados em parceria com o Programa STEP (*Solving the E-waste Problem*), iniciativa desenvolvida em 1984 e formalmente lançada em 2007 pela própria UNEP. A iniciativa é regida por quatro força-tarefas: a. Política e legislação (estudos voltados à avaliação e revisão de normas de REEE, quantificação e classificação desses resíduos); b. *Redesign* (estudos voltados ao redesign de equipamentos eletroeletrônicos em vias de alcançar um maior índice de reciclabilidade, o que envolve também estudos sobre o ciclo de vida dos produtos); c. Reuso (estudos voltados às condições de reuso e comércio internacional com essa finalidade); d. Reciclagem (melhorar os processos de reciclagem locais no setor informal, fluxos de materiais secundários de países desenvolvidos para países em desenvolvimento, futuras opções para vidro de CRT, cadeia global de REEE); e. Gestão do conhecimento e *capacity building* (prevê treinamentos, *workshops*, manuais especializados). Para consulta, acessar [www.step-initiative.org](http://www.step-initiative.org).

No Brasil, o consumo de equipamentos eletroeletrônicos também apresenta forte expansão, especialmente no que diz respeito ao mercado de celulares e computadores. Este crescimento se expressa nos dados da ABINEE (Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica) (2013), nos quais o número de domicílios brasileiros com computador passou de 16% em 2004 para 43% em 2011. Ainda de acordo com os dados de desempenho setorial da ABINEE, as vendas correspondentes à manufatura e à importação de equipamentos eletroeletrônicos foram de R\$ 138 bilhões em 2011 (11% a mais do que o ano anterior). Dentre as principais razões para tal estão a queda de preços dos equipamentos eletroeletrônicos, as mudanças nos padrões de consumo da sociedade, os incentivos ao crédito e algumas isenções de tributação. Estas condições possibilitaram o maior poder de compra da classe C e D, levando ao aumento do mercado consumidor desses produtos. Ressalta-se também que o grande volume de importação<sup>9</sup> destes equipamentos é uma variável importante para a questão dos REEE no país, por ser necessário conciliar os interesses de fabricantes nacionais e importadores, atribuindo a cada um sua devida responsabilidade sobre o equipamento colocado no mercado, como será discutido na seção 1.3.

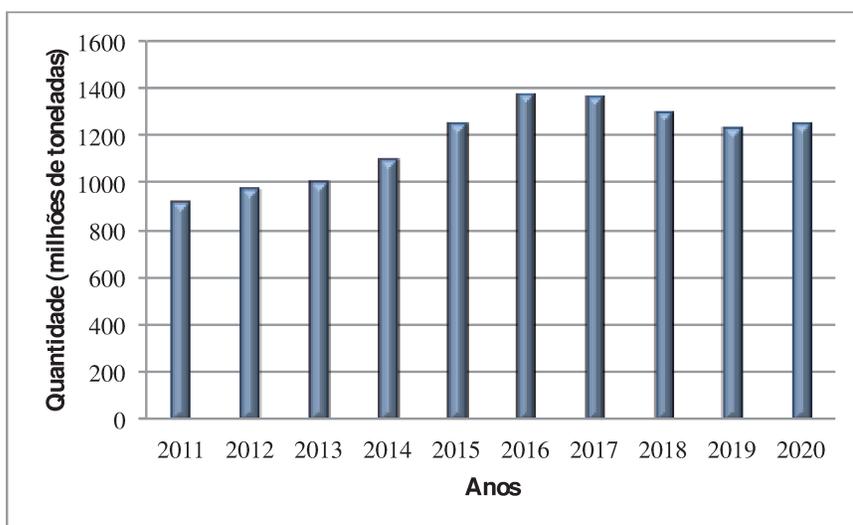
Na última década, a penetração de celulares e outras tecnologias móveis em países em desenvolvimento atingiu níveis recordes. No Brasil, o aumento em 2009 foi de 16,7%, colocando o Brasil em quinto no *ranking* de acesso móvel, depois de China, Índia, EUA e Rússia (OLIVEIRA et al., 2012). Segundo a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações), em 2010 o país ultrapassou a marca de um telefone móvel por habitante, com estimativa de vida útil de 18 meses (OLIVEIRA et al., 2012).

Diante da expansão do mercado de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil, o rápido aumento de REEE também se mostra uma tendência. Conforme indica o Gráfico 1.1., estima-se que em 2016 serão gerados no Brasil cerca de 1.347,13 milhares de toneladas de REEE; de acordo com a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) (2012), esse número tende a diminuir a partir daquele ano, porém não consideravelmente.

---

<sup>9</sup> A maior parte das importações de equipamentos eletroeletrônicos do Brasil advém da China (35% de participação em 2011), segundo dados da ABDI (2012).

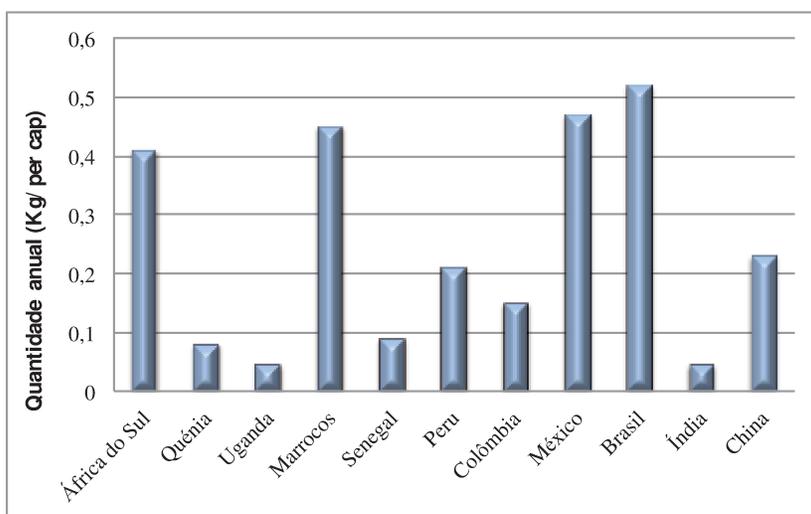
**Gráfico 1.1 - Estimativa de geração de REEE no Brasil**



Fonte: ABDI (2012).

Em termos per capita, o número de REEE gerado no Brasil é relativamente alto quando comparado com outros países em desenvolvimento. A quantidade de REEE advinda de computadores em Kg per capita ilustra esta média (Gráfico 1.2). Como pode-se observar, entre os países considerados por UNEP (2009), o Brasil é o maior gerador de computadores seguido do México, Marrocos e África do Sul.

**Gráfico 1.2 - Quantidade de REEE de computadores gerada em Kg per capita**



Fonte: UNEP (2009).

Apesar destas estimativas, os dados disponíveis da quantidade de REEE ainda são insuficientes e necessitam do desenvolvimento de técnicas mais apropriadas para o seu cálculo em nível global. De qualquer maneira, diante da proporção e do aumento de sua quantidade, torna-se urgente a introdução e o desenvolvimento de regulações e tecnologias de gerenciamento de REEE, cujo tratamento apresenta características distintas dos demais resíduos sólidos.

Os REEE são constituídos de diversos materiais, tais como plásticos, vidros, componentes eletroeletrônicos e metais pesados, que variam em presença e quantidade de acordo com o tipo de equipamento. Dada esta diversidade e complexidade de elementos, os REEE requerem tecnologias específicas para tornar sua reciclagem possível e economicamente interessante. A presença de metais pesados e potencialmente tóxicos tais como alumínio, arsênio, cádmio, chumbo, mercúrio e cromo, entre outros, demanda capacitação apropriada dos trabalhadores envolvidos e justifica a exigência de processos específicos, que garantam a preservação do meio ambiente e da saúde humana. Sendo assim, os REEE não devem ser depositados em lixões a céu aberto; mesmo em aterros sanitários, o mínimo contato dos metais pesados com a água acarreta em contaminação do chorume,<sup>10</sup> multiplicando o impacto decorrente de qualquer vazamento (ABDI, 2012).

Outro importante diferencial dos REEE em relação a outros resíduos sólidos está relacionado à redução sistemática da base mundial de recursos naturais. Apesar dos eletroeletrônicos conterem substâncias perigosas, também contêm materiais de alto valor agregado. De acordo com UNEP (2007), esses equipamentos consistem de metais ferrosos e não ferrosos;<sup>11</sup> por exemplo, ferro e aço constituem cerca de 50% do REEE, seguido de plástico (21%), de metais não ferrosos (13%) e outros constituintes. Ou seja, os equipamentos eletroeletrônicos são grandes consumidores de alguns metais preciosos e estão, portanto, entre os principais geradores da demanda e de preços de alguns metais:

---

<sup>10</sup> Líquido poluente, de cor escura e odor forte, originado de processos biológicos, químicos e físicos da decomposição de resíduos orgânicos.

<sup>11</sup> Trata-se de metais como cobre, alumínio e metais preciosos como prata, platina, ouro e paládio.

[...] for example, electronics make up for almost 80% of the world's demand of indium (transparent conductive layers in LCD glass), over 80% of ruthenium (magnetic properties in hard disks (HD) and 50% of antimony (flame retardants). (UNEP, 2009, p. 8).<sup>12</sup>

Ainda de acordo com os dados de UNEP (2009), o valor monetário da utilização anual de importantes metais de equipamentos eletroeletrônicos representou cerca de US\$ 45,4 bilhões em 2007. Considerando que em 2006 a demanda por metais cresceu 40% para a produção de TV LCD, 30% para *laptops* e 15% para celulares (UNEP, 2011), a reciclagem eficaz de metais é crucial para possibilitar a fabricação de novos produtos.

A Tabela 1.1 traz alguns dos principais metais presentes nos equipamentos eletroeletrônicos, bem como o seu grau de significância. Como pode-se observar, apesar de platina e do ouro serem os metais com maior preço de mercado, em termos de valor/quantidade contido nos equipamentos eletroeletrônicos destacam-se o cobre, o ouro e a prata.

**Tabela 1.1 - Metais presentes nos equipamentos eletroeletrônicos**

<b>Metal</b>	<b>Produção Primária (ton/ano)</b>	<b>Demanda dos Eletroeletrônicos (ton/ano)</b>	<b>Preço (US\$/Kg)</b>	<b>Valor contido nos Eletroeletrônicos (US\$)</b>
Prata	20.000	6.000	430	2,6
Ouro	2.500	300	22.280	6,7
Paládio	230	33	11.413	0,4
Platina	210	6	41.957	0,5
Rutênio	32	27	18.647	0,5
Cobre	15.000.000	4.500.000	7	32,1
Estanho	275.000	90.000	15	1,3
Antimônio	130.00	65.000	6	0,4
Cobalto	58.000	11.000	62	0,7
Bismuto	5.600	900	31	0,03
Selênio	1.400	240	72	0,02
Índio	480	380	682	0,3
<b>Total</b>		<b>4.670.000</b>		<b>45,4</b>

Fonte: Adaptado de UNEP (2009).

Sendo assim, os REEE não são simplesmente um inconveniente ambiental, mas também possuem um alto potencial de valor agregado, dado que um modelo cíclico de tais fluxos implica que os materiais extraídos dos REEE permaneçam dentro do setor industrial inicial (produção de eletroeletrônicos) ou de outras indústrias. Ou seja, os REEE estão

<sup>12</sup> Livre tradução: “[...] por exemplo, os eletroeletrônicos compõem quase 80% da demanda mundial de índio (camadas condutoras transparentes em vidro LCD), mais de 80% de rutênio (propriedades magnéticas em discos rígidos (HD) e 50% de antimônio (retardadores de chama)”.

sujeitos à agregação de valor e, por isso, são *commodities*, conforme a definição de Gereffi (1999): “A commodity chain refers to the whole range of activities involved in the design, production, and marketing of a product”<sup>13</sup> (GEREFFI, 1999, p.38) e, portanto, “e-waste qua waste does not always represent the extinguishing of value”<sup>14</sup> (LEPAWSKY & MCNABB, 2009, p. 186).

A possibilidade de transformação de REEE em *commodities*, por meio do setor formal de reciclagem, implica novas questões teóricas e de análise dos recursos naturais, que vão ao encontro do debate colocado por Foray & Grubler (1996). Os autores propõem uma análise em que os recursos naturais são vistos a partir de um conceito dinâmico e não reduzidos simplesmente a questões geológicas ou minerais. Neste sentido, a abundância de recursos naturais seria endógena, tecnológica, econômica e socialmente construída, e não somente geologicamente determinada.

A proposta ambientalista trazida por Foray & Grubler, assim como de outros autores como John Maddox, Timothy O’Riordan e Amartya Sen, vem como resposta aos estudos impulsionados, nos anos 70, pelo famoso trabalho *The Limits of Growth*, publicado pelo Clube de Roma.<sup>15</sup> Estes estudos, de forma geral, se apoiavam em uma reinvenção malthusiana no que diz respeito à disponibilidade de recursos naturais, posta em risco pelo crescimento populacional e econômico.<sup>16</sup> Neste modelo de análise, eram levadas em conta cinco variáveis – tecnologia, população, nutrição, recursos naturais e meio ambiente – as quais convergiam para a previsão de um colapso mundial até 2000. Esse processo só seria evitado com a redução do crescimento populacional e econômico, descartando, portanto, a mediação da tecnologia para busca de alternativas ou reversão da catástrofe.

Pautava-se, então, no tratamento “estático” da tecnologia, inclusive, a qual deveria

---

<sup>13</sup> Livre tradução: “A cadeia de *commodities* refere-se a toda a gama de atividades envolvidas na concepção, produção e comercialização de um produto”.

<sup>14</sup> Livre tradução: “resíduos eletroeletrônicos, por serem lixo, nem sempre representam a extinção de valor”.

<sup>15</sup> “*The Club of Rome was a group of some 50 self-appointed ‘wise men’ who met regularly to try to put the world to rights, much as did the Pugwash group of scientists in relation to the Cold War.*” (UNEP, 2002, p.2). Livre tradução: “O Clube de Roma foi um grupo de cerca de 50 ‘sábios’ auto-nomeados que se reuniam regularmente para tentar colocar o mundo em ordem, assim como fez o grupo Pugwash de cientistas em relação à Guerra Fria”. (UNEP, 2002, p.2). Garrett Hardin, da Universidade da Califórnia, Paul Ehrlich, da Universidade de Stanford, e a equipe de Donella Meadows, do Massachusetts Institute of Technology, estavam entre os precursors desta vertente neomalthusiana.

<sup>16</sup> Ver Corazza e Araújo (2009).

ser descartada do centro do debate, já que poderia tirar o foco do problema motriz, o crescimento populacional. Associado a este argumento, o uso crescente de processos intensivos em tecnologia implicaria risco coletivo dadas as incertezas acerca do seu uso e seus potenciais efeitos cumulativos sobre o meio ambiente. Entende-se, daí, que os adeptos da teoria dos “Limites do Crescimento” não levavam em conta mudanças institucionais e sociais.

Por um longo tempo, a visão neomalthusiana se fez dominante entre os especialistas e movimentos ambientalistas, repercutindo em modelos de regulamentações, que levavam em conta apenas a difusão de inovações incrementais e tecnologia do tipo *end-of-pipe*.<sup>17</sup> O desenvolvimento tecnológico, em grande medida, permaneceu exógeno e reduzido à parâmetros fixados a estimativas pontuais que refletem avaliações geológicas de reservas, dificilmente significativas em termos políticos. Ademais, estas interpretações alarmistas são usadas com finalidades políticas elitistas, como a intimidação da imigração, a desaceleração do crescimento populacional, especialmente para países periféricos, e para reduzir o desenvolvimento urbano e econômico. (CORAZZA & ARAÚJO, 2009).

Uma resposta à percepção ocorreu ainda nos anos 70, com a abordagem do assunto por meio do “paradoxo do desenvolvimento tecnológico”: ao mesmo tempo em que a tecnologia tem impactos sem precedentes sobre o meio ambiente, principalmente através do aumento da produtividade que permitiu substancial expansão da produção (e consumo), o desenvolvimento tecnológico pode se apresentar como solução dessas mazelas. A abordagem em questão é uma das bases da frente defendida por Foray & Grubler, ou seja, que as soluções relevantes e viáveis para os problemas ambientais exigem o maior domínio da tecnologia, não menos (FORAY & GRUBLER, 1996).<sup>18</sup>

De acordo com os autores supracitados, as influências positivas da tecnologia sob o meio ambiente se apresentam por meio de três mecanismos: i. os processos de substituição tecnológica podem aumentar a eficiência de modos de produção e o uso de bens e serviços, proporcionando novas possibilidades de superação de limitações de recursos; ii. algumas tecnologias, como as tecnologias de satélite, permitem a descoberta de novas fontes de

---

<sup>17</sup> Tecnologias associadas à mitigação e gestão da poluição.

<sup>18</sup> De diferentes maneiras, esse ponto é trazido também por autores como Herbert Simon, Nathan Rosenberg, Vernon Ruttan, entre outros.

recursos naturais; iii. mudanças tecnológicas permitem o uso menos intensivo de recursos já escassos.

Como dito, as tecnologias de reciclagem de REEE são bons exemplos de influências positivas da tecnologia sobre o meio ambiente, por potencialmente assumirem um papel corretivo em termos de escassez dos resíduos naturais, apontando que a definição dos recursos naturais não pode ser reduzida a "simples" questões geológicas ou minerais. Ao contrário, a abundância de recursos naturais é também tecnológica, econômica e socialmente construída,<sup>19</sup> por meio de novos modos de geração e distribuição de conhecimentos, normas flexíveis, diversidade tecnológica, bem como um aumento da capacidade de aprendizagem sobre os impactos ambientais das tecnologias e suas soluções.

Apesar das possibilidades de recuperação, a maioria dos recursos valiosos contidos nos REEE são perdidos. Entre as causas identificadas estão os insuficientes esforços de coleta; a inadequação de tecnologias de reciclagem; e os grandes fluxos de exportação de REEE, muitas vezes ilegais, que contam com infraestrutura de reciclagem não apropriada e geralmente localizadas em países menos desenvolvidos.

Além do impacto direto da reciclagem sobre a base de recursos naturais, o estado da arte da reciclagem também contribui consideravelmente para a redução das emissões de gases poluentes. Isso porque a produção primária, ou seja, de mineração, fundição e refino, em especial dos metais preciosos, tem uma significativa emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), devido à baixa concentração de metais nos minérios e por serem de difícil extração. No caso dos REEE, quando são reciclados de forma ambientalmente correta, é necessário apenas o uso de uma fração da energia em relação ao processo anterior (UNEP, 2009). Além disso, o manejo ambientalmente correto de refrigeradores, aparelhos de ar condicionado e outros equipamentos similares é importante na mitigação do impacto da mudança climática no final de sua vida útil.

---

<sup>19</sup> *“Because the problem at stake ultimately is a problem of changing the social behaviors, consumption patterns, and lifestyles, technology must be considered holistically”*. (FORAY & GRUBLER, 1996, p. 4). Livre tradução: “Porque o problema em jogo, em última análise, é um problema de mudar os comportamentos sociais, padrões de consumo e estilos de vida, a tecnologia deve ser considerada de forma holística”. (FORAY & GRUBLER, 1996, p. 4).

Sendo assim, os principais objetivos a serem atingidos pelo gerenciamento de REEE são: i. o tratamento de substâncias perigosas de forma ambientalmente correta, evitando emissões secundárias e terciárias; ii. a recuperação de materiais valiosos com a maior eficiência possível; iii. a criação de negócios ambientalmente e economicamente sustentáveis; iv. a inclusão das implicações sociais e do contexto local destas operações.

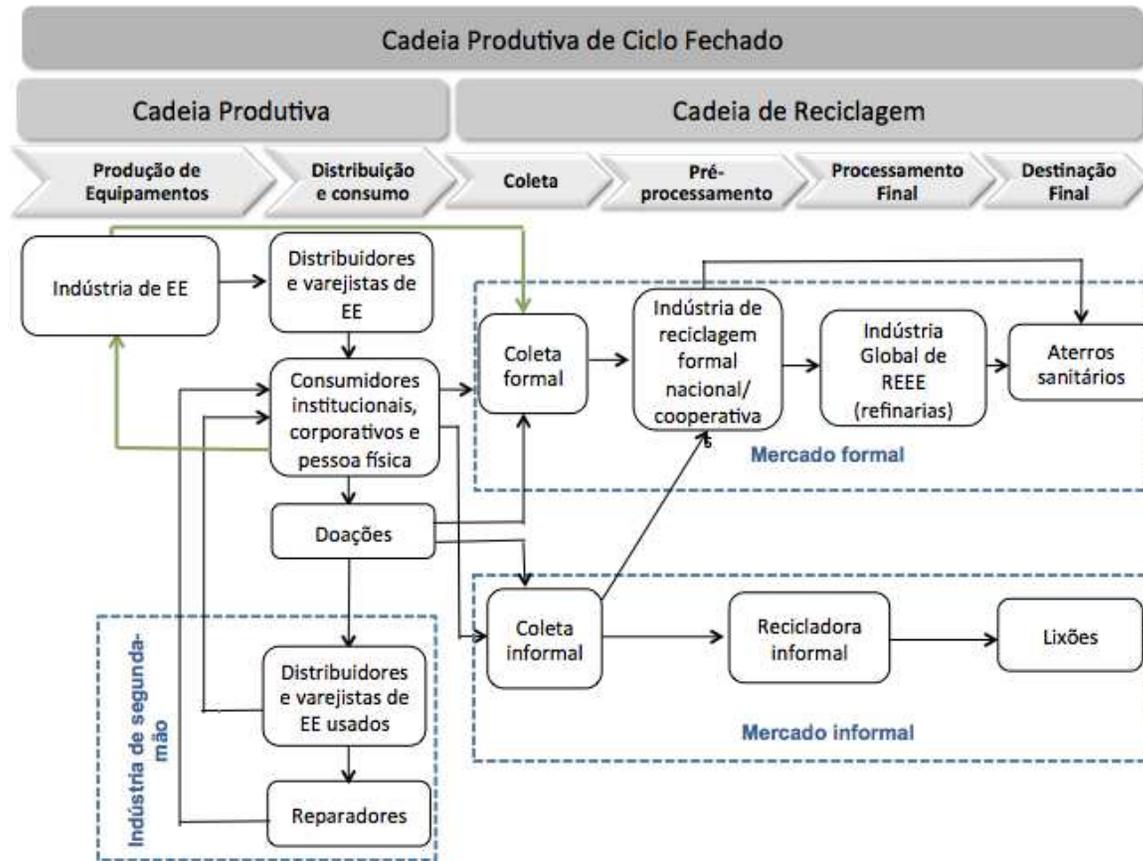
## **1.2. Cadeia de reciclagem de REEE e seus atores**

Entre as características da cadeia produtiva de equipamentos eletroeletrônicos destacam-se o **alto nível de integração** entre fabricantes de componentes e subcomponentes (as etapas de criação, concepção, fabricação e montagem são realizadas em diferentes unidades) e a sua produção e comercialização em nível global (ABDI, 2012).

Esta cadeia produtiva se torna uma *cadeia produtiva de ciclo fechado* quando são adicionadas a ela etapas que viabilizam sua reciclagem, de forma a possibilitar a reincorporação de materiais secundários ao processo produtivo. Neste caso, algumas das características da cadeia produtiva de equipamentos eletroeletrônicos acabam por interferir na configuração (*set-up*) da cadeia de reciclagem de REEE.

Para a abordagem de *cadeia produtiva de ciclo fechado*, além das etapas de projeto, produção, distribuição e consumo de equipamentos eletroeletrônicos – pertencentes à cadeia produtiva –, existem mais quatro etapas, subjacentes à cadeia de reciclagem de REEE: i) coleta; ii) pré-processamento; iii) processamento-final; iv) disposição final (Figura 1.1). A eficiência da cadeia de reciclagem como um todo depende da eficiência de cada uma dessas quatro etapas e da forma como as interfaces entre elas são gerenciadas. As quatro etapas compõem um sistema altamente complexo, em que o fluxo de materiais conta com grande variedade de atores.

**Figura 1.1 - Cadeia produtiva de ciclo fechado de equipamentos eletroeletrônicos**



\* Cumprem etapas anteriores à produção de equipamentos eletroeletrônicos o setor primário e os fornecedores intermediários.

Fonte: Elaboração própria (2013).

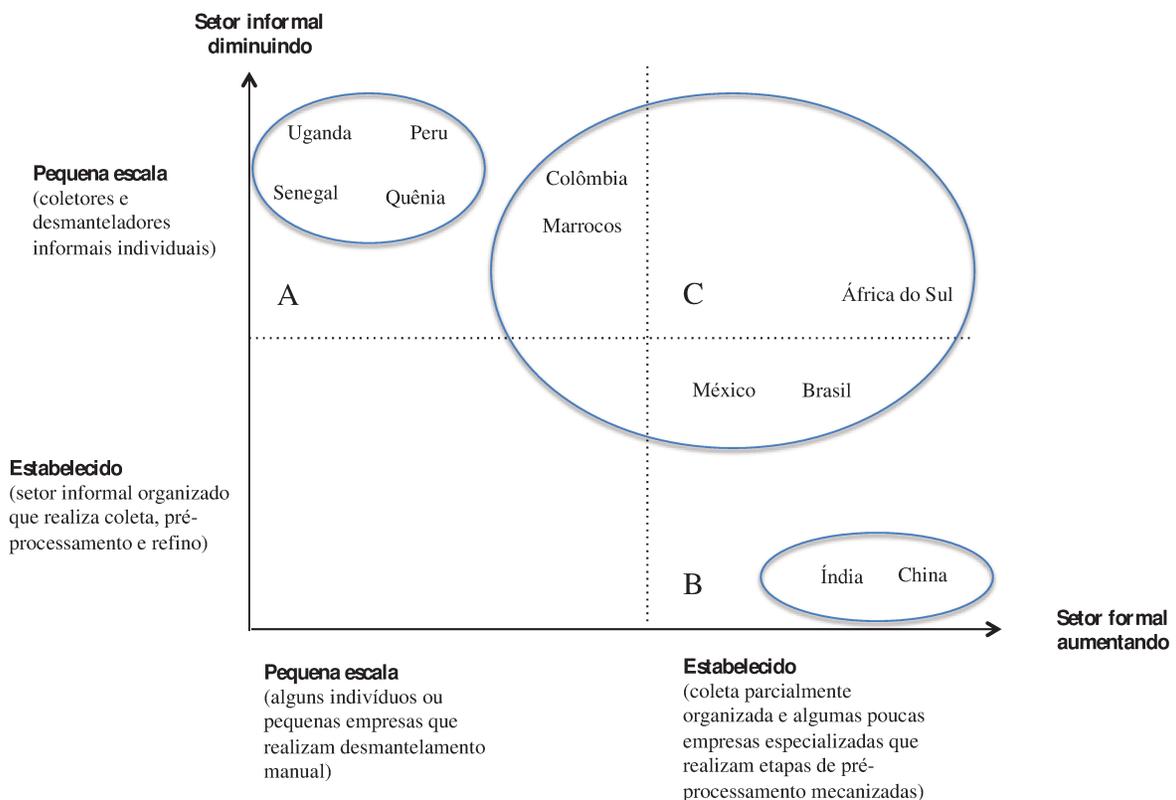
Sabe-se que o setor informal possui grande participação no mercado de reciclagem de REEE e se caracteriza pela prática de queima de equipamentos eletroeletrônicos em locais abertos para recuperar metais tais como aço, cobre e alumínio dos fios, capacitores e outros componentes. Os impactos negativos desta prática têm sido registrados em diversas publicações e documentários.<sup>20</sup>

As descrições e análises dessa dissertação, entretanto, somente se restringiram ao setor formal de reciclagem de REEE, por razões tanto de acesso a dados primários e

<sup>20</sup> Entre os documentários, “Exporting Harm: The High-Tech Trashing of Asia” (2003); “The Digital Dump: Exporting Reuse and Abuse to Africa” (2005).

secundários, como por procurar entender a importância da regulação para a solidificação de um mercado formal composto por etapas de diferentes níveis tecnológicos, como é o caso do Brasil, em que é nascente o estabelecimento de um setor de reciclagem formal, como mostra a Figura 1.2. Observa-se que Brasil, México, África do Sul, Colômbia e Marrocos possuem um potencial significativo para adaptação de tecnologias de pré-processamento e, até certo ponto, de tecnologias de processamento-final.

**Figura 1.2 - Dimensão do setor formal e informal da reciclagem de REEE em países em desenvolvimento**



Fonte: Adaptado de UNEP (2009).

A **etapa de coleta** no setor formal de REEE é composta, em geral, por empresas de logística reversa, recicladoras especializadas, sistema de coleta municipal,<sup>21</sup> fabricantes de eletroeletrônicos que possuem programas de logística reversa e, dependendo do país, por catadores de materiais recicláveis. O grau de participação de cada um dos atores na etapa de coleta depende do nível de implementação da regulação e de suas especificações.

Em países que possuem regulação específica para REEE, de acordo com o mapeamento de experiências internacionais de logística reversa de resíduos sólidos realizado pela ABDI (2012), existem dois modelos, que podem se sobrepor (ver Quadro 1.1). O primeiro modelo, de controle do sistema de coleta pelo mercado, pode ser **monopolista** (o controle da coleta e disposição dos resíduos está sob domínio de apenas uma organização) ou **competitivo** (o controle da coleta é feito por diversos atores). O segundo modelo depende das atribuições de responsabilidades aos atores pela coleta definidas pela regulação. Neste último caso, a responsabilidade pela coleta pode ser do **fabricante, compartilhada** (mais de um agente na cadeia é responsável pela destinação dos resíduos) ou do **governo**.

Quadro 1.1 - Matriz de atribuições de responsabilidade e modelo de competição da logística reversa

---

<sup>21</sup> “The majority of schemes in Europe operate around the municipal collection system eg. ICT Milieu, in Denmark and El Kretsen in Sweden use this channel exclusively. Others, such as Recupel, in Belgium, NVMP, in the Netherlands and El-Retur, in Norway encourage retailer participation. Some non EU schemes, such as SWICO, in Switzerland achieved much higher levels of collection via the retail chain.” (UNEP, 2007 b, p. 39). Livre tradução: “A maioria dos esquemas na Europa operam em torno do sistema de cobrança municipal, por exemplo, ICT Milieu, na Dinamarca, e El Kretsen, na Suécia, usam exclusivamente este canal. Outros, como Recupel, na Bélgica, NVMP, na Holanda e El-Retur, na Noruega, incentivam a participação varejista. Alguns esquemas não da UE, como SWICO, na Suíça atingiram níveis muito mais elevados de coleta através da cadeia de varejo”. (UNEP, 2007 b, p. 39).

### Responsável pela coleta

		<i>Fabricante</i>	<i>Compartilhada</i>	<i>Governo</i>
Modelo de competição	<i>Monopolista</i>	i. Os fabricantes restringem a coleta apenas às suas próprias marcas ii. A escala tem importância menor	i. São grandes organizações não governamentais que gerem a logística reversa ii. Esse tipo de iniciativa é uma resposta mobilizada à legislação vigente que tem como princípio a responsabilidade compartilhada	i. O Estado é o responsável por gerir a logística reversa
	<i>Competitivo</i>	i. Muitas organizações não governamentais atuam na logística reversa ii. Os fabricantes criam ou se associam a diferentes instituições iii. Esse tipo de estrutura é decorrente da iniciativa de diferentes fabricantes para fazer frente à legislação vigente	i. Os fabricantes criam ou se associam a diferentes instituições ii. O governo também participa da etapa de coleta	N.A.

Fonte: Adaptado de ABDI (2012).

No Brasil, principalmente pela carência de uma estrutura de coleta adequada, o consumidor não tem o hábito de destinar adequadamente seus REEE, depositando-os junto ao lixo comum, na maior parte dos casos. Soma-se a isso a existência de uma “cultura do reuso” (ABDI, 2012), na qual o equipamento eletroeletrônico é geralmente guardado, doado ou vendido. O reuso, por um lado, se mostra negativo no que diz respeito especialmente a equipamentos de linha branca, como geladeiras, por prolongar a vida útil de produtos com baixa eficiência energética; por outro lado, o reuso é uma alternativa para a “democratização” do acesso a bens de consumo em países com alto índice de desigualdade social, especialmente no que se refere à inclusão digital.

No país, alguns catadores de materiais recicláveis coletam REEE juntamente com outros materiais mas, em grande parte dos casos, afirmam não saber destiná-los adequadamente. Tratando-se de um resíduo perigoso, é imprescindível que catadores sejam devidamente capacitados para lidarem com os REEE, já que de acordo com os dados da ABDI (2012), a coleta e o pré-processamento de REEE representam em torno de 15% do faturamento das cooperativas de catadores.

Por conta de programas que deram maior visibilidade à necessidade de destinação adequada de pilhas e baterias<sup>22</sup> a partir de pontos de varejo, os REEE também começaram a receber, ainda que em menor proporção, atenção nacional quanto à sua destinação.

<sup>22</sup> Entre eles o “Programa Papa-pilhas”, promovido pelo Banco Santander.

Algumas operadoras de telefonia móvel, como “Vivo”, “Claro” e “Tim”, começaram a receber de volta aparelhos e baterias em cidades de maior porte. Surgiram também projetos da sociedade civil organizada como o Comitê para a Democratização da Informática (CDI), o projeto “MetaReciclagem”, além de programas governamentais como os “Centros de Recondicionamento de Computadores”. Alguns projetos de universidades também repercutiram, como é o caso do “Centro de Descarte e Reuso de Resíduos de Informática” (CEDIR) da Universidade de São Paulo, que recebe equipamentos de telecomunicação com o objetivo de consertá-los para reuso ou de destiná-los para a reciclagem. Como mencionado, estas iniciativas, em sua maioria, visam mais o reuso de alguns equipamentos do que sua reciclagem, sendo isto um problema em termos de falta de infraestrutura para a destinação correta dos REEE, mas não um problema em termos do acesso a bens de consumo de populações em situação de maior vulnerabilidade social.

O “Apêndice A” apresenta os pontos de coleta de REEE e baterias cadastrados no site do projeto e-lixo *maps*,<sup>23</sup> liderado pelo Instituto Sérgio Motta, que conta com o cadastramento contínuo de novos estabelecimentos. Constatou-se que a maior parte dos pontos de coleta de REEE encontra-se na cidade de São Paulo.

Existem também associações formadas por empresas privadas que incentivam a coleta e a reciclagem de REEE no país. A mais conhecida delas é o “Compromisso Empresarial para a Reciclagem” (CEMPRE), formada por empresas como Intel, HP, Dell, Phillips, Walmart, Carrefour e Pão de Açúcar.

Deve-se levar em consideração que a implementação da logística reversa no Brasil enfrenta algumas condições adversas como a escala continental do país, a precariedade de infraestrutura em vários estados, a reduzida oferta de alternativas modais, as grandes diferenças de tributação e custos de operação entre estados (ABDI, 2012). Dada a informalidade da coleta e da logística reversa, o setor de reciclagem brasileiro ainda se depara com a instabilidade no fornecimento de materiais, o que ocasiona baixa escala, se comparado a outros países com regulação há mais tempo instituída.

A etapa de coleta é decisiva para o gerenciamento de REEE como um todo por determinar a escala de material disponível para o reuso e recuperação. Para tal, dado que os

---

<sup>23</sup> <http://www.e-lixo.org>.

REEE são por natureza perigosos, a sua coleta, transporte e estocagem dependem de condições rigorosamente controladas. Além dos métodos de coleta, a sua maior taxa depende igualmente de fatores como acesso aos pontos de coleta, separação dos aparelhos reutilizáveis e informações adequadas e consistentes para os usuários (UNEP, 2007b). Independente dos canais de coleta, a fonte dos REEE são de duas naturezas: advêm de indústrias (*business to business - B2B*) ou de consumidores (*business to consumer - B2C*).

Ainda no que diz respeito ao setor formal da reciclagem de REEE, compõem a **etapa de pré-processamento** recicladoras nacionais e multinacionais, bem como cooperativas de reciclagem especializadas. Nestas unidades, as substâncias perigosas são removidas ou tratadas com segurança, enquanto componentes valiosos e outros materiais são destinados para reutilização ou para processos de recuperação, que incluem a remoção de baterias e de condensadores. O desafio é definir prioridades quanto à recuperação de materiais, buscando equilibrar os ganhos ambientais e econômicos, ao invés de apenas tentar maximizar as taxas de recuperação por peso, independentemente da substância em causa. Dispositivos eletroeletrônicos, pequenos e altamente complexos como telefones celulares e MP3 *players* podem, após a remoção da bateria, ser encaminhados diretamente para a etapa de processamento-final.

No Brasil, de acordo com pesquisa da ABDI (2012), existem setenta e duas recicladoras de REEE atuantes e apenas uma cooperativa de reciclagem especializada (Coopermiti). Grande parte dessas recicladoras estão concentradas no estado de São Paulo (trinta e sete recicladoras), conforme detalhado no “Apêndice B”.

Essas recicladoras também atuam, em sua maioria, como pontos de coleta de REEE. Já em termos de separação e tratamento de insumos nobres, possuem baixa eficiência quando comparadas a recicladoras de alguns países como Bélgica, Alemanha e Japão. Os processos de reciclagem de REEE de **empresas brasileiras chegam somente à etapa de pré-processamento**, se limitando à separação e moagem do material, que será, em seguida, processado em plantas de alta tecnologia, fora das fronteiras nacionais.

De acordo com ABDI (2012), um levantamento realizado pelo sistema *Aliceweb* mostrou que em 2011, um volume superior a 20.000 toneladas de REEE foram exportados a partir do Brasil. Algumas plantas nacionais especializadas em exportação de REEE são

San Lien, SIR, Interamerican, Oxil, Reciclo Metais e Sucata Eletrônica, todas elas localizadas em São Paulo (OLIVEIRA et. al, 2012). O material exportado é de alto valor agregado (conteúdo metais preciosos), mas é vendido a preço similar ao de sucata comum. Para reverter esta situação, é necessário investimento em tecnologias que possibilitem a maior eficiência do processo de reciclagem como um todo e assegurem a extração desses materiais em fronteira nacional (ABDI, 2012).

A etapa de **processamento final** segue em três principais destinos, geralmente, em unidades geograficamente separadas dos processos de pré-processamento. As frações ferrosas são direcionadas para usinas siderúrgicas; as frações de alumínio são encaminhadas para as fundições de alumínio; enquanto que o cobre e o chumbo, frações de placas de circuitos integrados e outras frações de metais preciosos são encaminhadas para fundições especializadas, onde suas substâncias perigosas são isoladas.

No Brasil estão localizadas algumas Empresas Multinacionais (EMNs) de fundição especializada no tratamento de placas de circuito impresso. O Quadro 1.2 aponta alguns exemplos.

Quadro 1.2 - Exemplos de subsidiárias de fundições especializadas para tratamento de placas de circuito impresso localizadas no Brasil

<b>Empresa Multinacional</b>	<b>País de origem</b>	<b>Outras subsidiárias</b>
Umicore	Bélgica	Argentina, Austrália, Áustria, Canada, China, República Tcheca, Dinamarca, França, Alemanha, Hungria, Índia, Itália, Japão, Coreia do Sul, Luxemburgo, Malásia, Holanda, Noruega, Filipinas, Polônia, Portugal, Rússia, Eslováquia, África do Sul, Espanha, Suécia, Suíça, Taiwan, Tailândia, Reino Unido, Estados Unidos
Cimélia	Cingapura	Estados Unidos, Alemanha, Malásia, Indonésia, China, Japão, Hong Kong, Taiwan, Tailândia, Índia e Arábia Saudita
Armetals	Estados Unidos	Informação não disponível
Hamaya	Japão	Informação não disponível
TCG	Estados Unidos	Índia e México

Fonte: Elaboração própria a partir de entrevistas e de dados dos sites das empresas (2013).

As EMNs deste ramo, localizadas no Brasil, tais como Umicore, Cimélia, Armetals e Hamaya possuem processos de reciclagem que preservam integralmente os recursos naturais, excluindo quase que por completo a necessidade de utilização de aterros sanitários

e a reutilização de partes e componentes no mercado paralelo. A Umicore, por exemplo, é uma empresa belga que atua no Brasil desde 2005, especializada em ciência de materiais, química e metalurgia com aplicações variadas, como o desenvolvimento de catalisadores para controle de emissões, materiais para baterias recarregáveis e fotovoltaicas, células de combustível e reciclagem de metais preciosos. Neste último ramo, as operações recuperam aproximadamente vinte tipos de metais preciosos e outros metais não ferrosos obtidos de diversas fontes, entre elas os REEE (site Umicore, 2013).

Além de São Paulo e Rio Grande do Sul, parte das subsidiárias possui plantas em Manaus, cidade com a maior concentração de indústrias de equipamentos eletroeletrônicos. Entretanto, os processos de reciclagem dos metais, propriamente ditos, são realizados nas matrizes, ou seja, as subsidiárias no Brasil atuam mais na etapa de coleta e, às vezes, na de pré-processamento. Sendo assim, a reciclagem completa dos REEE não ocorre no Brasil, com exceção de materiais como plásticos, vidro, aço, alumínio e cobre. Para serem processadas, as placas de circuito impresso são exportadas para países como Estados Unidos, Alemanha, Canadá, Bélgica e Cingapura (OLIVEIRA et al., 2012). Todas essas EMNs possuem subsidiárias em vários outros países, que operam de maneira similar às unidades brasileiras, com raras exceções.

A Suzaquim, localizada em Suzano-SP, é a única empresa química brasileira que possui, ainda em estado inicial, operações com resíduos industriais para a produção de sais e óxidos metálicos. A empresa recebe de 5 a 8 toneladas de resíduos por mês e separa materiais e óxidos de metais dos Tubos de Raios Catódicos (CRTs), triturando e extraíndo metais de placas eletrônicas por meio de processos químicos. Os processos voltados à reciclagem de baterias são alimentados pelo programa de coleta “Papa-Baterias” do Grupo Santander (SILVA et al., 2007).

Além dessas etapas de reciclagem de REEE estarem intimamente interligadas, esta cadeia, em si, está ligada a outras etapas do ciclo de vida do produto (*design*, produção e consumo). As etapas de desmantelamento e pré-processamento afetam as etapas subsequentes de recuperação de material, da mesma forma que os avanços tecnológicos na recuperação de metais pode implicar novos fluxos de saída (*output*) dos passos anteriores. Ou seja, novas composições de materiais, combinações ou conexões em equipamentos

eletroeletrônicos (por exemplo, monitores de plasma) podem acarretar em ajustes no *set-up* da cadeia de reciclagem.

Dados os objetivos dessa dissertação, o foco estará nas etapas de pré-processamento e processamento final da reciclagem de REEE. A etapa de coleta só será levada em consideração para fins de estudo da viabilidade das duas etapas em questão. Sendo assim, os processos tecnológicos das etapas de pré-processamento e de processamento-final serão melhor detalhadas no capítulo dois.

### **1.3. Políticas e regulações de REEE: experiência internacional e brasileira**

As regulações e políticas voltadas à gestão de REEE, além de incentivarem o fortalecimento do mercado formal de reciclagem, articulam institucionalmente os vários atores da cadeia citados na seção 1.2 – de forma geral, os consumidores, as empresas e o governo. Sendo assim, a presente seção tem por finalidade descrever as principais regulações de REEE, internacionais e nacionais, no sentido de verificar os tipos de interações entre os atores em termos de responsabilidade legal. A seção também levanta questões sobre os diferentes impactos das regulações em países pioneiros ou posteriores em sua implementação, dado que esse *gap* temporal pode se traduzir em ganhos competitivos no comércio global de REEE.

A **Convenção de Basileia** foi a pioneira nas regulações de REEE por meio de um tratado internacional assinado em 1989, concebido para controlar o fluxo de resíduos perigosos, especialmente para países em desenvolvimento; sendo os REEE perigosos, eles também estão sujeitos à regulação.<sup>24</sup> A Convenção entrou em vigor em maio de 1992 e atualmente conta com 170 países signatários,<sup>25</sup> sendo que a participação do Brasil na Convenção foi ratificada em 1993, pelo Ato 875.

Durante a década de 1980, o maior rigor da legislação de resíduos perigosos em países desenvolvidos aumentou significativamente os custos de descarte, criando incentivos financeiros à sua exportação. Por conta disso, a Convenção incorpora o princípio de prévia notificação e consentimento da intenção de exportar e importar resíduos perigosos (Artigo 6º, parágrafo 1).

---

<sup>24</sup> Ver Anexo VIII da Convenção.

<sup>25</sup> Os EUA foram o único país da OCDE a não ratificar o tratado.

De acordo com Lepawsk & McNabb (2010), após a ratificação da Convenção, em 1992, tornou-se evidente algumas lacunas existentes no tratado. A primeira delas foi a contradição entre a definição de resíduos perigosos utilizada pela Convenção e as definições utilizadas pelas legislações nacionais de países signatários. Em segundo lugar, a Convenção faz concessões para acordos bilaterais e multilaterais que envolvam movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos entre signatários e não-signatários de Basileia, desde que as disposições desses acordos não sejam menos ambientalmente favoráveis do que os da convenção. A terceira lacuna diz respeito à permissão de movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos de materiais destinados à reutilização e à recuperação por meio da reciclagem, situação que leva ao problema de alguns exportadores simplesmente camuflarem os resíduos nesta categoria.

A partir de 1994, um esforço conhecido como "Proibição de Basileia" (*Basel Ban*) foi apresentado para superar essas lacunas e brechas. Tecnicamente referida como Decisão III, a intenção da emenda é uma proibição total da exportação de resíduos perigosos destinados à eliminação, recuperação ou reciclagem de países do Anexo VII (OCDE) para países menos desenvolvidos. Esta alteração dividiu as partes signatárias de Basileia. Durante as negociações, alguns países africanos procuraram uma proibição total das importações e exportações de resíduos, mas outros países em desenvolvimento estavam preocupados com a perda de receita significativa e de acesso mais barato à matéria-prima. Grupos de interesse industriais dos países do Anexo VII, particularmente da UE e dos Estados Unidos, também estavam preocupados com a perda de receitas resultante da proibição do comércio de materiais recicláveis (LEPAWSK & MCNABB, 2010). Como consequência, a emenda ainda precisa ser ratificada por países suficientes para entrar em vigor. Entretanto, mesmo se a Emenda *Basel Ban* for ratificada, a Convenção de Basileia ainda conteria disposições que poderiam parecer contraditórias.<sup>26</sup>

Neste sentido, a Convenção de Basileia trata todos os países em desenvolvimento como um bloco monolítico vulnerável a movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos dos países desenvolvidos. A questão é que existem entre países em desenvolvimento

---

<sup>26</sup> Para maiores detalhes, ver LEPAWSK & MCNABB, 2010, p. 178.

diferenças importantes quanto à riqueza relativa e a capacidade tecnológica de processamento de alguns resíduos.

*Thus the Basel Convention remains highly ambiguous when it comes to common e-waste materials (and many others) and leaves a great deal of room for 'flexible' interpretation of its intentions to halt the transboundary movement of them. (LEPAWSKY & MCNABB, 2010, p. 180).<sup>27</sup>*

Yang & Percival (2009) apontam uma tendência para a internacionalização das normas ambientais, por meio de acordos internacionais e pelo reforço da regulação nacional em todo o mundo. Isso se aplica às regulações de REEE, que, diante das novas tendências regulatórias e do surgimento de um mercado global de REEE, países desenvolvidos começaram a criar regulações ambientais específicas para o descarte e reciclagem de equipamentos eletroeletrônicos.

A UE foi pioneira no estabelecimento de regulações nacionais para REEE. Por meio da **Diretiva WEEE (*Waste Electrical and Electronic Equipment*)**,<sup>28</sup> estabeleceu como prioridade a prevenção da geração desses resíduos, seguida de sua reutilização, reciclagem e outras formas de recuperação.

O primeiro projeto para a elaboração da Diretiva WEEE foi emitido no início de 1998, mas foi duramente criticado pelas indústrias de equipamentos eletroeletrônicos de todo o mundo (EUA, UE, Japão, Canadá, Austrália, entre outros), principalmente pela extensão de responsabilidades atribuídas ao produtor. O seu âmbito foi considerado muito amplo e as indústrias não tinham sido consultadas para a formulação da diretiva. Em julho de 1998, um segundo projeto circulou, sem uma maior participação das indústrias. Preparado de um modo semelhante, a terceira versão transpareceu em julho de 1999. As versões e revisões subsequentes da Diretiva ainda mantiveram a oposição da indústria.

Quando finalmente promulgada, em 2003, a Diretiva estabeleceu aos países da UE melhorias no desempenho ambiental dos equipamentos eletroeletrônicos via maior eficiência na utilização de recursos. No mesmo ano foi também publicada pela Comunidade Europeia a Diretiva RoHS (*Restriction of the use of Certain Hazardous Substances*)/

---

<sup>27</sup> Livre tradução: “Assim, a Convenção de Basileia continua altamente ambígua quando se trata de materiais e resíduos eletroeletrônicos (e muitos outros) e deixa uma margem flexível de interpretação sobre as suas intenções de deter o seu movimento transfronteiriço”.

<sup>28</sup> Diretiva 2002/96/CE; Diretiva 2012/19/UE.

Diretiva 2002/95/EC, que estabelece regras sobre o conteúdo de substâncias perigosas em equipamentos eletroeletrônicos. A promulgação conjunta das duas Diretivas (RoHS e WEEE) representa em termos legais um avanço na gestão da *cadeia produtiva de ciclo fechado* de eletroeletrônicos uma vez que a gestão dos REEE é considerada desde a fabricação dos equipamentos até estes serem reciclados e reaproveitados pela indústria (princípio “*cradle to cradle*”).

O Princípio de *responsabilidade do produtor* se manteve, como previsto pelos projetos anteriores da Diretiva, e estipula que produtores, importadores e distribuidores de equipamentos eletroeletrônicos sejam responsáveis pelo ciclo de vida dos seus produtos, arcando com os custos de coleta seletiva, além de outras atribuições (Quadro 1.3). São afetados por esta regulação, inclusive, exportadores destes produtos para o mercado europeu.

Quadro 1.3 - Atribuições do princípio de responsabilidade do produtor (Diretiva WEEE)

<b>Atribuições da Responsabilidade do Produtor (Diretiva WEEE - 2002/96/CE de 27 de janeiro de 2003)</b>	<b>Marco legal</b>
Obedecer aos critérios de recuperação por peso médio estabelecidos por tipo aparelho, bem como a porcentagem de reciclagem de componentes, materiais e substâncias	Art. 7º
Integrar materiais reciclados na fabricação de novos equipamentos	Consideração 18
Fornecer informações e manter registros sobre o peso, nº de equipamentos elétricos e eletrônicos colocados no mercado, a taxa de recolha, reutilização, valorização e exportação de REEE	Art. 7º
Fornecer informações aos centros de reutilização e reciclagem sobre a reutilização e tratamento de cada tipo de produto sob a forma de manuais ou por meios eletrônicos	Art. 11
Garantir facilidade de desmantelamento e valorização do produto	Art. 4º
Assegurar que os REEE sejam entregues sem encargos	Art. 5º
Instalar e explorar sistemas de coleta individuais ou coletivas	Art. 5º
Obtenção de autorização das entidades competentes no caso de efetuar operações de tratamento (inspeção)	Art. 6º
Ter um lugar de armazenamento adequado	Art. 6º
Obter certificado de gestão ambiental	Art. 6º
Fornecer garantia de financiamento do sistema de logística reversa, ao colocar o produto no mercado	Art. 8º
Marcação no produto do símbolo "não jogue REEE em lixos municipais"	Art. 10

Fonte: Elaboração Própria a partir da Diretiva WEEE (2013).

Magalini & Huisman (2007) apontam algumas diferenças nas abordagens nacionais para a implementação da Diretiva WEEE na UE. Logicamente, a criação de leis nacionais e a implementação de infraestrutura para sistemas de coleta e reciclagem foram muito mais fáceis em países com regras e infraestrutura pré-existentes (Áustria, Bélgica, Dinamarca, Holanda e Suécia).

Essas assimetrias regulatórias entre países europeus são também atribuídas à dificuldade de acordo das partes interessadas sobre a definição de responsabilidades, reforçada pelas atividades de *lobby* dos produtores, varejistas, municípios e empresas de reciclagem. Por exemplo, em alguns países é aceitável cobrar dos consumidores uma taxa visível para cobrir custos de gestão de REEE, mas em muitos países isso não é permitido. Magalini & Huisman (2007) ligam as dificuldades na gestão de REEE à variedade de partes interessadas, sendo a definição da responsabilidade financeira apenas um dos compromissos envolvidos. Em grande medida, a eficácia da regulamentação depende da aceitação das partes envolvidas no acordo (governo, empresas e consumidores).

A fim de superar as dificuldades políticas e técnicas relacionadas à implementação de REEE, desde 2009, uma associação privada europeia de coleta e recuperação de REEE, chamada WEEForum, vem trabalhando no desenvolvimento e difusão das melhores práticas deste segmento, incluindo a criação de normas (WEEFORUM, 2011a). O WEEELabex padroniza toda a cadeia de operações de REEE e seu objetivo geral é o de melhorar sua eficiência, reduzir os danos ambientais e à saúde humana, impedir transferências ilegais de REEE e promover a concorrência leal entre operadores.

Os sistemas de coleta em países desenvolvidos são de dois tipos principais: sistemas coletivos, geralmente dirigidos por organizações sem fins lucrativos, criados pelas indústrias interessadas, e sistemas competitivos de compensação (*competitive clearing house systems*), dirigido por um órgão central de coordenação nacional que determina a obrigação de coleta para cada produtor. Este segundo tipo de arranjo é geralmente mais eficiente e estimula mais fortemente a inovação por empresas privadas. O financiamento dos sistemas varia e é principalmente uma combinação de taxas a serem cobradas de consumidores e/ou produtores. O Quadro 1.4 mostra as diferenças de gerenciamento de REEE em alguns países da Europa.

Quadro 1.4 - Gerenciamento de REEE em países da UE

País	Modelo de gerenciamento de REEE
Suíça	Existem três sistemas de gestão de REEE desde 1992: a Fundação Suíça para a Gestão de Resíduos (SENS), a Seção de Reciclagem da Associação Suíça de Informação, Comunicação e Tecnologia (SWICO Reciclagem) e a Fundação Suíça de Reciclagem de Lâmpadas (SLRs). As fundações de gerenciamento de resíduos definem regras para os produtores e importadores de REEE. A taxa de reciclagem é cobrada sobre os consumidores.
Holanda	O decreto para bens de linhas branca e marrom, lançado em 1998, criou a responsabilidade estendida do produtor para REEE. Os varejistas tomam equipamentos eletrônicos usados em troca de novos e, posteriormente, encaminham os equipamentos para descarte. São cobradas taxas sobre os consumidores.
Bélgica	Em 2001, a organização sem fins lucrativos Recupel foi fundada pelos produtores/importadores de eletroeletrônicos, com o apoio da organização de coleta municipal. Produtores/importadores podem optar por se juntar à Recupel (para o qual é exigido o pagamento de taxas administrativas) ou por planos individuais de gestão de REEE, submetidos à aprovação do governo. As taxas são cobradas sobre os consumidores.
Alemanha	A introdução de novos produtos eletroeletrônicos no mercado requer registro da Agência Federal do Meio Ambiente, que controla o sistema com um conselho de representantes multissetoriais. Os produtores providenciam <i>containers</i> para a coleta, organizam o transporte, informam os dados ao consumidor e elaboram um relatório sobre seus resíduos às autoridades. São cobradas taxas dos produtores sobre o registro de novos produtos e dos consumidores para produtos que não sejam de uso eletrodoméstico.
França	Os varejistas coletam REEE quando da troca por novos produtos. Aqueles são enviados para instalações municipais de descarte ou são doados para organizações sem fins lucrativos. Existem quatro organizações sem fins lucrativos criadas por produtores, aprovadas pelo governo e coordenadas por uma filial comum para gerenciar as operações de REEE. O sistema é financiado por taxas cobradas sobre consumidores e produtores.
Espanha	Pontos de coleta e reciclagem são geridos pela Fundação Ecolec, organizada pelos produtores e importadores de eletroeletrônicos.

\* Para outros países europeus além destes ver UNEP, 2007b, p. 104 -119.

Fonte: Adaptado de UNEP (2007b, 2012); Mazon et al. (2012)..

De acordo com Tojo & Fischer (2011), na maioria dos países da UE, a taxa de coleta de grandes eletrodomésticos, equipamentos de alto consumo e equipamentos de informática é maior do que 30%; países que alcançaram mais de 50% de taxa de coleta (Suécia, Noruega e Luxemburgo) são aqueles que tiveram regulamentações anteriores.

Em relação à fonte de recursos para viabilização da regulação, observa-se que elas podem advir de taxas/impostos, dos fabricantes ou de custos compartilhados. De acordo com UNEP (2007b), o sucesso para o estabelecimento e funcionamento de um modelo de financiamento de REEE depende: i. do processo de consulta das partes interessadas (recicladores e produtores, por exemplo) para a criação do quadro legislativo; ii. da

construção de sistemas que atendam às especificidades locais (geográficas, culturais e da indústria) e que levem em conta as práticas existentes de coleta de resíduos; iii. da construção de infraestrutura necessária e, só depois, da definição de metas e monitoramento dessas; iv. do equilíbrio entre os custos econômicos e impactos ambientais (a solução de menor custo pode comprometer o resultado ambiental desejado; por isso, é importante que haja valores aceitáveis e realistas para o volumes, custos e padrões de reciclagem); v. da clareza do programa ao consumidor e a facilidade do seu envolvimento; vi. do reconhecimento de necessidades diferentes de financiamento para cada setor.

Frente ao quadro de internacionalização dos mercados, as medidas da UE passaram a sensibilizar, tanto política quanto economicamente, diversos outros países, conforme mostra o Quadro 1.5.

Quadro 1.5 – Regulações de REEE em outros países

País	Regulação de REEE
Canadá	Estão sendo implementadas em nível provincial com base no princípio da responsabilidade do produtor. Alberta, Saskatchewan, British Columbia, Ontário e Nova Escócia já possuem regulamentos de REEE.
China	A Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma da China emitiu, em 2001, o "Decreto sobre a Gestão de Resíduos Domésticos Elétricos e Eletrônicos", base das "Medidas Administrativas de Prevenção e Controle de Poluição Ambiental por Lixo Eletrônico", comumente conhecida como "China RoHS" e em vigor desde 2007. Esta legislação determina que os produtores, importadores e varejistas estabeleçam um sistema de recuperação, registrem o tipo, peso ou quantidade de REEE e realizem testes em laboratórios autorizados pelo governo chinês.
Coreia	O Princípio da Responsabilidade do Produtor foi introduzido em 2003, e fez obrigatória a coleta e a reciclagem. Para cumprir com a regulação, os produtores pagam uma taxa para participar de uma organização à cargo da gestão dos REEE.
Estados Unidos	Foram criadas duas leis: o Decreto de Reciclagem de Eletrônicos (baseado na WEEE e na RoHS, em vigor desde 2003) e a <i>Electronic Equipment Collection</i> , sancionada em 2008, a qual determina que os produtores submetam um plano de manejo de REEE às autoridades públicas dos municípios e que proíbe o descarte de equipamentos eletroeletrônicos em aterros sanitários. Ademais, estados e municípios desempenham um papel fundamental em iniciativas de reciclagem de REEE (vinte e três estados possuem suas próprias regulações de REEE). Por exemplo, na Califórnia, em 2003, a <i>California Electronics Waste Recycling Act</i> determinou que até 2010 os produtores coletassem 90% dos equipamentos vendidos, ou pagassem uma taxa alternativa.
Japão	A <i>Home Appliance Recycling Law</i> , promulgada em 1998 e em vigor em 2001, visa abolir o uso de substâncias tóxicas na fabricação dos produtos, aumentar o índice de reciclabilidade e proibir o seu depósito inadequado. Para isso, prevê que o consumidor seja responsável pelo descarte de equipamentos eletroeletrônicos e o Estado responsável pelo sistema de coleta e logística reversa, cabendo ao produtor reciclar e neutralizar as substâncias perigosas dos equipamentos.

Fonte: Adaptado de UNEP (2007b, 2012); Mazon et al. (2012).

Em vários países em desenvolvimento o setor de reciclagem de eletroeletrônicos não está sujeito à regulação, prevalecendo, então, o uso de processos e métodos rudimentares sem controle de emissões tóxicas. Em contrapartida, outros países como China e Brasil seguem a tendência de harmonização internacional em torno das regulações europeias de REEE.

**No caso brasileiro, foi promulgada em 2010 a Lei 12.305**, a qual institui a **Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**, que engloba o tratamento de resíduos industriais em geral,<sup>29</sup> entre eles os REEE.

A PNRS prevê até 2014 o fim dos lixões e, em seu lugar, o encaminhamento de rejeitos para aterros sanitários. Como apenas 10% dos resíduos sólidos são rejeitos (ABDI, 2012), a maior parte desses resíduos é de matéria orgânica ou de materiais recicláveis. Neste caso, assim como a política europeia, a PNRS segue uma ordem hierárquica de prioridades: a não-geração de resíduos, seguida de sua redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente correta.

Para viabilizar os processos, a PNRS tem entre seus princípios e objetivos: “o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda” (art. 6º); “a adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar os impactos ambientais” (art. 7º); “o incentivo à indústria de reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados” (art. 7º); “o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis ou recicláveis” (art. 8º); “metas para a eliminação e recuperação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis” (art. 15); “a implantação da coleta seletiva com a participação de cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda” (art. 15).

---

<sup>29</sup> Agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso; pilhas e baterias; pneus; óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens; lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista; e produtos eletroeletrônicos e seus componentes (LEI 12.305/10).

Em 2010, o Brasil também transmitiu um comunicado ao Secretariado da Convenção de Basileia, advertindo sobre a proibição de importação de resíduos perigosos para território nacional. Essa proibição foi implementada em acordo com o Artigo 49 da PNRS (OLIVEIRA et al., 2012).

Especificamente no que diz respeito ao desenvolvimento tecnológico, a PNRS prevê canais de financiamento por meio do Fundo Nacional do Meio Ambiente e do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e a cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado para o desenvolvimento de novos produtos, métodos, processos e tecnologias de gestão para reciclagem, reutilização e tratamento de resíduos sólidos.

Diferente da regulamentação europeia, que segue o princípio da *responsabilidade do produtor*, a PNRS é regida pelo princípio de *responsabilidade compartilhada*, o qual estipula a operacionalização do sistema de logística reversa<sup>30</sup> mediante compromisso do poder público, do setor privado e do terceiro setor, conforme as atribuições do Quadro 1.6.

Quadro 1.6 - Atribuições do princípio de responsabilidade compartilhada da Política Nacional de Resíduos Sólidos

<b>Ator</b>	<b>Atribuições do Princípio de Responsabilidade Compartilhada</b>
Consumidor	Efetuar a devolução de seus produtos aos comerciantes após o uso.
Comerciantes e Distribuidores	Efetuar a devolução aos fabricantes ou aos importadores dos produtos reunidos ou devolvidos.
Fabricantes e Importadores	Dar destinação ambientalmente correta aos produtos reunidos ou devolvidos, de acordo com as normas estabelecidas pelo órgão competente do SISNAMA e, se houver, pelo plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos.
Poder Público	Adotar procedimentos para coleta seletiva e de recuperação de resíduos sólidos.

Fonte: Elaboração própria (2013).

Este compromisso de *responsabilidade compartilhada* foi firmado perante **Acordos Setoriais**, um dos três instrumentos estabelecidos pelo Decreto Federal nº 7.404/2010 para a implementação e operacionalização dos sistemas de logística reversa. Participaram da elaboração destes acordos os poderes públicos; indústrias de eletroeletrônicos; cooperativas ou associações de trabalhadores de resíduos; indústrias e associações dedicadas à

<sup>30</sup> Por meio da logística reversa busca-se viabilizar a coleta e a restituição de resíduos pós-consumo ao setor empresarial para o seu reaproveitamento nos ciclos produtivos ou outra destinação final ambientalmente adequada.

reutilização, tratamento e reciclagem; organizações de consumidores; e outros setores relacionados.

Os Acordos Setoriais envolvem decisões técnicas sobre engenharia de materiais; descrição das etapas do *ciclo de vida* de produtos; formas de operacionalização da logística reversa; possibilidades de participação de cooperativas e/ou associações; mecanismos de divulgação; avaliação dos impactos sociais e econômicos das diversas cadeias de reciclagem; e descrição das atribuições individualizadas e encadeadas dos participantes da logística reversa nos processos de recolhimento, armazenamento e transporte dos resíduos e embalagens para reutilização, reciclagem ou destinação ambiental adequada. Para a proposição desses pontos, os Acordos Setoriais contam com estudos e debates técnicos consolidados pelos Grupo de Trabalho Temático (GTT) de cada uma das categorias de resíduos sólidos.

No que diz respeito aos REEE, o seu modelo de acordo setorial vem sendo coordenado desde maio de 2011 pela ABINEE e pela Eletros. Foram realizadas onze reuniões no Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC), membro do Comitê Orientador da PNRS. Os participantes dessas reuniões estão listados no Quadro 1.7, mediante consulta dos arquivos de “memória de reunião do GTT” disponíveis na base do MDIC.

Quadro 1.7 - Participantes das reuniões do GTT de eletroeletrônicos

Participantes	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°
ABDI									X	X	X
ABEMA	X	X	X	X							
ABEMUSICA								X			
ABRINQ								X			
ABETRE		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ABIMED										X	X
ABIMO								X	X	X	X
ABINEE	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ABRAS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ABRASA										X	X
ABREE								X	X		X
ABRELPE	X	X	X	X		X		X			X
ANVISA								X	X	X	
APEX						X					
CDI-DF	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CEMPRE		X	X	X	X	X	X	X	X	X	
CENTCOOP				X	X	X	X	X	X		
CNC	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CNI		X	X	X	X	X	X		X	X	X
CNM								X			
ECT		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ELETROS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
FNP			X	X	X	X	X	X	X	X	X
FRENTE PARLAMENTAR											X
GMCONS		X	X								
IBAMA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
INESFA				X	X	X	X	X	X	X	X
INMETRO				X		X	X	X	X	X	X
INVENTTA										X	X
MCTI		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
MDIC	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
MF	X	X	X	X	X		X	X		X	X
MJ	X								X		
MMA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
MNRC											X
PANASONIC		X	X								
PORTO DIGITAL			X						X		
RECIBRAS				X	X	X	X	X	X	X	X
SINDITELEBRASIL							X	X	X	X	
UNASER		X	X	X	X	X		X			X

\* As siglas das instituições participantes estão contidas no Apêndice C.

\*\* As memórias de reunião de 2013 não foram encontradas para consulta pública.

Fonte: Memória de Reunião, MDIC (2011, 2012).

O levantamento dos participantes da reunião mostra que houve, aparentemente, a participação de vários representantes da sociedade envolvidos com o tema: os próprios órgãos federais, confederações de indústrias, multinacionais, recicladoras e associações de cooperativas de catadores.

Em relação à cooperativa de catadores, a PNRS apresenta um caráter particular frente a outras regulações internacionais de REEE ao prever a inclusão social via geração de trabalho e renda de catadores, conforme o artigo 8º e o artigo 15 da Lei 12.305/2010. O diálogo e a parceria entre os atores envolvidos nos Acordos Setoriais são fundamentais para assegurar que a implementação da lei englobe práticas pré-existentes à sua regulamentação e, desta forma, cumpra seu papel social de maior inclusão dos catadores neste processo. Em segundo lugar, as cooperativas de catadores devem entrar no mapeamento de recicladoras do país previsto pelos estudos, o que torna de extrema importância a sua participação nas discussões acerca das dificuldades de certificação, critérios para padronização das práticas, avaliações sobre o nível de capacitação dos trabalhadores envolvidos e sobre as dificuldades de se atingir escala de equipamentos, tal como seu mercado. Além do que, alguns desses atores, tais como a UNASER (União Nacional dos Sindicatos e Associações das Empresas de Reciclagem), têm entre seus objetivos a promoção e coordenação de Pesquisa & Desenvolvimento (P&D) por meio do IBPqR (Instituto Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico de Reciclagem). Assim, é de extrema importância a participação das associações de catadores no processo de solidificação da PNRS, em termos de aproveitamento da infraestrutura pré-existente, da *expertise* contributiva desses atores e, principalmente, da oportunidade de geração de trabalho e renda para pessoas sujeitas a condições de vulnerabilidade social.

O GTT de eletroeletrônicos junto da ABDI lançou um estudo intitulado “Análise da Viabilidade Econômica da Implementação de Logística Reversa de REEE” que fomentará as discussões e o fechamento deste Acordo Setorial. As recomendações do estudo estão resumidas no Quadro 1.8. Em termos de metas, o estudo, apesar de acreditar ser possível o processamento de 100% dos resíduos que entrarem no sistema, não prevê metas para a taxa de recolhimento (coleta) de equipamentos eletroeletrônicos, pré-requisito para a eficiência da cadeia de reciclagem como um todo.

Quadro 1.8 - Resumo das recomendações do estudo da ABDI (2012) para implementação do sistema de logística reversa de REEE no Brasil

	<b>Modelo</b>	<b>Observações</b>
Fonte de recursos para viabilização	Custos compartilhados	Consumidor, Comércio, Fabricantes e Importadores arcam com os custos de logística reversa.
Responsabilidade pelos produtos órfãos	A ser definida	Deverá seguir os princípios preconizados pela PNRS: 1. Poluidor-pagador e 2. Protetor recebedor.
Metas de recolhimento e reciclagem	Com meta de reciclagem	100% dos resíduos que entrarem no sistema estabelecido pelas organizações gestoras representantes dos fabricantes e importadores deverão ser processados.
Grau de responsabilidade do poder público	Atuante	Não opera o sistema, mas atua de forma a estimular o seu melhor funcionamento, provendo recursos para PD&I, infraestrutura, campanhas de conscientização etc.
Tratamento de REEE	Resíduo não perigoso	REEE não deve ser descaracterizado até chegar à recicladora, que deverá estar devidamente licenciada para processar sua destinação.
Reuso no sistema de logística reversa	Possibilitado	Consumidor que declarar intenção de doar seu equipamento para reuso será instruído nos pontos de descarte/recebimento.
Determinação de responsabilidade pelo REEE	Definida proporcionalmente	Responsabilidade de cada fabricante determinada por sua proporção de vendas do ano anterior. O equilíbrio do sistema será realizado por meio de recomendações dos órgãos fiscalizadores.
Modelo	Competitivo	Fabricantes e importadores se agrupam em organizações gestoras para estruturarem e gerirem a logística reversa, ficando a critério dos mesmos a escolha dos seus parceiros de logística e reciclagem. Recomenda-se que mais de uma organização gestora seja criada.

Fonte: Adaptado de ABDI (2012).

Apesar da aprovação e da iminente implementação da PNRS, os REEE ainda carecem de perspectivas mais precisas em alguns pontos delicados da operacionalização da lei, entre elas, sua classificação:

Diferentes maneiras de enquadrar os materiais (na forma de produtos, resíduos ou rejeitos; e se considerados perigosos ou inertes) vão ocasionar diferentes obrigações de segurança ambiental e laboral – incluindo a exigência de licenciamento dos pontos de recebimento, a fiscalização sobre seu transporte, o uso de equipamentos de proteção, a eventual remuneração por insalubridade e outras. Além disso, o regime de tributação sobre a circulação e o tratamento de REEE, além de refletir o interesse do poder público em incentivar ou coibir determinadas práticas, também varia conforme a classificação dos materiais. (ABDI, 2012, p. 48).

Outra dificuldade de implantação da política é a opção pelo *princípio de responsabilidade compartilhada*, responsável por atrasos e dificuldades no fechamento dos Acordos Setoriais, uma vez que conta com vários atores de diferentes níveis de atuação para a gestão e financiamento dos REEE; o papel que irá cumprir cada um desses atores nesta cadeia ainda não está definido. Além disso, nas discussões promovidas pelo GTT de eletroeletrônicos, problemas e oportunidades advindos dos fluxos internacionais de REEE são negligenciados, acarretando no distanciamento entre a PNRS e a Convenção de Basileia.

Apesar das lacunas a serem preenchidas pela regulação, as mudanças trazidas pela WEEE e pela PNRS criam oportunidades de atualização tecnológica e organizacional de empresas de equipamentos eletroeletrônicos e de recicladoras especializadas, podendo promover o aumento de sua competitividade e sua maior inserção no comércio internacional.

No caso de empresas de equipamentos eletroeletrônicos, a natureza dessas regulações possibilita a adoção de novas estratégias de negócios, entre elas, a inclusão de novas variáveis no *design* de produtos (*Design for Environment*)<sup>31</sup>, como a restrição de substâncias ambientalmente agressivas, maior reciclabilidade, a homogeneização de materiais e mecanismos para montagem/desmontagem de equipamentos. Sendo assim, a WEEE e PNRS atuam como sinalizadoras de possíveis ineficiências no uso de recursos e oportunidades de aprimoramento de tecnologias limpas para o setor de eletroeletrônicos, o que pode gerar melhorias de processos e desenvolvimento de produtos. Além disso, a gestão de REEE se coloca como imperativa para empresas exportadoras para a Europa.

As questões aqui colocadas, ao invés de serem analisadas isoladamente, devem ser pensadas junto aos padrões de comércio internacional e ao processo geral de desenvolvimento econômico de países periféricos. Esta via expõe os crescentes desafios colocados às empresas demandantes de tecnologias ambientais, ao mesmo tempo em que se confronta com as deficiências estruturais desses países.

As regulações e tecnologias de reciclagem de REEE podem ser analisadas como casos em que a harmonização internacional da regulação ambiental se choca com as

---

<sup>31</sup> Ver Boks (2006), Rose (2000) e Umeda (2000).

capacidades tecnológicas assimétricas do país demandante de certificação. Em outras palavras, embora os regulamentos referentes aos REEE tenham se espalhado por uma variedade de países em desenvolvimento, o mesmo não pode ser dito em relação às suas tecnologias de reciclagem ou de *Design for Environment*. Essas assimetrias tecnológicas relacionam-se às diferentes posições ocupadas pelas empresas nas cadeias de valor globais, seja da indústria de equipamentos eletroeletrônicos, seja da indústria de reciclagem e tratamento de REEE.

Conforme será abordado no capítulo três dessa dissertação, a lógica de cadeias globais pauta-se na estratégia de especialização das empresas em competências essenciais e na terceirização de atividades mais laterais. Disto decorre participações assimétricas na geração de inovações e produtos intensivos em conhecimento e, portanto, no valor agregado às várias etapas de produção. No caso da indústria eletroeletrônica, em que a inovação é distribuída em múltiplas empresas, a mais rentável é aquela que controla os padrões pelos quais todo o pacote de informações é montado. Por exemplo, a taxa de lucro bruto da Microsoft em um computador HP é de 85% sobre o preço estimado pelo produto fornecido e o da Intel é de 59% (DEDRICK & LINDEN, 2008).

Assim, apesar de cada equipamento incorporar um grande número de componentes, a grande maioria são peças de baixo valor, como capacitores e resistores. Ou seja, embora os fornecedores daqueles componentes participem dos lucros, eles correspondem a pequena parcela do total do valor adicionado ao longo da cadeia de valor. Este último caso é o das montadoras de eletroeletrônicos localizadas em países em desenvolvimento, com baixa taxa de inovação local e insuficiente P&D próprio nos segmentos de maior expansão e dinamismo, como os bens de informática e eletrônica de consumo (BAMPI, 2009). No caso do setor de eletrônicos, isso se expressa por padrões tecnológicos assimétricos e subordinados.

Surge, daí, um problema de ordem regulatória: as diferentes participações das empresas pertencentes à cadeia global de eletroeletrônicos acarreta em desproporcionalidades na responsabilidade do produtor pelos resíduos gerados. Por exemplo, as indústrias de *software* e de pacotes de informação, beneficiárias em termos de agregação de valor ao produto, não arcam com os custos de gerenciamento dos

equipamentos fora de uso colocados por elas no mercado; geralmente, os custos são arcados pelas montadoras, cuja posição é menos privilegiada em termos de participação nos lucros do produto final.

Os estudos realizados por Ansanelli (2008, 2011) sobre os impactos das exigências ambientais europeias de eletroeletrônicos para o Brasil mostram claramente a difusão destas exigências pelas filiais de fabricantes desses equipamentos via matriz. Essas EMNs, em praticamente todas as atividades de inovação, apresentam performance superior a das nacionais adequadas às mesmas normas.

No que diz respeito às inovações e tecnologias ambientais e à presença de EMNs em países em desenvolvimento, existem alguns pontos a serem levantados. Uma das hipóteses a ser averiguada é aquela referente aos aspectos positivos da presença das EMNs como meio de introdução de tecnologias ambientais nos países hospedeiros. Essa lógica, para ser averiguada, entretanto, depende de algumas predisposições tais como:

O volume e qualidade dos investimentos, características do país hospedeiro, estrutura macro e regime político em vigor; capacidade de absorção do país receptor, setor onde ocorre o investimento, suas estratégias e o grau de orientação para exportações, políticas ambientais da corporação e regulações ambientais no país hospedeiro e no país de origem. (ANSANELLI, p. 21, 2008).

Essas prerrogativas nos sinalizam que entender as motivações e estratégias de gestão ambiental adotadas pelos investidores estrangeiros se coloca como questão central para a abordagem das repercussões das inovações e tecnologias ambientais nos países hospedeiros. Haveria de ser verificado se, no caso brasileiro, as EMNs, tanto de equipamentos eletroeletrônicos quanto de reciclagem de REEE, tenderiam a reproduzir os mesmos padrões ambientais que apresentam em suas matrizes. Os capítulos três e quatro trazem algumas considerações sobre a reprodução, ou não, de padrões ambientais no que diz respeito às filiais de recicladoras estrangeiras instaladas no Brasil.

Dado que produzir com menor risco ambiental no *ciclo de vida* do produto é pré-requisito em mercados mais competitivos, coloca-se como tendência o processo de adoção das regulações ambientais, por parte das empresas dos países em desenvolvimento, numa corrida para gerar inovações e garantir eficiência competitiva. Para levar adiante as consequências dessa constatação, devem ser consideradas as forças regulatórias do país receptor, as quais em geral são frágeis, em se tratando de países em desenvolvimento.

Justamente por apresentarem essa fragilidade, no caso de submissão a regulações ambientais locais compatíveis às internacionais, os impactos nos fluxos de comércio podem tomar várias formas, positivas ou negativas, dependendo dos custos e da estrutura necessária para a adequação.<sup>32</sup> Assim, a harmonização de regulações para países em desenvolvimento não é necessariamente condição única de desempenho econômico positivo.

A situação no Brasil mostra que algumas medidas iniciais foram tomadas pelo governo, mas ainda geram uma fraca resposta dos atores privados e mesmo dos Institutos Públicos de Pesquisa. Ações coordenadas, com a participação do governo, da academia e da indústria, são necessárias para o desenvolvimento de instalações capazes de reciclar frações complexas de REEE.

Além disso, os custos para a adequação e os incipientes avanços nessa área podem dificultar a adequação de empresas de pequeno e médio porte. Apesar da concentração de mercado nas grandes EMNs, o setor de eletroeletrônicos conta também com um grande número de pequenas e médias empresas, com tecnologias específicas e inovadoras. São exemplos disso as empresas dos setores de *software* e de equipamentos eletromédicos, que enfrentam de maneira especialmente intensa os desafios aqui discutidos.<sup>33</sup>

---

<sup>32</sup> Para estudos dos efeitos da harmonização internacional de regulações ambientais sobre países periféricos, ver ALMEIDA, 2001, cap. 2.

<sup>33</sup> O Projeto ABIMO, citado na introdução desta dissertação, objetivava apoiar a adequação de pequenas e médias empresas do setor de eletromédicos às regulações em questão. Sobre os desafios de adequação destas empresas ver Silveira (2011); Mazon et al. (2012).



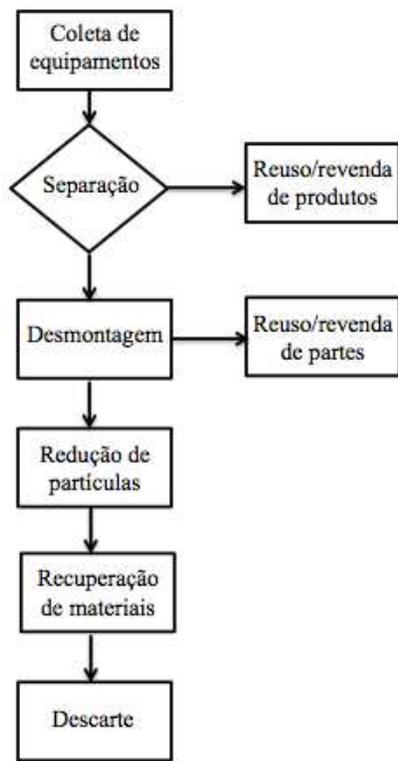
## 2. ESTÁGIOS TECNOLÓGICOS DO GERENCIAMENTO DE REEE

O presente capítulo compreende a revisão dos manuais desenvolvidos pelo *United Nations Environment Programme* (UNEP) em parceria com o Programa *Solving the E-waste Problem* (STEP), bem como da literatura de experiências internacionais, com o objetivo de descrever os processos tecnológicos presentes na cadeia de reciclagem de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE). Além desta revisão, o capítulo apresenta critérios de inovação para a avaliação das tecnologias de REEE e analisa o seu potencial de mercado para países em desenvolvimento. A descrição e análise tecnológica de REEE aqui elaborada corrobora com a discussão que será apresentada no capítulo quatro, sobre o entendimento do estágio tecnológico brasileiro e de sua inserção nessa cadeia.

Dado que aterros e processos de incineração ainda apresentam riscos de contaminação ao meio ambiente, a melhor abordagem para o tratamento de REEE seria reduzir a concentração de substâncias perigosas por meio de processos apropriados de desmantelamento, reciclagem e recuperação e, apenas posteriormente, as frações restantes seriam depositadas em aterros ou incinerações, ou mesmo em ambos. Portanto, intervenções tecnológicas são vitais para a gestão dos REEE, no sentido de maximizarem a recuperação de materiais e minimizarem os riscos envolvidos.

De forma simplificada, o processo de reciclagem começa com a coleta de equipamentos eletroeletrônicos, seguida da separação dos produtos em reutilizáveis e não reutilizáveis. Estes últimos, por sua vez, são desmontados em frações menores, que, por conseguinte, são separadas mais uma vez em reutilizáveis e não reutilizáveis. Aquelas não reutilizáveis passarão por processos de separação e recuperação de diferentes tipos de metais, enquanto que as demais frações finais de REEE serão descartadas. A Figura 2.1 ilustra este fluxo.

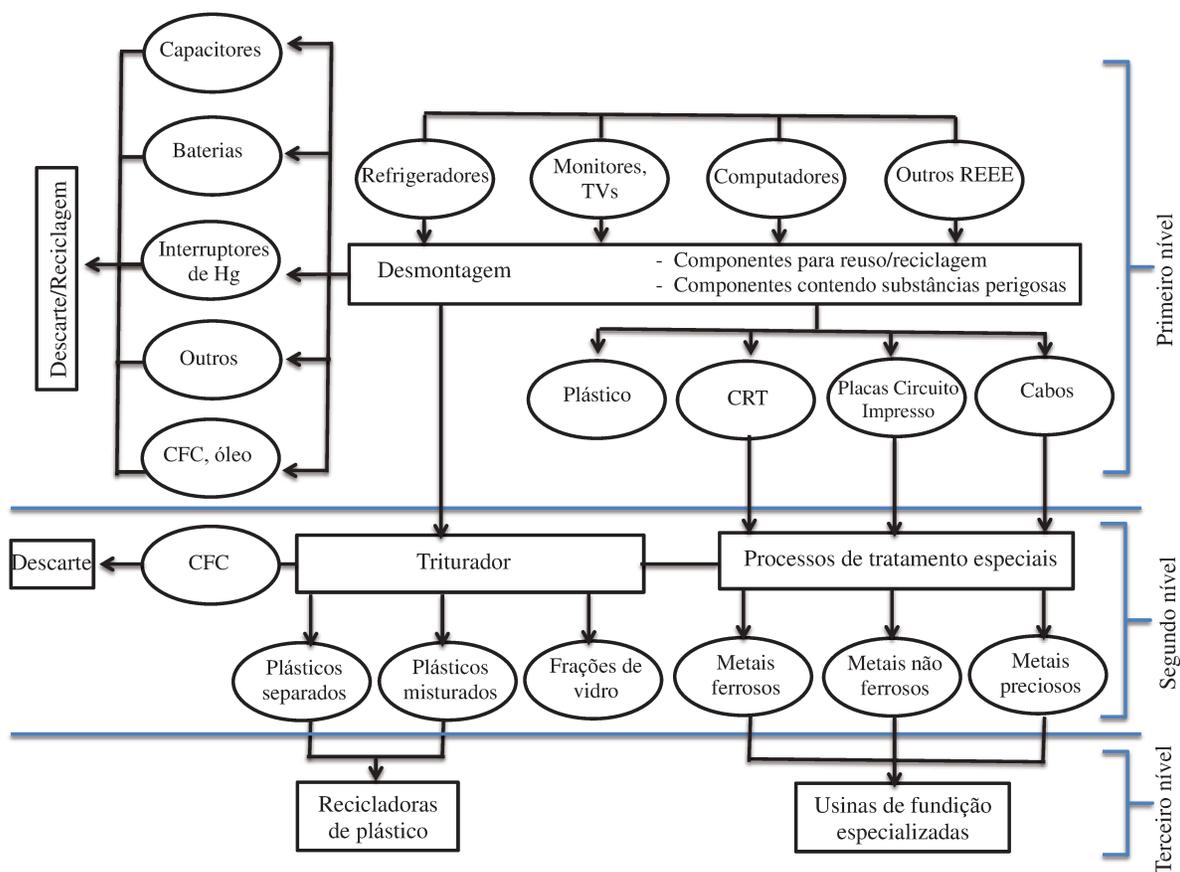
**Figura 2.1 - Diagrama simplificado das etapas de reciclagem de REEE**



Fonte: Adaptado de UNEP, 2007b, p. 47.

De acordo com UNEP (2007), o sistema de reciclagem de REEE pode ser subdividido em três níveis de processos, categorizados de acordo com o fluxo de material de cada etapa (ver Quadro 2.2). Cada nível tecnológico é composto por diferentes operações de tratamento e a “saída” (*output*) de um nível serve como “entrada” (*input*) para o nível posterior. A eficiência das operações do primeiro e do segundo nível determina a quantidade de resíduos que irá para aterros ou para incineração (UNEP, 2007b).

**Figura 2.2 - Níveis de tratamento de REEE**



Fonte: Adaptado de UNEP, 2007b, p. 48.

O **primeiro nível** do processo de tratamento de REEE tem como fluxo de entrada (*input*) equipamentos eletroeletrônicos como geladeiras, televisões e computadores, que passarão por três operações básicas: i. separação; ii. remoção de todos os líquidos e gases; iii. e desmontagem. Todas essas operações são processos secos, que não requerem o uso de água.

A operação inicial de separação inclui o armazenamento de equipamentos e sua pesagem, a eliminação de dados de computadores e celulares, além de uma categorização mínima por tipo, para que os REEE sejam “descontaminados” se necessário, para que sejam removidos todos os tipos de líquidos e gases (baterias, lâmpadas de mercúrio, vidro de CRT, placas de circuito impresso). Todos os outros resíduos perigosos são desmontados e suas partes são separadas e destinadas diretamente para o tratamento de terceiro nível.

Tanto a etapa de desmontagem quanto a de separação podem ser realizadas de forma mecânica ou manual. O método mais comum de pré-processamento automatizado é aquele por redução de partículas (por meio de trituração e moagem), seguida de sua separação (por densidade ou eletrólise). Já o processo manual é utilizado para desmontagens não destrutivas. Comparativamente, a desmontagem manual atinge taxas mais altas de componentes e materiais não danificados, facilitando a classificação e reutilização dos REEE (WANG et al., 2012). Conforme será apresentado no capítulo seguinte, de acordo com algumas abordagens, a desmontagem manual e a separação mecânica podem ser combinadas para se obter o melhor resultado em certas condições socioeconômicas.

O fluxo de “saída” deste primeiro nível tecnológico contém REEE segregados, como CFC, mercúrio (Hg), interruptores, CRT, baterias e capacitores; e REEE descontaminados, como plásticos, placas de circuito impresso e cabos.

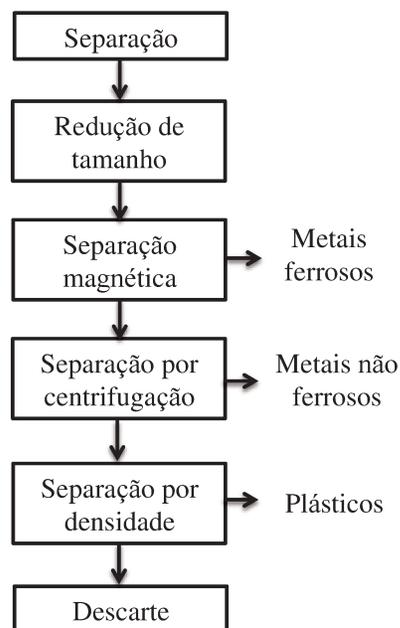
Logicamente, parte do fluxo de “saída” do primeiro nível de tratamento (REEE descontaminados e segregados como plásticos, placas de circuito impresso e cabos) seguirá como fluxo de “entrada” do **segundo nível de tratamento**.

As operações presentes neste segundo estágio são: i. moinho de martelo; ii. retalhamento; iii. e processos de tratamento especiais, como tratamento de CRT, separação eletromagnética, separação por centrifugação e separação por densidade (UNEP, 2007b). O moinho de martelo e o retalhamento reduzem o tamanho das frações de REEE para que, em seguida, o material triturado seja separado de acordo com sua densidade, tamanho e propriedades magnéticas. A eficiência das operações determina a taxa de recuperação de metal que será obtida no nível tecnológico seguinte. Quanto à eficácia dos processos, esta depende da relação entre rendimentos esperados e a “saída” do sistema de reciclagem, sendo que os rendimentos esperados estão diretamente relacionados a parâmetros de separação como o tamanho das partículas e sua taxa de alimentação. Tem sido relatado, por exemplo, que a separação por centrifugação (*eddy current separation*) conduz a mais de 90% da recuperação de metais não-ferrosos de REEE (UNEP, 2007b).

O fluxo de “saída” do segundo nível de tratamento são frações de metais ferrosos, frações de metais não ferrosos (predominantemente cobre e alumínio), frações de metais

preciosos (prata, ouro e paládio) e diferentes frações de plásticos (misturados ou não). Um diagrama simplificado do segundo nível do processo de tratamento de REEE é dado pela Figura 2.3.

**Figura 2.3 - Diagrama simplificado do segundo nível do processo de tratamento de REEE**



Fonte: Adaptado de UNEP, p. 53, 2007b.

O **terceiro nível** tecnológico de tratamento de REEE é composto por distintos fluxos que seguem de acordo com o tipo de material e contam com um conjunto específico de tecnologias de recuperação metalúrgica de materiais. O processo de tratamento é tanto mais eficaz quanto maior for a combinação dessas diferentes tecnologias.

De acordo com UNEP (2009), as tecnologias de tratamento podem ser agrupadas da seguinte forma:

*i. Pirometalúrgicas*, que utilizam temperaturas elevadas para converter quimicamente os materiais e metais separados, de modo que metais valiosos possam ser recuperados. As altas temperaturas no forno de fundição são atingidas por meio de combustão ou de aquecimento elétrico. Exemplos desse tipo são os conversores, os fornos

rotativos e os fornos elétricos. O processo pirometalúrgico é um método tradicional de transformação de REEE em metais há duas décadas (Oliveira et al., 2012);

*ii. Hidrometalúrgicas*, que usam fortes ácidos ou soluções aquosas de soda cáustica para dissolver e precipitar seletivamente os metais. Um desses exemplos é a lixiviação;<sup>34</sup>

*iii. Eletro-metalúrgicas*, que utilizam corrente elétrica para recuperar os metais. Exemplos desse tipo é a eletro-refinação de cobre e de zinco.

Existem outros métodos que utilizam bactérias ou fungos biometalúrgicos, mas que ainda estão em fase de investigação e não são aplicados em larga escala nesta etapa da cadeia de reciclagem de REEE (UNEP, 2009).

O Quadro 2.1 detalha o fluxo de “entrada” e “saída” dos diversos tratamentos desta etapa da reciclagem.

Quadro 2.1 - Entrada (*Input*) e Saída (*Output*) do terceiro nível de tratamento de REEE

<b>Entrada/ Input</b>	<b>Técnica de tratamento/Unidade de Operação</b>	<b>Saída/ Output</b>
Plásticos	Reciclagem	Plástico para matéria-prima
CRT	Quebra/ Reciclagem	Cacos de vidro
Chumbo	Fundição de chumbo	Chumbo
Sucata de metal ferroso	Fundição de ferro	Ferro
Sucata de metal não ferroso	Fundição de cobre e alumínio	Cobre e Alumínio
Metais preciosos	Refino de Ouro e Prata	Ouro, Prata, Paládio e Platina
Baterias	Recuperação e fundição de chumbo	Chumbo
CFC	Recuperação, Reuso e Incineração	CFC
Óleo	Recuperação, Reuso e Incineração	Óleo recuperado
Mercurio	Separação e destilação	Mercurio

Fonte: Elaborado a partir de UNEP, 2007b, p. 65.

De acordo com UNEP (2009), a operação integrada de fundição e refinaria de REEE pode recuperar dezessete tipos de metais (Au, Ag, Pd, Pt, Rh, Ir, Ru, Cu, Pb, Ni, Sn, Bi, In, Se, Te, Sb, As), o que corresponderia a cerca de 25% do volume global da produção de prata e ouro, e 65% de paládio e platina em *cadeias produtivas de ciclo fechado*; uma recuperação de mais de 95% de ouro durante o processo foi reportada.

O terceiro nível do tratamento de REEE requer operações em grande escala para ser economicamente viável. Assim, a ampliação de processos de tratamento e atividades de engenharia básica são obrigatórios. Por exemplo, uma fundição de alumínio típica na Europa requer uma entrada mínima de 50 mil toneladas de sucata de alumínio por ano para

<sup>34</sup> Processo de extração de uma substância presente em componentes sólidos através da sua dissolução em um líquido.

a construção de uma planta, e o seu investimento é de aproximadamente 25 milhões de euros (WANG et al., 2012). Sendo assim, o montante de capital e intensidade de conhecimento necessários para a viabilidade da reciclagem por fundição se torna uma barreira para o crescimento de sistemas de reciclagem de REEE em países em desenvolvimento.

Em termos de recuperação de materiais preciosos, existem poucas refinarias com *know-how* suficiente para tal. Entre essas unidades estão “Aurubis AG” na Alemanha, “Boliden” na Suécia, “DOWA” no Japão, “Umicore” na Bélgica e “Xstrata” no Canadá (WANG, 2012). Essas empresas são, em geral, do ramo de tecnologias de materiais e/ou de mineração.

Pelas razões apresentadas (volume considerável de REEE, acesso a *know-how* e alto investimento), a natureza e o tipo de reciclagem variam consideravelmente entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. Nos países desenvolvidos, as operações de reciclagem podem ser combinadas com operações de desmantelamento em instalações integradas ou, alternativamente, os sucateiros podem realizar a operação de desmontagem, segregar as frações e enviá-las para fundições de larga escala com tecnologias de recuperação de materiais como banho de ácido, entre outros.

Em países em desenvolvimento, o processo de reciclagem se limita, majoritariamente, ao desmantelamento manual como tratamento primário para separar os materiais heterogêneos, com ferramentas simples, como martelos, chaves de fenda e formões, entre outras. Após o desmantelamento, os componentes com valor de reutilização são enviados imediatamente para lojas de reparação para serem vendidos no mercado de segunda mão. Os restantes dos componentes valiosos, como as partes que contêm cobre, alumínio, placas de aço, plástico, toner de impressora, são classificadas como placas de circuito impresso e recebem tratamento posterior.

O Quadro 2.2 apresenta a presença dos processos mencionados em alguns países em desenvolvimento.

Quadro 2.2 - Processos formais e informais de tratamento de REEE em países em desenvolvimento

Países	Africa do Sul	Uganda	Marrocos	Senegal	Peru	Colômbia	México	Brasil	China	Índia
Setor Informal										
Coleta	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Desmantelamento manual	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Queima a "céu aberto" para recuperação de metais	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
De-solda das placas de circuito impresso	O	O	O	O	O	O	NA	NA	X	X
Lixiviação de ouro das placas de circuito impresso	O	O	O	O	O	O	NA	NA	X	X
Despejo a "céu aberto"	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Setor Formal										
Coleta <i>business to business</i>	X	O	X	O	X	X	X	X	X	X
Coleta <i>consumer to business</i>	X	O	O	O	O	O	NA	NA	X	X
Desmantelamento manual	X	O	X	O	X	X	X	X	X	X
Trituração de equipamentos de linha branca	X	NA	X	NA	NA	NA	X	X	X	X
Processos pirometalúrgicos em refinarias locais	X	O	O	O	O	O	NA	NA	X	X
Processos hidrometalúrgicos locais	O	O	O	O	O	X	NA	NA	X	X
Exportação de placas de circuito impresso	X	O	O	O	X	O	X	X	X	X

X = o processo faz parte da cadeia de reciclagem (ao menos, em alguns casos)

O = o processo é inexistente no país

NA = informação não disponível

Fonte: Elaboração própria a partir de UNEP (2009).

Constata-se que todos os países em desenvolvimento apontados pelo Quadro 2.2 contam com um setor informal de REEE, no qual prevalece práticas de desmantelamento manual e queima a “céu aberto” para a recuperação de metais e despejo inadequado. No que diz respeito ao setor formal, foco deste estudo, a maior parte destes países possuem coleta *business to business*, mas não *consumer to business*, o que indica baixa intervenção estatal e se traduz em baixa quantidade de REEE para ser processada.

Quanto às etapas de pré-processamento, praticamente todos os países apontados pelo quadro desempenham desmantelamento manual e trituração de equipamentos de linha branca. Os processos de desmantelamento geralmente não têm impactos negativos sobre o meio ambiente, com exceção da quebra do vidro de CRT. No entanto, a separação e triagem conduz frequentemente a perda de material sendo, portanto, ineficiente. Rochat et al. (2008) relatam que na Índia os processos de lixiviação de baixa tecnologia recuperam apenas 20%

do ouro das placas de circuito impresso, enquanto que as fundições integradas e refinarias de países desenvolvidos podem recuperar pelo menos 95% de seus metais preciosos.

Já em relação ao processamento final, como apresentado pelo Quadro 2.2, alguns países em desenvolvimento possuem recicladores formais para frações metálicas, como aço, cobre e alumínio. Isto varia de operações de refusão bastante simples de metal até grande fundições e refinarias. Sucatas metálicas de REEE (como fios de cobre) geralmente são tratadas nestas instalações, juntamente com fragmentos de metais mistos (UNEP, 2009). Especialmente na China e na Índia algumas plantas formais hidrometalúrgicas têm sido instaladas ao longo dos últimos anos. Tais operações, apesar de tratarem relativamente bem os resíduos ou revestimentos de metais preciosos, apresentam limites técnicos para o tratamento de materiais complexos, interligados (UNEP, 2009). Além do que:

*Unless the contrary can be proven by the plant operators, it must be assumed that the focus of formal leaching operations for PWBs lies on gold and copper ("cherry-picking"), with the remaining material after leaching going to landfills, informal recyclers or integrated smelters. (UNEP, 2009, p. 55).<sup>35</sup>*

Observa-se também que a exportação de placas de circuito impresso faz parte da cadeia de reciclagem de REEE de países como África do Sul, Peru, México, Brasil, China e Índia. Ou seja, a maior parte das instalações de tratamento de REEE em países em desenvolvimento são constituídas apenas pelo primeiro e segundo níveis de tratamento (etapas de pré-processamento manual e/ou automáticas), enquanto que o terceiro nível (fundição e refino de metais preciosos) está geograficamente localizado em países mais desenvolvidos.

---

<sup>35</sup> Livre tradução: "A menos que o contrário possa ser comprovado pelos operadores das instalações, deve-se presumir que o foco das operações formais de lixiviação para placas de circuito impresso reside em ouro e cobre (a "cereja do bolo") com o material restante após a lixiviação indo para aterros, recicladores informais ou fundições integradas". (UNEP, 2009, p. 55).

## 2.1. Critérios de inovação para tecnologias de reciclagem de REEE e sua viabilidade para países em desenvolvimento

Os processos apresentados no item anterior podem ser avaliados em termos de desempenho e em termos de fronteira tecnológica.

Um dos critérios mais difundidos de avaliação do nível de inovação das tecnologias de reciclagem de REEE é aquele criado pelo Programa STEP (UNEP, 2009), conforme abaixo:

i. Meio ambiente, saúde e segurança: leva em conta os níveis de emissão na água, no ar e no solo; a eficiência energética; o uso de materiais, água e matérias-primas; a segurança do processo; a proteção dos trabalhadores; o destino final dos produtos;

ii. Recuperação de recursos: a variedade de substâncias que são recuperadas; a porcentagem de materiais recuperados em relação ao seu valor econômico e ambiental; a tecnologia utilizada; as interfaces com outras etapas da cadeia; os requisitos da etapa de processamento;

iii. Viabilidade econômica: os custos de processo; a qualidade e o valor de mercado da produção; o custo da mão de obra; a disponibilidade de mão de obra qualificada; acesso a capital; a segurança do investimento; as economias de escala; os mercados disponíveis para o *output*; a disponibilidade e fontes de matéria-prima; infraestrutura do local;

iv. Conformidade social: impacto no emprego e riqueza pública; infraestrutura; envolvimento das estruturas informais; adequação ao quadro legislativo.

Estes critérios, apesar de válidos para todas as etapas da cadeia de reciclagem de REEE, presumem que apenas sejam comparadas tecnologias inseridas na mesma fase da cadeia (UNEP, 2009). Outro passo importante para a avaliação do grau de inovação das tecnologias de REEE é a priorização e classificação dos critérios apresentados; por exemplo, para uma tecnologia ser considerada inovadora deve-se priorizar na avaliação o nível de recuperação de recursos ou a sua viabilidade econômica?

A aplicação destes critérios para técnicas e tecnologias de **pré-processamento** em países em desenvolvimento seria conforme apresentado pelo Quadro 2.3, a seguir.

Quadro 2.3 - Critérios de inovação para técnicas e tecnologias de pré-processamento de REEE de países em desenvolvimento

	Fluxo de resíduos	Atributos econômicos	Atributos ambientais	Atributos sociais	Tecnologia inovadora
Desmantelamento e separação manual	Todos	Baixo custo de capital, separação de frações e componentes valiosos	Separação eficiente das frações	Intensivo em trabalho, geração de emprego	Sim
De-gaseificação	Refrigeração	Baixo custo de acordo com os requisitos obrigatórios	Passo fundamental para assegurar o controle de substâncias perigosas	Geração de emprego	Sim
Equipamento semi-automático para corte e limpeza de cinescópio	CRT	Baixo custo de capital	Baixo consumo de energia	Intensiva em trabalho	Sim
Trituração automática de cinescópio	CRT	Alto custo de capital	Alto consumo de energia	Baixa geração de trabalho	Não
Trituração e separação automática	Todos	Alto custo de capital	Alto consumo de energia	Baixa geração de trabalho	Não
Trituração automática e recuperação de CFC	Refrigeração	Alto custo de capital	Alto consumo de energia, recipiente vedado para titulação	Baixa geração de trabalho	Não

Fonte: Adaptado de UNEP (2009).

Estes critérios utilizados pelo Programa STEP se mostram relevantes no sentido de abordarem holisticamente o gerenciamento de REEE, em termos sociais, econômicos e ambientais. Ademais, os critérios correspondem às várias combinações de técnicas e tecnológicas possíveis para o processamento dos resíduos em questão, de acordo com as condições específicas de cada país, bem como a infraestrutura já instalada.

Entretanto, apesar de válidos, os critérios apresentados se mostram tendenciosos no que diz respeito ao peso dado a atributos sociais como geração de emprego e renda, ao considerar, por exemplo, que técnicas de pré-processamento manuais (separação e desmantelamento) são inovadoras por serem intensivas em trabalho e por obterem materiais mais homogêneos e de maior valor agregado. Como será apresentado pelo capítulo três, dependendo da justaposição desses critérios, fica implícito que países em desenvolvimento com mão de obra barata caminhem no sentido de se especializarem em etapas manuais de reciclagem. Conclusões como estas, no entanto, vão na contramão dos projetos de industrialização e do desenvolvimento de métodos mais eficientes e rentáveis de reciclagem de REEE nos países em questão.

Enquanto técnicas manuais de desmontagem e separação já são aplicadas em vários países em desenvolvimento, não há indicação de que outras tecnologias mais avançadas, tais como de de-gaseificação de CFCs e semiautomáticas de corte e limpeza de cinescópio sejam aplicadas. Em grande parte desses países a reciclagem de REEE está apenas em seu estágio embrionário, resultando em falta de concorrência para a adaptação de tecnologias realmente inovadoras e automáticas de pré-processamento (UNEP, 2009).

As tecnologias de **processamento final**, como já mencionado, são o estado da arte dessa cadeia. Deve-se notar que existem fundições primárias de cobre presentes em países em transição, como China, Índia e África do Sul, que poderiam passar por um processo de *upgrade* tecnológico para a recuperação de placas de circuito impresso. No entanto, para tal, seriam necessários geração de *know-how* e investimentos consideráveis em máquinas e equipamentos.

De acordo com UNEP (2009), métodos alternativos de recuperação de metais preciosos presentes em placas de circuito impresso foram discutidos em um número substancial de *papers* nos últimos anos. No entanto, estas alternativas devem ser avaliadas, levando em consideração sua conformidade ambiental, bem como seus balanços de massa para avaliar a eficiência e eficácia dos recursos. Os resultados obtidos em escala de laboratório não podem ser considerados como suficientemente aceitáveis, a menos que possam ser confirmados pela experiência prática na grande escala.

Os processos puros de hidrometalurgia não são tão simples como muitas vezes apresentados, especialmente nas condições de países em desenvolvimento, dado que exigem medidas tecnológicas e de precaução significativas para evitar emissões perigosas, bem como o uso adicional de processos pirometalúrgicos (UNEP, 2009), embora os processos de hidrometalurgia já sejam muito conhecidos e usados em países como o Brasil para o tratamento de zinco e cobre, por exemplo.

*Consequently, the hydrometallurgical alternative processes cannot be considered innovative until a good independent evaluation of complete process flows up to final metal recovery can be carried out and compared to current state-of-the-art operations.* (UNEP, 2009, p. 33).<sup>36</sup>

---

<sup>36</sup> Livre tradução: “Consequentemente, os processos alternativos hidrometalúrgicos não podem ser considerados inovadores, até que uma boa avaliação independente do processo completo de recuperação final de metal possa ser realizada e comparada com as operações de estado da arte atuais”. (UNEP, 2009, p. 33).

Sendo assim, apesar de alguns países em desenvolvimento deterem tecnologias de hidrometalurgia, estas não podem ser consideradas suficientemente inovadoras dado que, apesar de serem limpas de emissões, são ineficientes em termos de recuperação de metais. Como pode ser observado no Quadro 2.4, o custo-benefício da hidrometalurgia é inferior quando comparado à implantação de uma fundição integrada.

Quadro 2.4 - Critérios de inovação para tecnologias de processamento final de REEE para países em desenvolvimento

	Fluxo de resíduos	Atributos econômicos	Atributos ambientais	Atributos sociais	Tecnologia inovadora
Fundição integrada para metais não-ferrosos (métodos pirometalúrgicos)	Metais não-ferrosos (incluindo placas de circuito impresso) como Cu, Pb, Zn, Sn	Alto custo de capital; baixo custos líquidos; economia de escala	Ausência de emissões tóxicas; é crucial a presença de um bom sistema de tratamento de gás; baixo uso de água; baixo índice de resíduos descartados no final do processo (taxa de recuperação > 90%)	Baixa geração de emprego; necessidade de mão de obra qualificada	Sim
Processos hidrometalúrgicos	Frações metálicas simples; dissolução de revestimentos de metais preciosos a partir da superfície metálica	Médio-alto custo de capital	Alto uso de água; é crucial o descarte adequado de frações de resíduos e reagentes	Necessidade de mão de obra qualificada	Sim, mas não é uma opção para a recuperação de placas de circuito impresso, telefones celulares e outras frações complexas de REEE
Refusão/Refinaria de alumínio	Alumínio	Médio-alto custo de capital; baixos custos líquidos; economia de escala	Ausência de emissões tóxicas; a escória do sal deve ser tratada ou eliminada; baixo-médio uso de água	Geração de emprego; baixa-média necessidade de mão de obra qualificada	Sim

Fonte: Adaptado de UNEP (2009).

Devido ao grande volume e alto investimento necessários para se estabelecer uma unidade de estado da arte, as tecnologias de processamento final só tem um potencial de mercado quando volumes elevados de REEE podem ser acessados a partir de toda uma região e/ ou através de rotas comerciais favoráveis.

De acordo com UNEP (2007b), a identificação da viabilidade do terceiro nível de tratamento está relacionada com: i. A existência e capacidade de operação de recicladoras de materiais como plástico e vidro em um determinado país ou região; ii. Identificação da tecnologia utilizada por empresas de reciclagem existentes no processo de reciclagem; iii. Seleção dos recicladores, que podem usar o *output* de REEE do segundo nível como material (*input*) em suas instalações; iv. Normalmente, os *outputs* do segundo nível de tratamento podem ser vendidos como matéria-prima na região geográfica.

O Quadro 2.5 resume os resultados de um estudo realizado pelo Programa STEP acerca do potencial de mercado de tecnologias de processamento final de REEE em alguns países em desenvolvimento.

Quadro 2.5 - Potencial de mercado de tecnologias de processamento-final de REEE em países em desenvolvimento

	África do Sul	Uganda	Marrocos	Senegal	Peru	Colômbia	México	Brasil	Índia	China
Fundição integrada de metais não-ferrosos (processos pirometalúrgicos)	M	B	B	B	B	B	M	M	M	A
Refinaria de alumínio	A	B	M	B	B	M	A	A	A	A

Legenda: A = alto  
M = médio  
B = baixo

Fonte: Adaptado de UNEP (2009).

No caso das tecnologias de reciclagem, além das regulações exercerem papel crucial para a sua disseminação, a transferência tecnológica não trata apenas da mimetização das tecnologias dos países desenvolvidos para aqueles em desenvolvimento. Para tal, deve-se levar em consideração o investimento disponível, as normas locais de tratamento e a qualidade da mão de obra e *know-how* disponíveis (especialmente engenheiros metalúrgicos e químicos). Assim:

*Technology transfer should then focus not only on how to achieve the most suitable technological solution for local e-waste processing, but rather on enabling the development of the best boundary conditions for development and sustainability of an e-waste industry.* (UNEP, 2009, p. 68).<sup>37</sup>

A transferência e a instalação das tecnologias apresentadas são justificadas, em parte, pelo potencial de mercado garantido pelo significativo volume de REEE em diversos países; por outro lado, ter potencial de mercado não significa necessariamente que uma operação possa ser executada de forma autossuficiente. O mercado, por si só, não pode resolver problemas múltiplos e interligados em termos sociais, ambientais e econômicos (UNEP, 2009). O exemplo da China mostrou que, sob a circunstância de não haver um

<sup>37</sup> Livre tradução: “A transferência de tecnologia deve, então, incidir não só sobre a forma de alcançar a solução tecnológica mais adequada para o processamento do lixo eletrônico local, mas também permitir o desenvolvimento de melhores condições para o desenvolvimento e sustentabilidade de uma indústria de lixo eletrônico”. (UNEP, 2009, p.68).

sistema de coleta formal de REEE amparado por uma forte regulamentação nacional, um projeto de transferência de tecnologia com subsídio abundante pode não obter sucesso:

*The case of China has already shown how the financing of state-of-the-art e-waste recycling plants fails when not supported by a proper collection network and suffers the completion of informal sector, notwithstanding the economic effort of the government: western high tech equipment could not come as universal cure to financial and social problems hidden behind the e-waste issue. (UNEP, 2009, p. 51).<sup>38</sup>*

Em outras palavras, o potencial de mercado é estimado em função dos possíveis volumes de REEE para a reciclagem e a dimensão típica de uma unidade de reciclagem, bem como sua adaptação a uma tecnologia específica (UNEP, 2009). Entretanto isso requer a implementação de um sistema de coleta formal, amparado por uma forte regulação. Até mesmo porque, as estimativas de geração do volume de REEE em 2020 sugerem que praticamente todos os países terão um potencial elevado para a adaptação de tecnologias de pré-processamento (UNEP, 2009).

Deve-se, igualmente, levar em conta que a difusão de tecnologias sustentáveis em economias emergentes depende da interação entre os vários atores nas áreas de ciência e tecnologia, do mercado, da legislação e da sociedade. Cada um desses grupos pode desempenhar diferentes funções no processo de desenvolvimento tecnológico, ao mesmo tempo em que a interação entre essas partes formam uma rede de inovação. Algumas organizações já existem no sentido de construir competência na área de REEE e atuarem como base nacional junto a projetos internacionais de cooperação.<sup>39</sup> O Quadro 2.5 explicita a rede de Ciência & Tecnologia formada pelo Programa STEP, instituição renomada no tema.

---

<sup>38</sup> Livre tradução: “O caso da China já mostrou como o financiamento do estado-da-arte de usinas de reciclagem de lixo eletrônico falha quando não é suportado por uma rede de coleta adequada e sofre com a consumação do setor informal, além do esforço econômico do governo: a alta tecnologia ocidental não poderia vir como cura universal para os problemas financeiros e sociais escondidos por trás da questão do lixo eletrônico”. (UNEP, 2009, p. 51)

<sup>39</sup> Entre as iniciativas internacionais mais conhecidas destacam-se os Centros Regionais da Convenção de Basileia, o *Global e-Sustainability Initiative* (GeSI) e o Programa *Solving the E-waste Problem* (STEP). Para maiores detalhes dessas iniciativas, ver STEP, 2009, p. 83.

Quadro 2.5 - Membros do Programa *Solving the E-waste Problem*/ STEP (2012)

<b>Organizações Internacionais</b>	<b>Indústrias</b>	<b>Cooperação Governamental</b>	<b>Academia e Centros de Pesquisa</b>
<b>1.</b> Basel Convention Coordinating Centre for Training and Technology Transfer for the African Region	<b>1.</b> AER Worldwide	<b>1.</b> German Technical Cooperation (GTZ)	<b>1.</b> Austrian Society for Systems Engineering and Automation (SAT)
<b>2.</b> Basel Convention Coordinating Centre for Asia & the Pacific	<b>2.</b> Cisco Systems Ltd.	<b>2.</b> Swiss State Secretariat of Economics (SECO)	<b>2.</b> BIO Intelligence Service
<b>3.</b> Center for Environment and Development for the Arab Region and Europe (CEDARE)	<b>3.</b> Compliance & Risks	<b>3.</b> United States Environmental Protection Agency (US - EPA)	<b>3.</b> Chinese Academy of Sciences (CAS)
<b>4.</b> Secretariat of the Basel Convention (SBC)	<b>4.</b> Dataserv Ltd.	<b>4.</b> Enda Europe	<b>4.</b> Delft University of Technology
<b>5.</b> United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD)	<b>5.</b> Datec Technologies		<b>5.</b> GAIKER Foundation
<b>6.</b> United Nations Environment Programme (UNEP)	<b>6.</b> Dell		<b>6.</b> Griffith University
<b>7.</b> United Nations Industrial Development Organization (UNIDO)	<b>7.</b> Ericsson		<b>7.</b> Institute for Applied Ecology
<b>8.</b> United Nations University (UNU)	<b>8.</b> Flection		<b>8.</b> Federal Laboratory for Materials Testing and Research (EMPA)
	<b>9.</b> GOAB mbH		<b>9.</b> Fraunhofer Institute for Reliability and Microintegration (IZM)
	<b>10.</b> Hewlett Packard (HP)		<b>10.</b> Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources (KIGAM)
	<b>11.</b> MicroPro		<b>11.</b> Massachusetts Institute of Technology (MIT)
	<b>12.</b> National Center for Electronics Recycling		<b>12.</b> Rifer Environmental
	<b>13.</b> Nokia		<b>13.</b> Sustainable Electronic Initiative at the University of Illinois
	<b>14.</b> Philips Consumer Lifestyle		<b>14.</b> Technical University of Braunschweig
	<b>15.</b> PT PLUS KG		<b>15.</b> Techsoup
	<b>16.</b> Renewable Recyclers		<b>16.</b> TELECOM & Management Sud Paris
	<b>17.</b> Sims Recycling Solutions		<b>17.</b> Thai Electrical and Electronic Institute
	<b>18.</b> Taizhou Chiho Tiande		<b>18.</b> University of Limerick
	<b>19.</b> Umicore Precious Metal Refining		<b>19.</b> WEEE Forum
			<b>20.</b> 3P Consortium for Sustainable Management

Fonte: Elaboração própria a partir do site [www.step-initiative.org](http://www.step-initiative.org)

Se considerado o possível crescimento dos volumes de REEE nos próximos dez anos, de acordo com UNEP (2009), um mercado potencial a médio prazo para fundições integradas pode ser pensado para a China e/ou Índia, na África do Sul e em um país da América do Sul (provavelmente Brasil ou Chile). Em suma, a análise de UNEP (2009) mostra existir potencial para algumas tecnologias inovadoras de reciclagem de REEE em países em desenvolvimento. Isto inclui tecnologias de pré-processamento (de desmontagem e classificação de frações, de de-gasificação CFC e semiautomática de corte e limpeza de

CRT), bem como as tecnologias de processamento final (de fundição integrada de materiais não-ferrosos e de alumínio).

De acordo com UNEP (2009), o mais viável seria a utilização das instalações existentes sempre que possível. As facilidades locais e regionais disponíveis poderiam ser utilizadas no caso de aço, alumínio e outros metais não ferrosos; no caso do tratamento de placas de circuito impresso, atualmente são utilizadas as instalações disponíveis globalmente. Entretanto, esta divisão do trabalho, que transforma a cadeia local e regional de REEE em global, possui pontos fortes e fracos, dependendo do país. Essa discussão será apresentada no capítulo a seguir.



### 3. CADEIA GLOBAL DE RECICLAGEM DE REEE

Os capítulos anteriores mostram que os REEE devem ser compreendidos como *tradable commodities*, inseridos em uma cadeia de reciclagem composta por processadores de diferentes regiões geográficas. Seguindo essa lógica, o presente capítulo analisa a reciclagem de REEE por uma perspectiva de **cadeia global**, não só por essa contar com etapas de reciclagem em diferentes regiões geográficas, mas fundamentalmente por permitir às empresas a utilização mais vantajosa e eficiente de recursos.

A intensificação da competição e a necessidade de entrada em novos mercados globais exigem das empresas reestruturações que melhor aproveitem suas capacitações e favoreçam a busca de aperfeiçoamento tecnológico e organizacional (*upgrading*). No caso dos REEE, essa estruturação global também se justifica pela grande quantidade de equipamentos demandada pelas indústrias de tratamento e refino de metais. Nesse sentido, a presença de recicladoras multinacionais de REEE em outros países cria novas oportunidades para explorar a mão de obra e recursos locais, ao mesmo tempo que garante volume considerável de resíduos a serem processados.

Para que a cadeia global de reciclagem de REEE seja melhor analisada, vale, primeiramente, descrever seus fluxos e comércio internacional. De acordo com UNEP (2007 a, 2007 b), os mecanismos de comércio de REEE podem ser explicados em termos de três elementos: i. Fluxo de material; ii. Vida útil; e iii. Fronteira geográfica. O estabelecimento do fluxo de materiais dentro de um limite geográfico auxilia na identificação das redes e cadeias estabelecidas nas diferentes fases do ciclo de vida dos equipamentos eletroeletrônicos. Uma vez estabelecida a cadeia, o fluxo de material (“*input*”/ “*output*”) de cada fase constitui a base da quantificação de REEE na análise do ciclo de vida dos equipamentos eletroeletrônicos.<sup>40</sup>

Ademais, a dinâmica dos preços dos materiais secundários têm influência direta sobre o comércio de REEE. Em meio a essa lógica, a crescente demanda de equipamentos e materiais de segunda-mão em países em desenvolvimento, com baixos custos trabalhistas e padrões ambientais nem sempre rigorosos, criam fortes incentivos econômicos para este comércio global. Como mencionado, a Convenção de Basileia permite que REEE sejam

---

<sup>40</sup> Esse modelo é conhecido como *The material flow model* (UNEP, 2007 b).

exportados de países desenvolvidos para aqueles em desenvolvimento desde que categorizados como reutilizáveis. Entretanto, devido a algumas brechas na Convenção de Basileia, essas práticas permitem a camuflagem do tráfico de REEE, fazendo com que os países em desenvolvimento continuem operando como grandes depósitos a “céu aberto”.

De acordo com Wang et al. (2012), além da geração doméstica de REEE, entre 50 à 80% dos REEE de países desenvolvidos são exportados para regiões como China e África. De acordo com dados da Interpol, no ano de 2007 os EUA exportaram para o Brasil cerca de 1.800 toneladas de resíduos de CRT (MILER et al., 2012). No que se confere ao comércio legal de REEE, isso ocorre por conta da demanda de produtos eletroeletrônicos de segunda-mão de países menos desenvolvidos, bem como da oportunidade de ganhos com a separação e desmantelamento.

Além dessa constatação mais imediata, de acordo com Lepawsk & McNabb (2010), o fluxo internacional de REEE é mais complexo do que a típica história de países desenvolvidos exportando para países mais pobres:

*In 2001, for example, most of Africa's total trade in e- waste comprised exports to Korea and Spain. The bulk of Caribbean e-waste trade was exported to the Americas with Venezuela as the main recipient; most of the Middle East's exports flow to Korea and Indonesia, while the majority of Oceania's trade comprises exports to Korea, Indonesia and the Philippines. (LEPAWSK & MCNABB, 2010, p. 184).<sup>41</sup>*

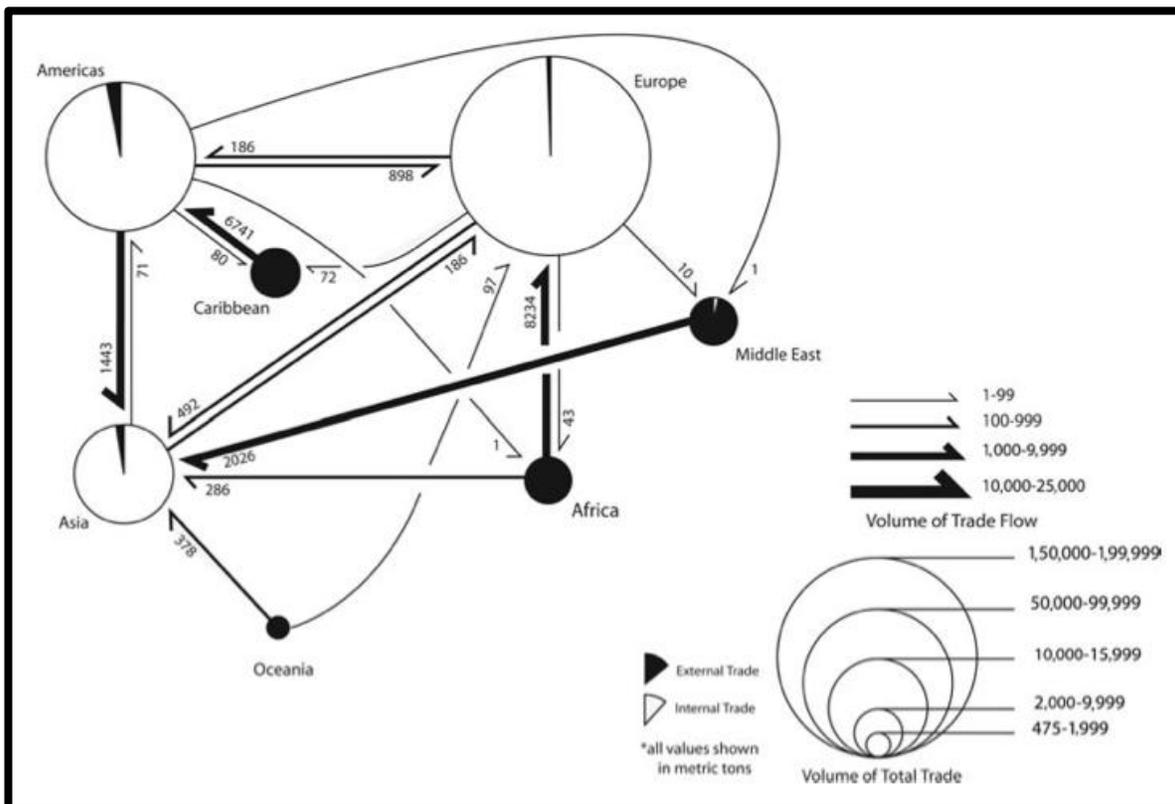
Uma pesquisa realizada por Miller et al. (2012 apud LEPAWSKY & MCNABB, 2010) mapeou o fluxo global de REEE por meio da extração de dados da *UN Comtrade*, na categoria de comércio de resíduos de baterias e pilhas, e acumuladores elétricos, categoria entre as disponíveis que melhor representaria os REEE.<sup>42</sup> As Figuras 3.1 e 3.2 demonstram esses resultados para os anos de 2001 e 2006.

---

<sup>41</sup> Livre tradução: “Em 2001, por exemplo, a maior parte do comércio de REEE da África foi composta por exportações para a Coreia e Espanha. A maior parte do comércio de REEE do Caribe foi exportações para as Américas com a Venezuela como o destinatário principal, a maioria das exportações do Oriente Médio fluiu para a Coreia e Indonésia, enquanto a maior parte do comércio da Oceania compreendeu exportações para a Coreia do Sul, Indonésia e Filipinas”. (LEPAWSK & MCNABB, 2010, p. 184).

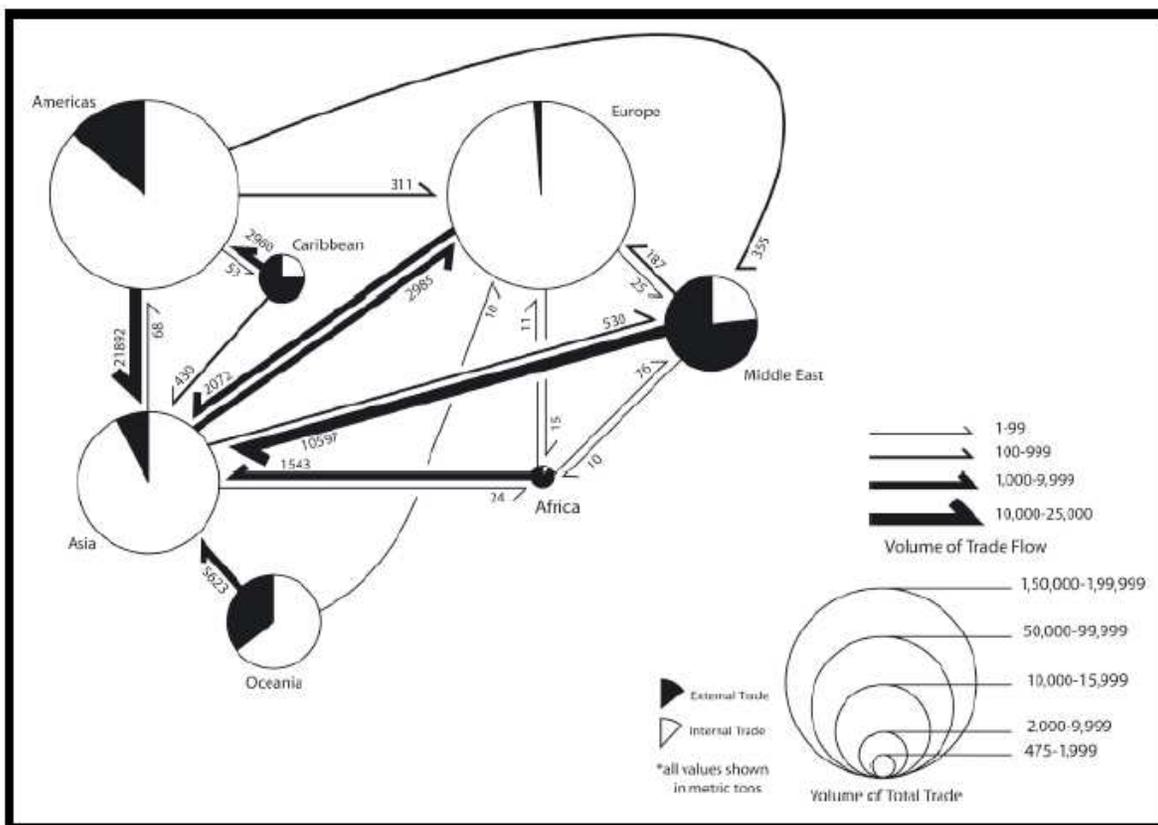
<sup>42</sup> “*Still, there are concerns that these batteries may not be representative of used electronics since they are inclusive of waste from other industries such as automotives.*” (MILLER et al., 2012, p. 34). Livre tradução: “Ainda assim, há controvérsias de que essas baterias podem não ser representativas em termos de equipamentos eletrônicos usados, uma vez que são provenientes, inclusive, de resíduos de outras indústrias, tais como as automotivas”. (MILLER et al., 2012, p. 34).

**Figura 3.1 - Comércio global de resíduos de baterias, pilhas e acumuladores elétricos para o ano de 2001**



Fonte: LEPAWSKY & MCNABB, 2010, p. 184.

**Figura 3.2 - Comércio global de resíduos de baterias, pilhas e acumuladores elétricos para o ano de 2006**



Fonte: LEPAWSKY & MCNABB, 2010, p. 185.

Observa-se que o comércio global de REEE, assim como o de outras *commodities*, conta com Europa, América e Ásia como os três maiores *traders*; nessas três regiões a maior parte do comércio desses resíduos corresponde a fluxos internos. Em contrapartida, África, Caribe e Oriente Médio são mais orientados para o mercado externo, apesar de que em 2006, o comércio de REEE no Caribe, Oriente Médio e Oceania não apenas aumentou em volume como também apresentou algumas mudanças no sentido de desenvolver seu mercado interno. Essas mudanças refletem o aumento do uso de tecnologias digitais nessas regiões, ocasionado pelo aumento da renda e o barateamento de produtos de segunda-mão (LEPAWSKY & MCNABB, 2010).

Além do maior volume dos fluxos globais de REEE de 2001 para 2006, outra importante mudança foi a sua orientação. A Ásia, em 2001, recebia REEE de cinco regiões;

a Europa, de quatro; as Américas, de três; enquanto que Oriente Médio, África e Caribe recebiam apenas da Europa e da América. Em 2006, a Ásia passou a receber REEE de seis regiões, tornando-se o maior importador desses resíduos, mesmo frente ao concomitante aumento da importação de REEE da Europa, do Oriente Médio e da África.

Conforme apresentado, apesar de ter ocorrido um aumento dos fluxos comerciais de REEE em nível global, os países participantes dessa cadeia assumem diferentes papéis e pesos. Frente a essas assimetrias, existem teóricos que debatem qual seria a melhor alternativa de inserção de países menos desenvolvidos na cadeia global de reciclagem de REEE.

### **3.1. A abordagem “*The Best-of-2-Worlds*” (Bo2W): apresentação e crítica**

As diferentes participações e posições ocupadas na cadeia global de REEE incitam debates acerca das possibilidades de otimização dos ganhos econômicos e ambientais frente às condições socioeconômicas de cada país. Entre as mais difundidas concepções desse debate está a abordagem intitulada “*The Best-of-2-Worlds*” (Bo2W).

O seu fundamento é a integração técnica e logística de tecnologias adequadas para diferentes fases do tratamento de REEE, de modo a viabilizar a sua reciclagem completa, ou seja, o tratamento de todos os materiais envolvidos. Nesse sentido, a distribuição global da cadeia ofereceria vantagens competitivas em termos de impacto ambiental e eficiência de recuperação, fornecendo uma melhor alternativa para as atividades regionais existentes em países em desenvolvimento.

Como apresentado pelo capítulo dois, vários cenários de tratamento podem ser configurados interligando diferentes técnicas de pré-processamento e processamento final, atingindo diferentes resultados: “[...] *different mechanical configurations can lead to liberation results varying from just 11% up to 74% loss of Gold.*”<sup>43</sup> (WANG et al., 2012, p.3). Diante dessa diversidade, de acordo com a Bo2W, para se alcançar o cenário mais desejável (maior recuperação de ouro e outros metais preciosos), a recomendação é combinar desmantelamento 100% manual com instalações de refinaria no estado-da-arte para o processamento final.

---

<sup>43</sup> Livre tradução: “[...] diferentes configurações mecânicas podem levar a resultados de liberação que variam entre 11% à 74% de perda de ouro”. (WANG et al., 2012, p.3).

Ainda de acordo com a Bo2W, sendo o processo de desmantelamento manual custoso para países desenvolvidos, intensivos em capital, e o processo de tratamento final custoso para países em desenvolvimento, intensivos em mão-de-obra, a base desta recomendação é a de que:

If geographically separating pre-processing (manual dismantling in developing countries) and end-processing (integrated smelting of gold in developed countries), a more optimal technical, environmental and economic outcome could be achieved. (WANG et al., 2012, p. 4).<sup>44</sup>

Assim, com base na integração de diferentes processos de tratamento geograficamente distribuídos, a filosofia Bo2W procura alcançar uma saída para países em desenvolvimento: realizar as etapas de pré-processamento domesticamente e exportar frações críticas do REEE para instalações de processamento no estado-da-arte final.

De acordo com os adeptos da Bo2W, essa solução propagaria maior geração de trabalho nesses países ao adotar a recomendação de desmantelamento manual e, portanto, intensiva em mão-de-obra. Além do que, o “compartilhamento” das estruturas e processamentos finais existentes no mercado global seria atraente em termos de economia de escala e, ao mesmo tempo, evitaria o alto investimento em países em desenvolvimento.

Seriam dois os principais determinantes da viabilidade da implementação do Bo2W: o nível de custo do trabalho para o desmantelamento manual e algumas condições técnico-econômicas (tamanho de mercado, *know-how* técnico e investimento).

Por exemplo, com base no forte crescimento econômico da China, o país enfrentará uma transformação gradual do trabalho intensivo em mão de obra para processos mais mecanizados e automatizados. De acordo com estudo realizado por Wang et al. (2012) sobre o caso chinês, a desmontagem manual é mais eficiente do que a automatizada até que os custos do trabalho atinjam 1,26 €/ h em 2015. Como os custos de trabalho continuam a crescer, o desmantelamento automatizado parcial de componentes de maior valor torna-se mais rentável e é introduzido para substituir seletivamente o trabalho manual para componentes complexos (por exemplo, transformadores, fonte de alimentação e discos etc.). Depois de atingir 2,95 €/ h em 2026, a total separação mecânica deve se tornar o

---

<sup>44</sup> Livre tradução: “Se geograficamente separados o pré-processamento (desmantelamento manual em países em desenvolvimento) do processamento final (fundição integrada de ouro em países desenvolvidos), um resultado ideal, técnico, ambiental e econômico, poderia ser alcançado”. (WANG et al., 2012, p. 4).

método de pré-processamento mais rentável, substituindo completamente o trabalho manual.

A experiência de implementação do modelo Bo2W na China demonstra, segundo Wang et al. (2012), que a construção de uma infraestrutura de reciclagem em larga escala pode ser bem sucedida quando existem pré-condições como sistema de coleta eficiente, respaldo regulatório e acesso a financiamento. Além desses determinantes, para que o Bo2W possa ser implementado com êxito, uma série de outros requisitos se fazem necessários, de acordo com Wang et al. (2012): o estabelecimento de regulações e padrões de reciclagem; o estabelecimento de confiança entre os *stakeholders*; e o respeito às normas internacionais de fluxos de REEE entre os países.

O nível de transparência e confiança entre os *stakeholders* se faz determinante, especialmente entre processadores finais e unidades de desmantelamento, dados que os primeiros são dominantes na hierarquia desta cadeia. Para processos de desmantelamento em países em desenvolvimento, a venda de frações valiosas para o mercado informal pode ser bastante atraente em termos econômicos, e isso pode facilmente prejudicar a implementação de uma rede de tratamento Bo2W. Enquanto isso, a cooperação de longa distância tornou difícil estabelecer a confiança entre os pré-processadores e finais processadores através de uma comunicação diária ou visitas de campo para acompanhar as frações e os destinos relevantes. A forma mais imediata de fortalecer essa cooperação é estabelecer contratos formais entre desmanteladores e processadores finais, com estipulação explícita de entrega de material e qualidade do tratamento, excluindo os beneficiários informais para a mesma fração. A maior rastreabilidade e monitoramento de materiais críticos transferidos entre países, é também essencial para a construção dessa confiança.

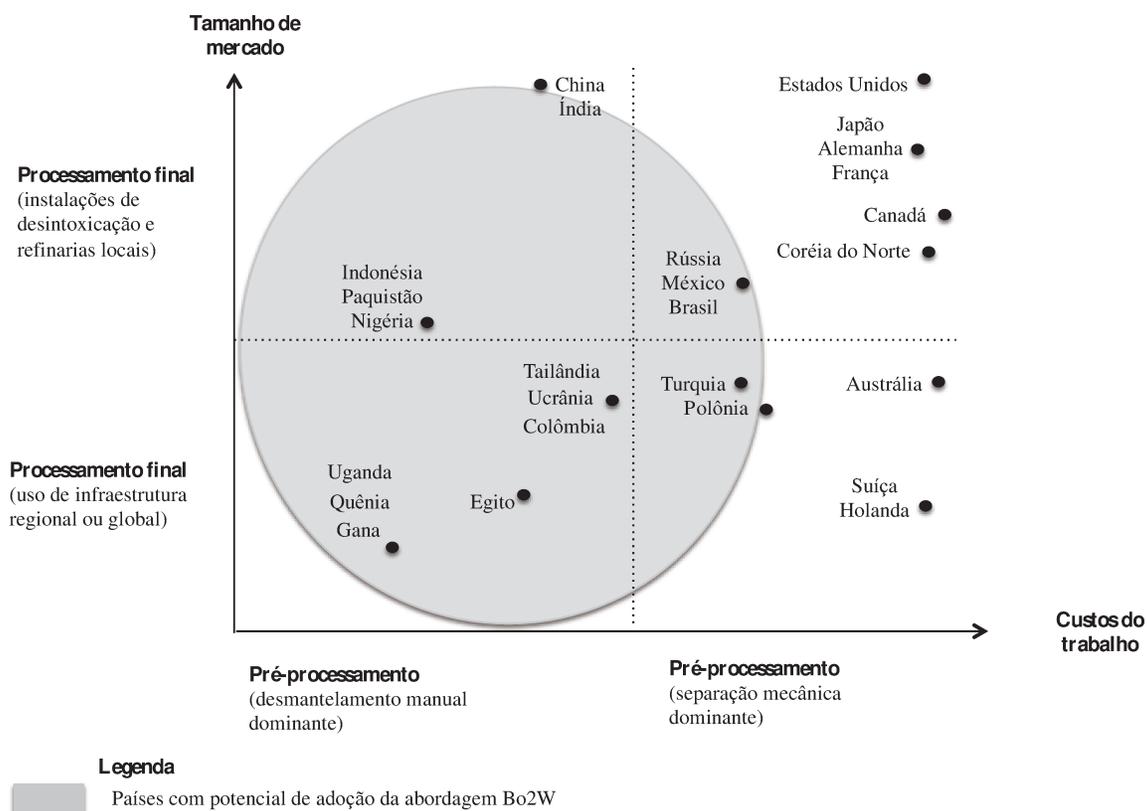
Segundo os estudiosos da Bo2W, a necessidade desses requisitos pôde ser observada em um projeto-piloto na Índia, coordenado pelo *Swiss e-Waste Program*. Apesar do projeto ter permitido que os parceiros locais agissem como atores-chave na intermediação entre os setores formais e informais, ele se defrontou com uma grande barreira de financiamento, com o atraso de cinco meses entre a remessa de frações de desmontagem da Índia e do pagamento do refinador na União Europeia após o tratamento

(Wang et al., 2012). Isto coloca sérios problemas de fluxo de caixa no setor informal, que geralmente funciona em uma base diária.

O projeto-piloto na Índia, ao contrário da tentativa chinesa, é polêmico em termos ambientais, por recuperar apenas objetos de alto valor agregado, e não partes contendo substâncias perigosas (como cinescópios). Esse tipo de implementação parcial da filosofia Bo2W, que negligencia as frações de risco, pode ser considerada como *cherry picking* (WANG et al., 2012). Sendo assim, a implementação Bo2W pode ser aperfeiçoada no caso indiano se o controle de substâncias tóxicas for instalado junto ao financiamento adequado para cobrir todas as frações de material.

Sendo assim, de acordo com Wang et al. (2012), diferentes países poderiam aplicar a filosofia Bo2W por meio de distintos modelos de execução. Os países com baixos custos trabalhistas e com mercado de tamanho limitado são os mais propícios para aplicar a filosofia (como Uganda e Egito). Para países com custos de trabalho de nível médio, mas com grande volume de REEE (como China e Índia), sugere-se, a princípio, o desmantelamento manual e, aos poucos, a mecanização das etapas de pré-processamento; ou seja, no curto prazo, o tratamento de frações críticas dos REEE deve ser feita junto ao mercado global. Países de renda relativamente mais alta, mas com limitada geração de REEE (como México e Brasil), podem combinar desmontagem com processamento mecânico e tratar as frações críticas de REEE internacionalmente. Essas diferentes possibilidades da Bo2W são apresentadas pela Figura 3.3.

**Figura 3.3 - Potencial para a adoção da filosofia Bo2W para o tratamento de REEE**



Fonte: Adaptado de WANG et al. (2012).

De acordo com o que foi apresentado, apesar do leque de possibilidades de aplicação da abordagem Bo2W ser amplo, a viabilidade e benefícios desse modelo de gestão de REEE ainda precisam ser provados. As dificuldades para o seu perfeito desempenho está tanto na multiplicidade de pré-condições apresentadas para o seu sucesso quanto em seus pressupostos econômicos.

Em relação a este segundo ponto (pressupostos econômicos), deve-se ter clareza de que o modelo Bo2W converge com as teorias econômicas neoclássicas de comércio internacional, baseadas no princípio das “vantagens comparativas”. Como não é o foco dessa dissertação desenvolver os conceitos e diferentes abordagens dessa teoria, esta será aqui apresentada em termos mais amplos, apenas com a finalidade de levantar seus pontos críticos gerais e de problematizá-los em relação ao comércio internacional de REEE.

Esse modelo neoclássico de comércio internacional sustenta que as diferenças nas dotações de fatores de produção entre países seriam determinantes para se obter vantagens

comparativas, dado que a abundância, ou não, desses fatores interfeririam nos custos relativos e, portanto, nos padrões de comércio. Ou seja, o teorema neoclássico de comércio internacional assume que os países tenderiam a exportar mercadorias intensivas em seus fatores de produção mais abundantes; conseqüentemente, o fruto do progresso técnico seria dividido igualmente por todos os países, tanto pela baixa de preços, quanto pelo aumento equivalente das remunerações.

Esses pressupostos se refletem na abordagem Bo2W na recomendação de que países desenvolvidos, intensivos em capital, devem se especializar em indústrias de refino e tratamento de metais, enquanto que países menos desenvolvidos, intensivos em mão de obra, devem se especializar em processos de separação e desmantelamento manuais ou, no máximo, semiautomáticos. Desdobra-se disso que os dois determinantes para a implementação do modelo de gestão Bo2W são tanto o nível de custo do trabalho, quanto o *know-how* técnico e capital disponível, ou seja, fatores de produção que interfeririam nos custos relativos do tratamento de REEE. Nesse sentido, os benefícios do progresso técnico (vinculados ao tratamento e refino de metais) seriam divididos por todos os países participantes dessa cadeia, inclusive os menos desenvolvidos, como o próprio nome da abordagem (“o melhor dos dois mundos”) já diz.

O imperativo neoclássico de divisão internacional do trabalho se torna problemático quando analisado da ótica Centro-Periferia, preconizada por Raul Prebisch e desenvolvida pelo pensamento cepalino no final dos anos quarenta. Esses teóricos sublinham que, de acordo com a teoria neoclássica de comércio internacional, caberia aos países periféricos, no caso à América Latina, o papel específico de produzir alimentos e matérias-primas para os grandes centros mundiais, não cabendo a esses sua industrialização. (PREBISCH, 1949).

O desenvolvimento e industrialização de vários países periféricos no pós II Guerra Mundial mostra que apesar da argumentação teórica relativa às vantagens comparativas ser de rígida validade teórica, sua premissa é negada pelos fatos. Em outras palavras, as vantagens do desenvolvimento da produtividade não ocorreram na periferia de maneira comparável a dos países do centro: “Existe, portanto, desequilíbrio, e qualquer que seja sua explicação ou a maneira de justificá-lo, trata-se de um fato certo, que destrói a premissa básica do esquema de divisão internacional do trabalho”. (PREBISCH, 1949, p. 48).

Se analisada por essa ótica desenvolvimentista, a abordagem Bo2W não leva em conta quatro pontos fundamentais para a melhor inserção de países menos desenvolvidos na cadeia global de REEE: i. a venda dos REEE como “sucatas” por países periféricos para países do centro expõe uma deterioração dos termos de troca, mesmo de produtos primários (metais); ii. o modelo Bo2W repercute o aumento da dependência tecnológica dos países periféricos, reproduzindo relações de subordinação tecnológica norte-sul; iii. não são considerados que os custos ambientais e financeiros de exportação de REEE pré-processados possam ser barreiras para as nações em desenvolvimento, tornando ineficaz a regulamentação local e inviável o cumprimento da regulação internacional; iv. esse modelo insiste na manutenção de estruturas sociais desiguais em países periféricos, no sentido de explorar a mão-de-obra de parcelas da população que se encontram em situação de pobreza, excluindo-a dos benefícios do esforço acumulativo.

Diante das condições socioeconômicas dos países periféricos, a escola cepalina preconiza que o único meio desses países captarem uma parte do fruto do progresso técnico é pelas vias da industrialização, por essa possibilitar o alcance de uma melhor posição no comércio internacional em termos de valor agregado, frente à deterioração dos termos de troca entre produtos primários e industrializados, já que:

[...] o excedente produzido por essa especialização e retido localmente estimula a modernização dependente, a qual passa a condicionar o subsequente processo de transformação das estruturas produtivas. A industrialização que emerge da especialização internacional dependente reforça as estruturas sociais preexistentes. (FURTADO, 1998, p. 50).

A mesma lógica vale para os REEE, no caso de países menos desenvolvidos almejarem uma melhor posição nessa cadeia de reciclagem. Nessa direção, as recicladoras de REEE de países periféricos devem fomentar esforços no sentido de se desenvolverem industrialmente, principalmente no que diz respeito às etapas de refino e metalurgia, e não no sentido de se especializarem em atividades de pré-processamento. As exportações de REEE, portanto, devem se apoiar na economia de escala e no avanço tecnológico, e não em vantagens comparativas estáticas. Além do que, só pelas vias da industrialização é que o catadores e recicladores de REEE que se encontram em situação de maior vulnerabilidade social em países periféricos poderiam contar com métodos de produção mais eficazes, seguros e rentáveis.

Os teóricos adeptos à abordagem Bo2W vão contra essa perspectiva de *catching-up*, por argumentarem que indústrias de refino e tratamento de metais demandam grande escala de REEE para serem processados, pressupondo a sua garantia apenas pelo estabelecimento de um mercado regional; em outras palavras, nem todos os países poderiam incorporar indústrias de processamento final de REEE. A questão, entretanto, é que o volume de REEE coletado depende muito mais de intervenção governamental do que do livre arranjo do mercado.

As relações entre centro e periferia ganham ainda mais complexidade quando inseridas no avanço do processo de liberalização dos mercados e do progresso tecnológico, a partir dos anos 80. Desde então, a atual fase de globalização tem resultado em mudanças qualitativas no padrão de produção internacional que estão para além dos níveis de integração geográfica e organizacional.

O custo competitivo de produtos padronizados, a convergência de padrões de consumo, e a queda dos custos dos transportes expandiram o alcance geográfico da estratégia corporativa, permitindo que empresas oligopolistas combinem economias de escala com a organização de fornecedores de baixo custo em uma base mundial. Isto levou às filiais emprenderem (geralmente com a tecnologia obtida da matriz) uma gama limitada de atividades, a fim de suprir as matrizes com produtos e serviços mais específicos (UNCTAD, 1994). Mais especificamente, como parte das estratégias de integração, as EMNs estão transformando suas filiais, antes geograficamente dispersas e com sistemas de produção fragmentados, em um sistema produtivo regionalmente ou globalmente integrado.

Como mencionado no capítulo um, este é o caso do mercado de reciclagem de REEE, em que poucas EMNs desempenham um papel crucial nessa cadeia por meio de estratégias integradas de produção entre matrizes e filiais, com o objetivo de alcançarem sinergia pela combinação de conhecimento especializado e atividades complementares ao longo de toda a cadeia de valor.

O fato das tecnologias usadas por empresas estrangeiras não estarem sempre disponíveis para as economias em desenvolvimento aumenta a importância atribuída ao Investimento Direto Externo (IDE) como fonte de aquisição tecnológica e de modernização industrial deste grupo de países. As atividades de IDE podem envolver a transferência de

tecnologia (explícita ou não) e, além disso, a transferência de recursos complementares, tais como a gestão de conhecimento e processos para melhor utilização dessa tecnologia. No próprio caso brasileiro, uma parcela das subsidiárias de EMNs instaladas no país correspondem à uma parte significativa do esforço nacional empreendido em P&D, conforme mostram os dados recentes da Pesquisa Industrial da Inovação Tecnológica (PINTEC) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).<sup>45</sup> (QUEIROZ & QUADROS, 2005).

Como pôde-se constatar, a análise dessa dissertação leva em conta a necessidade de desenvolvimento de uma indústria completa de reciclagem de REEE no Brasil, ou seja, perspectiva contra à especialização das recicladoras nacionais apenas em etapas de pré-processamento. Com esse horizonte em mente, a discussão sobre o possível papel do IDE em países em desenvolvimento auxilia na avaliação de qual poderia ser o papel desempenhado pelas subsidiárias de recicladoras de REEE instaladas no país – seja em termos de concorrência ou de transferência tecnológica–, dado que essas EMNs possuem *expertise* tecnológica de processamento final .

Por um lado, os efeitos do IDE em países hospedeiros podem ser vistos como negativos, no sentido de que a presença de EMNs minimizariam as fugas de tecnologia para os concorrentes; por outro lado, tenderiam a melhorar a produtividade dos fornecedores via transferência de conhecimento (ou seja, as externalidades seriam mais positivas verticalmente do que horizontalmente). Outra possibilidade de haver transferência tecnológica para as empresas do país receptor é por meio da mobilidade de trabalho, por meio da troca de trabalhadores mais qualificados das EMNs para as empresas nacionais.

De acordo com Narula & Portelli (2004), é difícil encontrar na literatura evidências robustas de externalidades positivas de EMNs a empresas concorrentes locais de um mesmo setor (externalidades horizontais). É mais provável que filiais transfiram tecnologia a empresas locais em sua cadeia de valor, seja para as empresas fornecedoras de bens

---

<sup>45</sup> “Observando-se o gasto médio em atividades internas de P&D por classe de tamanho, constata-se que as companhias estrangeiras estão sempre à frente das nacionais. No caso das grandes empresas (500 e mais empregados), essa diferença é a menor de todas, mas ainda assim o gasto das estrangeiras é, em média, o dobro do das nacionais”. (QUEIROZ & QUADROS, 2005, p. 54). O setor automotivo é, no Brasil, um bom exemplo da acumulação de capacidades tecnológicas vinculadas à presença de multinacionais.

intermediários, seja para compradores locais. Assim, as ligações interfirmas representam uma boa base para a difusão dos conhecimentos, dado que podem auxiliar os fornecedores locais no desenvolvimento e modernização de suas capacidades tecnológicas.<sup>46</sup> Essa análise poderia ser transposta para o mercado de reciclagem de REEE, em que empresas nacionais de países menos desenvolvidos são fornecedoras de placas de circuito impresso para empresas de capital externo especializadas.

Deve-se considerar que existem diferenças de tipos e intensidades do envolvimento das subsidiárias com atividades de P&D entre firmas, indústrias e países. Mas, em geral, segundo mostram alguns estudos apontados por Marin & Arza (2009), existem quatro fatores determinantes para o grau de internacionalização da P&D interfirmas: a intensidade de P&D da matriz, o seu grau de internacionalização, o valor de seu portfólio tecnológico internacional e a compatibilidade da especialização tecnológica das subsidiárias com a especialização tecnológica do país receptor.

Especialmente quanto a esse último fator, as atividades tecnológicas desenvolvidas por subsidiárias de EMNs são motivadas por fatores de orientação tecnológica, como o ganho de acesso a rede e comunidade científica local, a sofisticação tecnológica de fornecedores locais e a abundância de mão de obra qualificada (MARIN & ARZA, 2009). A relação entre IDE e crescimento econômico sugere, então, que condições locais, tais como o nível de educação, o desenvolvimento de mercados financeiros e consumidor locais e infraestrutura desempenham um papel importante ao permitir que os efeitos positivos de IDE possam se materializar (NARULA & PORTELLI, 2004). Esses pré-requisitos são também verdadeiros para o mercado de reciclagem de REEE, por esse exigir mão-de-obra qualificada, especialmente de engenheiros químicos, ambientais e metalúrgicos; por depender diretamente da infraestrutura disponível, principalmente em relação à coleta; e por demandar altos investimentos, requerendo incentivos econômicos para tal.

---

<sup>46</sup> Essas externalidades positivas têm maiores chances de serem criadas quando o processo de produção das EMNs envolve o uso intensivo de bens intermediários, os custos de comunicação entre matriz e filial são altos e o país receptor é muito diferente em termos de variedade de bens intermediários produzidos (NARULA & PORTELLI, 2004).

A avaliação dessas vias de *catching-up* de países menos desenvolvidos na cadeia de reciclagem de REEE requer a descrição mais detalhada das relações entre os agentes que formam essa cadeia, bem como da integração funcional e da coordenação das atividades dispersas internacionalmente. O capítulo a seguir descreve esse quadro para o caso brasileiro.



#### 4. INSERÇÃO BRASILEIRA NA CADEIA GLOBAL DE REEE: PESQUISA DE CAMPO

O presente capítulo visa sistematizar os dados obtidos da pesquisa de campo realizada com recicladoras nacionais e de capital estrangeiro de REEE, com o objetivo de mapear essa cadeia de reciclagem no Brasil e de analisá-la de acordo com a sua inserção global. Esses dados serão comparados com as etapas e níveis tecnológicos descritos no capítulo dois para fins de avaliar o estado da arte das tecnologias e dos processos de REEE presentes no país. Por meio da revisão teórica elaborada no capítulo três, a última parte da análise compreende também a participação das EMNs na cadeia de reciclagem de REEE brasileira.

A compreensão dos fluxos globais de REEE exige uma caracterização quantitativa e qualitativa. Enquanto a primeira estima a quantidade de resíduos exportados, tanto em termos da participação dos setores (formal e informal) quanto em termos de destinação (reuso, reciclagem e descarte),<sup>47</sup> a caracterização qualitativa possibilita o entendimento dos mecanismos e das motivações para a atividade de reciclagem. A presente dissertação se atará à descrição qualitativa desses fluxos, delimitando-se ao caso brasileiro.

Em termos dos mecanismos vigentes no gerenciamento de REEE, a pesquisa busca mapear os modelos de negócio, as transações, os equipamentos exportados e sua destinação. Em termos de sua motivação, busca-se apreender aquelas de cunho financeiro, bem como as restrições para o desenvolvimento do mercado de reciclagem em questão. Junto a esse mapeamento, a pesquisa analisa o posicionamento brasileiro na cadeia global de REEE e avalia as possibilidades e vias de *catching-up* tecnológico na área.

As entrevistas realizadas foram de preferência presenciais e gravadas mediante autorização. O roteiro de pesquisa foi um questionário, baseado na revisão prévia da literatura.<sup>48</sup> Além do questionário, esse estudo faz uso de informações obtidas a partir de fontes secundárias, tais como relatórios anuais e *sites* oficiais das empresas.

O trabalho de campo contou com uma amostra de cinco recicladoras de REEE, conforme ilustra o Quadro 4.1. A escolha da amostra se pautou nos seguintes graus de

---

<sup>47</sup> Para averiguação de metodologias para cálculo dessas estimativas ver Miller et al. (2012).

<sup>48</sup> O modelo de questionário utilizado nas entrevistas está disponível no Apêndice D.

comparação: i. entre empresas de capital nacional e de capital estrangeiro; ii. entre multinacionais nacionais e multinacionais estrangeiras; iii. entre pequenas empresas nacionais e empresas pertencentes a grandes grupos também nacionais. Sendo assim, a amostra, ao contar com uma empresa multinacional de capital estrangeiro, uma empresa multinacional nacional, duas empresas nacionais pertencentes a grandes grupos e uma pequena empresa nacional, se mostra relevante por apontar as diferenças e semelhanças entre modelos e estratégias de inserção global de empresas de naturezas distintas instaladas no Brasil. Como em alguns casos as empresas não autorizaram a divulgação de sua razão social, optou-se por manter em sigilo o nome das participantes.

Quadro 4.1 - Recicladoras de REEE instaladas no Brasil (amostra)

<b>Recicladora</b>	<b>Origem</b>	<b>Cidade</b>	<b>Presença em outros países</b>
A	Cingapura	Campinas	Sim
B	Brasil	Paulínia	Não
C	Brasil	Amparo	Não
D	Brasil	Americana	Não
E	Brasil	São Paulo	Sim

Fonte: Dados da pesquisa de campo.

A recicladora “A” é de origem estrangeira e faz parte de um grande grupo internacional. Além do Brasil e de sua matriz em Cingapura, a empresa possui pontos de coleta nos Estados Unidos, Alemanha, Malásia, Indonésia, China, Japão, Hong Kong, Taiwan, Tailândia, Índia, Arábia Saudita, Coreia do Sul, Filipinas, Austrália, Nova Zelândia, Catar, Itália, Reino Unido e Canadá. A subsidiária no Brasil conta com apenas 6 funcionários e possui um faturamento médio anual de 1 milhão de reais. Em contrapartida, sua planta em Cingapura possui 20.000m<sup>2</sup> de área construída com tecnologia de reciclagem e refino de 16 metais diferentes (ferrosos, não ferrosos, preciosos e raros).

A empresa “B” foi fundada em 1998 e pertence a um grande grupo nacional, que atua em toda a cadeia de lixo, recebendo anualmente mais de 14 milhões de toneladas de resíduos. Em 2011, o grupo registrou um faturamento de 1,2 bilhão de reais. A empresa entrevistada conta com sessenta funcionários e tem um faturamento médio anual de sete milhões de reais.

A empresa “C” foi fundada em 2010 por três sócios. Atualmente, ela conta com 18 funcionários. Os dados sobre faturamento não puderam ser fornecidos pela empresa.

A empresa “D” foi fundada em 2009 e, em 2011, 51% da empresa foi vendido para um grande grupo nacional especializado em logística. A empresa possui três plantas instaladas (Rio Grande do Sul, Manaus e Americana) e mais três em implantação (Goiás, Rio de Janeiro e Ceará). Em Americana, a recicladora possui uma área de três mil metros quadrados onde trabalham 75 funcionários.

Fundada em 1997, a empresa “E” é uma recicladora multinacional de origem brasileira, com matriz em São Paulo e com escritórios em Curitiba, Manaus, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Canoas e Contagem. Possui também filiais nos EUA, Japão, Israel e Chile.

O Quadro 4.2 exhibe as categorias de REEE que as empresas entrevistadas recebem. Os dados dos quadros adiante, no caso das empresas “A” e “E”, dizem somente respeito às plantas instaladas no Brasil.

Quadro 4.2 - Categorias de REEE que as empresas da amostra recebem

Recicladora	Categorias de REEE que recebem
A	Linha verde
B	Linha verde, linha marrom, linha branca e <i>toner</i>
C	Linha verde, linha marrom, equipamentos eletromédicos
D	Linha verde, linha marrom, linha branca e <i>toner</i>
E	Majoritariamente, somente placas de circuito impresso

Legenda: Linha verde: equipamentos de informática e de telecomunicação

Linha marrom: equipamentos de áudio e vídeo

Linha branca: equipamentos de cozinha, refrigeração e áreas de serviço

Fonte: Dados da pesquisa de campo.

São três os determinantes para a escolha das categorias de REEE que essas empresas recebem. O mais óbvio deles é a **disponibilidade de equipamentos especializados** para o tratamento de determinados materiais: por exemplo, das cinco empresas apenas duas (“B” e “D”) possuem equipamento para o tratamento de *toner*. Outro importante determinante é a disposição da empresa em arcar com **custos relacionados a passivos ambientais** como pilhas e baterias, gás CFC e mesmo o pó de *toner*. O último determinante está relacionado ao **modelo de negócio da empresa**, como será analisado posteriormente.

Todas as empresas entrevistadas exercem atividades complementares à reciclagem propriamente dita, conforme mostra o Quadro 4.3.

Quadro 4.3 - Atividades exercidas pelas empresas da amostra

<b>Recicladora</b>	<b>Atividade</b>
A	Logística reversa
B	Logística reversa, manufatura reversa e reciclagem
C	Consultoria, logística reversa e manufatura reversa
D	Consultoria, logística reversa, manufatura reversa e reciclagem
E	Logística reversa, manufatura reversa

Fonte: Dados da pesquisa de campo.

Duas das entrevistadas (“C” e “D”) prestam serviços de **consultoria** para empresas de equipamentos eletroeletrônicos, geralmente de pequeno e médio porte, que estão em fase de implantação de um sistema de logística reversa para estar em conformidade com a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Devido à inexistência de um sistema de coleta municipal para REEE, todas as empresas entrevistadas, para obter um volume de REEE que justifique a sua produção, acabam por oferecer **serviços de logística reversa**. Ressalta-se que a logística reversa não é definida como reciclagem, mas como coleta.

Os REEE são provenientes de seis canais: pessoa física, empresas de equipamentos eletroeletrônicos, mercado corporativo (ou seja, outras empresas usuárias de equipamentos eletroeletrônicos), catadores de REEE, Receita Federal e, em menor grau, de prefeituras das regiões de atuação das empresas. Algumas recicladoras enfatizaram que a maior parte dos REEE advindos de pós-indústria são de EMNs de equipamentos eletroeletrônicos, o que permite concomitantemente maior volume e uniformidade de materiais recebidos. Por exemplo, a empresa de capital estrangeiro entrevistada (empresa “A”) lida apenas com equipamentos de linha verde e recebe REEE de mais de 80 empresas como Samsung, Epson, Dell, Siemens e Nokia.

De forma geral, as empresas cobram uma taxa para o transporte dos REEE até a planta. Para o envio de algum equipamento de tamanho pequeno por pessoa física, algumas empresas o recebem via correio, desde que a bateria seja retirada. Nas empresas entrevistadas, apesar da logística reversa representar uma parte importante do custo total,

algumas recicladoras informaram pagar por determinados tipos de resíduos, geralmente quando aptos para reuso.

Condiz com a atividade de **manufatura reversa** as etapas de separação e o desmonte de REEE (pré-processamento). Todas as empresas especializadas nacionais desempenham essa etapa inicial do processo de reciclagem. Já para as recicladoras de capital estrangeiro, essa não é uma regra. A empresa “A” realiza a manufatura reversa de equipamentos em sua matriz (Cingapura). Essas diferenças do raio das atividades desempenhadas variam de acordo com a estratégia de negócio da recicladora.

O **modelo de negócio** das empresas entrevistadas são de três tipos e vão ao encontro do descrito por Oliveira et al. (2012): i. empresas que coletam REEE, realizam a sua seleção e vendem materiais separados para outras empresas de reciclagem (mercado doméstico); ii. empresas que coletam REEE, realizam sua seleção, vendem parte do material separado para outras recicladoras e exportam as placas de circuito impresso (mercado externo); iii. empresas de capital estrangeiro com um escritório no Brasil que coletam REEE e os destinam para reciclagem em uma planta fora do país, geralmente para a matriz.

Como as recicladoras de capital estrangeiro se encaixam nesse terceiro modelo e, portanto, destinam todo seu material final para as suas matrizes, passaremos a analisar a venda de materiais das recicladoras nacionais de REEE.

Os canais de distribuição dos produtos finais das recicladoras nacionais são ramificados e de diferentes especialidades por conta da variedade de materiais envolvidos tais como cabos, fios, motores, plásticos, placas de circuito impresso, alumínio, aço, vidro, óleo, pilhas e baterias. Apesar de sua diversidade, alguns desses mercados se mostram bastante concentrados. O Quadro 4.4 mostra a destinação dos principais tipos de materiais finais das recicladoras de REEE.

Quadro 4.4 - Destinação dos produtos finais da amostra de recicladoras de capital nacional

<b>Produto Final</b>	<b>Destinação</b>
Fontes, mouses, motores pequenos	Outras empresas nacionais de reciclagem, reuso
Plásticos	Empresas especializadas em reciclagem de plástico
Aço	Fundição de aço
Vidro	Fabricante de vidro, recicladora de vidro
Pilhas e baterias	Indústria química
Placas de circuito impresso	Recicladoras de capital estrangeiro

Fonte: Dados da pesquisa de campo.

Produtos finais como fontes, mouses e motores pequenos, depois de separados e desmontados, são enviados para outras empresas de reciclagem ou são destinados para reuso. Uma das recicladoras entrevistadas alegou não saber para onde destinar motores menores.

Os plásticos, depois de separados por categoria e triturados, são enviados para recicladoras especializadas e/ou fabricantes do material. Dado os vários tipos de plásticos e seus diferentes estados/qualidade, esse mercado não se mostra tão concentrado como outros. Por exemplo, uma das recicladoras entrevistadas destina os seus plásticos triturados para mais de 10 recicladoras de extrusão e de injeção de plástico.

No caso do aço, todas as empresas entrevistadas o vendem para uma única empresa, líder no segmento de aços longos nas Américas e uma das principais fornecedoras de aços longos especiais do mundo.

No caso dos vidros, a destinação, assim como a dos plásticos, é diversificada. Os vidros são enviados para fabricantes e/ou para recicladores de cacos de vidros planos, vidros laminados e vidros de embalagens. Uma das empresas de reciclagem de vidro mencionada faz parte de um grande grupo que possui 1.200 empresas subdivididas em 5 grandes polos de atuação: vidros planos, embalagens, produtos para construção, distribuição de materiais de construção e materiais de alta performance. Uma das empresas entrevistadas destina o seu vidro para uma recicladora especializada que não o transforma novamente em matéria-prima, mas em pisos.

Três das recicladoras nacionais entrevistadas pagam pela destinação de pilhas e baterias (consideradas passivos ambientais) para uma só indústria química. A empresa tem como atividade básica a produção de sais e óxidos metálicos destinados a indústrias

cerâmicas, galvanotécnicas, refratárias, de clorofícios e químicas em geral.

Quanto à destinação das placas de circuito impresso, foco dessa dissertação, para todos os casos entrevistados, elas são enviadas para recicladoras de capital estrangeiro, conforme indicado no Quadro 4.5.

Quadro 4.5 - Destinação final das placas de circuito impresso das empresas da amostra

Recicladora	Destinação das placas
A	Exportadas para matriz em Cingapura
B	Vendidas para subsidiárias brasileiras de recicladoras de capital estrangeiro
C	Vendidas para subsidiária brasileira de recicladora belga
D	Exportadas via <i>trade</i> para recicladora japonesa
E	Exportadas para recicladoras do Canadá, Estados Unidos e Europa

Fonte: Dados da pesquisa de campo.

A empresa “A”, de capital estrangeiro, destina suas placas de circuito impresso para a sua matriz, para serem encaminhadas para as etapas de pré-processamento e de processamento final. A multinacional brasileira (empresa “E”) exporta suas placas para serem refinadas em outros países, geralmente, Canadá, Estados Unidos e alguns países da Europa. Como o *core* dessas duas empresas é justamente a exportação de placas, significa que são secundárias para a suas estruturas de negócio as vendas de outros materiais finais, como plásticos, vidros e cabos. Sendo assim, a venda para o mercado externo corresponde a quase todo o faturamento das multinacionais. Algumas recicladoras afirmaram que o preço das placas, dependendo da categoria, pode variar entre 15 mil a 300 mil reais por tonelada.

No caso das demais recicladoras de capital nacional (empresas “B”, “C” e “D”), ocorre justamente o contrário: a maior parte do faturamento corresponde à venda para o mercado doméstico, ou seja, não diz respeito à venda de placas, mas de plásticos (o faturamento provindo da venda de placas corresponde, em média, a 10% do total). Isso ocorre devido ao baixo volume de placas obtido pelas recicladoras nacionais, dado que, de todo o material contido nos galpões, apenas 2%, em média, são placas; situação diferente das EMNs que, por escoarem placas de diversas recicladoras nacionais e estrangeiras por meio de suas filiais, conseguem um maior volume do material. Como mencionado, as empresas nacionais entrevistadas recebem uma gama de equipamentos relativamente abrangente frente às EMNs, geralmente especializadas em equipamentos “ricos” em placas ou somente em placas.

Justamente por isso, as recicladores nacionais de REEE “bem sucedidas” pertencem a grupos maiores com diferentes frentes de negócio, ou seja, não apenas lidam com REEE. Duas das empresas entrevistadas, por exemplo, pertencem a dois diferentes grupos: um deles atua também no gerenciamento de resíduos domésticos, comerciais, industriais, de construção civil e de serviços de saúde; o outro grupo trabalha não só com REEE, mas também com veículos, móveis e outros bens de pós-consumo. O mesmo princípio de ramificação de mercado se aplica no caso da multinacional brasileira por lidar também com sucata industrial (aço inoxidável e outras ligas) e automotiva (catalisadores).

Sendo assim, as empresas de capital nacional (inclusive a multinacional) ou vendem suas placas para subsidiárias de recicladoras de REEE de capital estrangeiro instaladas no Brasil, ou as exportam diretamente para suas matrizes, ou as exportam para outras recicladoras estrangeiras não instaladas no Brasil. Como o valor do material final obtido pela exportação direta é maior do que o da venda para as subsidiárias, evidentemente, todas as recicladoras nacionais tem isso por objetivo.

Para tal, entretanto, é necessário um volume relativamente alto de REEE. Uma das empresas entrevistadas informou que, para exportar, é necessária a obtenção de um documento aduaneiro denominado “Radar”, cujo aporte é justificado para um volume mínimo de 10 toneladas/mês. Essa quantidade é relativamente alta para o volume operado atualmente pelas recicladoras nacionais. Para contornar a situação, uma das empresas exporta via *trade*.<sup>49</sup> Em contrapartida, uma das multinacionais recebe, em média, entre 150 a 200 ton/mês.

Sobre esse assunto, é relevante frisar que, de acordo com as entrevistadas, no Brasil a exportação de REEE não é considerada transação de resíduos perigosos, desde que sejam retiradas pilhas e baterias. Sendo assim, não é necessário o aporte de qualquer documento ou licença específica relacionado à exportação de REEE. As empresas somente possuem licenças comuns para o exercício da atividade (CETESB, por exemplo) ou certificações como ISO 14001 e ISO 9001. Nenhuma das entrevistadas importam REEE de outros países.

---

<sup>49</sup> Empresas especializadas em exportação.

Como exposto no capítulo dois, as técnicas e tecnologias de reciclagem de REEE disponíveis determinam, em grande parte, a inserção do país nessa cadeia de valor global. Sendo assim, deve-se avaliar o estado da arte das técnicas e tecnologias dessas empresas de reciclagem no Brasil, bem como seus estágios em termos de processos.

As quatro recicladoras nacionais entrevistadas possuem processos de manufatura reversa, basicamente operações de separação e desmontagem de equipamentos.<sup>50</sup>

No caso das empresas “B”, “C” e “D”, inicialmente, os equipamentos são separados por categorias, pesados e armazenados. O processo segue com a desmontagem manual dos equipamentos com utilização de parafusadeiras, chaves de fenda, morças, empilhadeiras. O fato de o processo ser todo manual, apesar de pouco eficiente, garante boa qualidade dos materiais obtidos. Quanto à desmontagem, algumas empresas optam por fazê-la de acordo com o tipo de material, e não por partes e peças. Essa escolha depende do fato de a empresa vender, ou não, para o mercado de segunda-mão, no caso de reuso dos equipamentos. Depois de desmontados e separados, os materiais são pesados novamente para a obtenção de seu balanço de massa. Ao final dessa etapa, tem-se fios, cabos, vidro, plásticos, placas de circuito impresso, alumínio, fontes, borracha, motores pequenos.

Já no caso da empresa “E” a etapa inicial de pré-processamento (aqui denominada de manufatura reversa) é mecânica, realizada por meio da moagem das placas de circuito impresso por um moinho.

Uma das empresas, que recebe equipamentos de linha branca, também faz o desmonte de geladeiras. Primeiramente é escoado o seu óleo e em seguida é retirado o gás CFC com o uso de uma máquina simples de recolhimento de gás. Os materiais finais são plásticos, ferro, motores, fios e gás.

Como mencionado, duas das recicladoras entrevistadas realizam também a manufatura reversa de *toners* de impressoras. Logo que é inserido na máquina fragmentadora, o *toner* passa por uma calha vibratória capaz de separar o seu pó que, em seguida, é decantado em um tambor. Já a separação da parte metálica da plástica é feita por um setor magnético presente no equipamento. Desse processo são obtidos metais, plásticos

---

<sup>50</sup> Praticamente todas as outras recicladoras de nacionais de REEE desenvolvem atividades de manufatura reversa manualmente.

e pó de *toner*. Esse último pode ser utilizado para a pigmentação de plásticos, confecção de asfalto ecológico ou para a fabricação de tapetes de borracha.

Os plásticos obtidos por meio dos processos de manufatura reversa são separados manualmente por tipo e por cor<sup>51</sup> (por meio da queima, do cheiro e de suas especificações), são limpos (retiragem de adesivos e de possíveis partes metálicas que tenham restado) e são triturados em um moedor simples. O plástico separado e triturado confere ao material maior valor agregado, na forma de PE preto, PP + PS, PC +ABS.<sup>52</sup>

Além desses processos básicos, uma das empresas entrevistadas (“D”) possui um equipamento que aumenta a reciclabilidade do **tubo de cinescópio**. Esse equipamento separa o vidro cônico, que contém chumbo, do vidro plano, que contém fósforo. Aspirado o fósforo, o vidro plano passa de resíduo classe um para resíduo classe dois. Já o vidro cônico continua a ter uma concentração de chumbo ainda muito alta e, portanto, continua sendo resíduo classe um. Além de extrair o fósforo e transformar parte do vidro em classe dois, o equipamento recupera a parte metálica do cinescópio, rica em níquel. O investimento no equipamento foi de R\$250.000,00 e foi adquirido no final de 2012. O volume de tubos a ser processado ainda é baixo frente ao custo da operação.

Como mencionado acima, nenhuma das empresas possui qualquer processo relacionado ao tratamento das placas de circuito impresso. Elas são somente separadas de acordo com uma classificação interna de cada uma das recicladoras, limpas (retiragem de pilhas, baterias e alumínio) e pesadas para serem vendidas para o mercado interno ou exportadas. No caso da multinacional brasileira (empresa “E”), esta realiza a moagem das placas em sua matriz e demais filiais, e possui um laboratório para análise de metais nobres e preciosos; entretanto, é importante frisar, a empresa não possui nenhum processo de refino desses metais. Sendo assim, todos os processos presentes nas empresas de capital nacional entrevistadas são secos e, portanto, não apresentam nenhum risco de contaminação.

---

<sup>51</sup> O plástico branco tem valor comercial maior do que o plástico colorido.

<sup>52</sup> Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Poliestireno (PS), Policarbonato (PC), Acrilonitrila butadieno estireno (ABS).

O Quadro 4.6 resume a presença das operações supracitadas nas empresas de capital nacional da amostra.

Quadro 4.6 - Processos presentes nas recicladoras de capital nacional da amostra

Recicladora	Processos	Técnica/ Tecnologia	"Input"/ Entrada	"Output"/ Saída
B	I. Manufatura reversa	Trabalho manual com a utilização de parafusadeiras, chaves de fenda, morsas, empilhadeiras	Equipamentos de linha verde, linha marrom, linha branca e <i>toner</i>	Fios, cabos, vidro, plásticos, placas de circuito impresso, alumínio, fontes, motores pequenos.
	II. Desmontagem de geladeira	Trabalho manual, escoedor de óleo, máquina simples de recolhimento de gás	Geladeiras	Plástico, ferro, motores, fios e gás
	III. Reciclagem de <i>toner</i>	Fragmentador de <i>toner</i>	<i>Toner</i>	Metal, pó de <i>toner</i> , plástico
	IV. Moagem do plástico	Trabalho manual, moedor de plástico	Peças plásticas	PE preto, PP E + PS, PC +ABS
C	I. Manufatura reversa	Trabalho manual com a utilização de parafusadeiras, chaves de fenda, morsas, empilhadeiras	Equipamentos de linha verde, linha marrom, equipamentos eletromédicos	Peças de plástico, de borracha, de metal, placas de circuito impresso e fios de cobre.
D	I. Manufatura reversa	Trabalho manual com a utilização de parafusadeiras, chaves de fenda, morsas, empilhadeiras	Equipamentos de linha verde, linha marrom, linha branca e <i>toner</i>	Peças de plástico, alumínio, fios, placas, ferro, motores, vidro
	II. Recuperação do cinescópio	Equipamento de recuperação do cinescópio	Tubos de televisores e computadores	Fósforo, vidro, metal
	III. Reciclagem de <i>toner</i>	Fragmentador de <i>toner</i>	<i>Toner</i>	Metal, pó de <i>toner</i> , plástico
	IV. Moagem do plástico	Trabalho manual, moedor de plástico	Peças plásticas	PE preto, PP E + PS, PC +ABS
E	I. Manufatura reversa	Trituração de placas de circuito impresso com a utilização de moinho de moagem	Placas de circuito impresso	Placas de circuito impresso moídas
	II. Análise de metais nobres e preciosos	Técnicas e tecnologias de laboratório	N.A.	N.A.

Fonte: Dados da pesquisa de campo.

Já as subsidiárias de EMNs estrangeiras instaladas no Brasil exercem basicamente as atividades de logística reversa, ou seja, apenas a coleta de equipamentos eletroeletrônicos. No máximo, exercem a atividade de manufatura reversa, motivadas pelo baixo custo de mão de obra brasileira, sendo essa não necessariamente uma regra, visto que muitas dessas empresas optam por etapas de pré-processamento automatizadas, como é o caso das duas multinacionais entrevistadas (empresas “A” e “E”).

Essas duas EMNs divergem, de certa forma, em relação à atuação no Brasil. A empresa “A”, assim como a empresa “E”, opta por operações de pré-processamento totalmente automatizadas, mas as realiza apenas na matriz; ou seja, suas filiais operam apenas com logística reversa/coleta. Segundo o responsável pela empresa, a filial no Brasil não realiza operações de separação e desmantelamento por falta de investimento e infraestrutura necessários (não há espaço e funcionários suficientes). Já a empresa “E” não realiza toda a etapa de manufatura reversa no Brasil, uma vez que opta majoritariamente pela compra de placas de circuito impresso já desmanteladas; de qualquer forma, a moagem desse material é realizada em solo nacional. As filiais das empresas “A” e “E operam

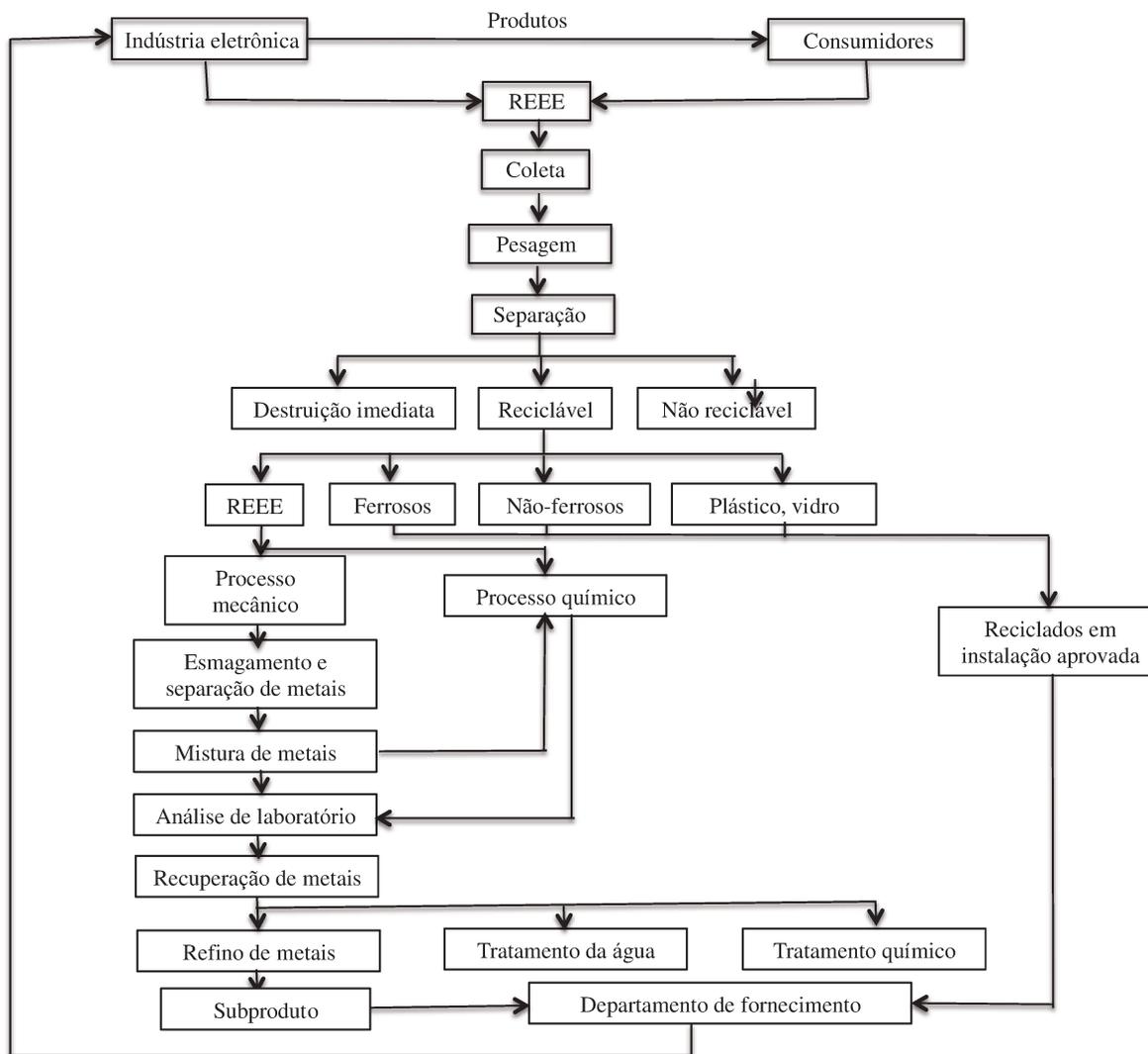
segundo o mesmo modelo de negócio.

Quanto à atuação das matrizes, existem *gaps* entre uma multinacional e outra em termos de processamento final. A empresa “E”, por não possuir infraestrutura e tecnologias disponíveis para o tratamento de metais, exporta-os para refinarias estrangeiras especializadas. Já a matriz em Cingapura da empresa “A” possui processos totalmente automatizados de separação por densidade e eletrólise, além de processos de filtragem de dioxinas, liquidificação, decantação e desintoxicação (altíssimas elevações de temperatura e de curtos resfriamentos em câmara selada). A tecnologia disponível em “A” permite a separação de diferentes frações de componentes metálicos e não-metálicos, além da determinação da qualidade dos REEE por meio de uma amostragem *online*.

A empresa também possui tecnologias de recuperação e refino de metais preciosos e de recuperação de metais comuns, que atingem um índice de reciclabilidade de até 90%. A matriz também tem investido em peso em tecnologias de reciclagem de tubos de raios catódicos, que atinjam um índice total de reciclabilidade (100%) e zero de emissões. O processo como um todo não gera gases poluentes, dado que os poluentes gerados são levados para um purificador especializado para serem tratados e neutralizados. Também utilizam processos de destilação e de condensação que permitem a reciclagem e reutilização dos produtos químicos e de outros recursos utilizados nos processos, tal como a água.

Sendo assim, a empresa “A” recicla todos os metais e os vende em suas várias formas (barras, pós, líquidos, chapas) para os mercados asiático e europeu. A Figura 4.1 apresenta o fluxograma desses processos.

**Figura 4.1 - Fluxograma de processos da Recicladora “A” em Cingapura**



Fonte: Site da empresa (2013).

A pesquisa de campo sugere a inserção do caso brasileiro na dicotomia **países desenvolvidos x países em desenvolvimento**, posta pelo segundo e terceiro capítulo dessa dissertação: as instalações de tratamento de REEE no Brasil são constituídas apenas pelo primeiro nível de tratamento (separação e desmantelamento manual) e, de forma restrita, pelo segundo nível de tratamento (algumas etapas de pré-processamento automatizadas), enquanto que o terceiro nível (tratamento de metais) está geograficamente localizado em outros países, na maior parte dos casos, desenvolvidos.

Isso significa dizer que o Brasil parece se inserir na divisão internacional do trabalho sugerida pela abordagem “*The Best-of-2-Worlds*” (Bo2W). Como a pesquisa de campo constatou, existe uma integração técnica e logística de tecnologias adequadas para diferentes fases do tratamento de REEE que possibilitam a sua reciclagem completa. Disso vem que, apesar de algumas recicladoras possuírem processos semiautomáticos como de de-gaseificação de CFCs e de corte e limpeza de cinescópio,<sup>53</sup> o Brasil apresenta limites técnicos para o tratamento de materiais complexos. Ademais, os processos de separação e de desmantelamento manuais, apesar de garantir maior qualidade ao material final, são ineficientes.

Expostos os processos presentes nas empresas da amostra, serão apresentadas adiante algumas considerações acerca das prioridades de investimento e das oportunidades de *catching-up* tecnológico dessas.

Em termos de investimentos, as recicladoras de capital nacional pertencentes a grandes grupos, que atuam no gerenciamento de vários tipos de resíduos, estão inseridas em uma lógica de **horizontalização de suas atividades**, por meio da compra de outras empresas do ramo de resíduos em geral. O caso de uma das empresas entrevistadas, pertencente a um grande grupo, é emblemático. O grupo desembolsou 100 milhões de dólares por uma fatia de 11% de uma *holding* americana de gestão de resíduos sólidos. □ Em comunicado, o grupo afirmou que a operação permitirá uma cooperação estratégica entre as duas companhias, com transferência de tecnologia e de práticas de gestão. □ □ A carteira da *holding* americana compreende outras três grandes empresas, que totalizam uma receita anual de aproximadamente 1,4 bilhão de dólares. □ □ A aquisição não é a primeira investida internacional desse grupo nacional.

Ou seja, esse movimento, de horizontalização das atividades, não se dá no sentido de construir plantas ou investir na aquisição de tecnologias de processamento final de placas de circuito impresso, mas sim de ganhar fatias de outros nichos de mercado (tratamento de outros resíduos industriais).

---

<sup>53</sup> O estudo de STEP (2009) já havia constatado o potencial dessas tecnologias semi-automáticas no Brasil.

O mesmo ocorre com as recicladoras de capital nacional não pertencentes a um grande grupo, porém com algumas diferenças. Pelo fato de não atuarem em várias frentes de resíduos e também pelo *core* de seu modelo de negócio não ser a venda de placas de circuito impresso, a prioridade dos investimentos se dá muito mais no sentido de **verticalização de seus processos**, principalmente na reciclagem de materiais plásticos. Outras prioridades de investimento, de acordo com algumas entrevistadas, é a compra de equipamentos que facilitem o desmantelamento de equipamentos eletroeletrônicos e aumentem o seu valor agregado para venda. Um exemplo desses é a compra de equipamento para a desencapagem de fios para a extração mais eficiente do cobre.

Como já mencionado, com exceção da multinacional brasileira, o fato de as placas de circuito impresso não serem prioridade para as recicladoras nacionais de REEE é explicado, em grande medida, pela incipiência de um mercado regulado que garanta a coleta de equipamentos eletroeletrônicos, seja pela responsabilidade por sua geração ou pela implantação de um órgão responsável pela sua coleta. Dado que parte do custo operacional de um centro de triagem é formado por custos fixos, quando operando com baixa capacidade, as despesas da recicladora por tonelada aumentam diretamente. De acordo com o estudo da ABDI (2012), a receita obtida para os diferentes volumes de reciclagem variam de acordo com a taxa de reciclabilidade (o quanto em peso é reciclado por produto) e o ganho de escala.

Em relação a esse ponto, todas as recicladoras entrevistadas alegam que a oferta de REEE é pequena em relação à base instalada, sendo as motivações para o maior investimento em tecnologia diretamente relacionadas ao volume de resíduos coletados, que, por consequência, depende de regulamentação. As recicladoras esperam que a implementação do plano de logística reversa para REEE, previsto pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, aqueça o mercado em questão, possibilitando aumento nos preços dos serviços cobrados, bem como maior escala dos REEE coletados. Uma importante observação acerca dos preços a serem cobrados pelos serviços prestados pelas recicladoras é que a sua maior margem dependeria diretamente de condições técnicas para a certificação de recicladoras que compõem a cadeia. Decisões como o órgão certificador, os documentos

necessários e o estabelecimento de critérios objetivos para tal ainda estão sendo definidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Como mencionado no capítulo dois, o terceiro nível do tratamento de REEE (refino de metais presentes nas placas de circuito impresso) requer operações em grande escala para ser economicamente viável, além de o montante de capital e intensidade de *expertise* tecnológica necessários para viabilizar a reciclagem por fundição se tornarem uma barreira às recicladoras nacionais de REEE.

Há de ser pensado, então, qual é ou qual poderia ser o papel desempenhado pelas subsidiárias de recicladoras de capital estrangeiro instaladas no Brasil, seja em termos de competição de mercado ou mesmo em termos de possibilidades de transferência tecnológica.

Como constatado pela pesquisa de campo, as subsidiárias acabam por ser responsáveis pela “destinação final” ambientalmente adequada de REEE, por meio do processamento das placas de circuito impresso em suas matrizes. Por parte das recicladoras de capital nacional, essa lógica tem sido muito mais benéfica do que danosa em termos de perda de competitividade.

Nenhuma das recicladoras de capital nacional entrevistadas apontou as EMNs como concorrentes diretas, mas sim outras empresas de capital nacional de maior porte. Isso porque a concorrência desse mercado deve ser analisada de acordo com os tipos de materiais que são processados pelas demais empresas, o nicho de mercado em que atuam e os tipos de serviços prestados. Por exemplo, os preços a serem cobrados pelos serviços prestados dependem dos benefícios inclusos, como a emissão de certificado e de relatórios com fotodocumentação para o “fornecedor” dos resíduos ou mesmo se a empresa realiza a coleta domiciliar do(s) equipamento(s) no caso do “fornecedor” ser pessoa física.

Em todos esses critérios — materiais processados, nicho de mercado e serviços prestados —, as EMNs não são concorrentes diretas das recicladoras de capital nacional. Como pode-se constatar, as multinacionais atuam em segmentos específicos de REEE (a prioridade, na maior parte das vezes, é por equipamentos de linha verde e placas de circuito impresso) e, por isso, a sua lógica funcional está mais ligada à logística reversa (coleta) do

que à manufatura reversa e, no caso das estrangeiras, o *core* de seu negócio é o tratamento final das placas.

Da mesma maneira, nenhuma das EMNs entrevistadas apontou recicladoras de capital nacional como concorrentes diretas, mas sim outras EMNs do mesmo ramo. Pela fato de as empresas de capital nacional não possuírem outra opção de destinação das placas se não as EMNs, aquelas acabam por operar como pontos de coleta para as EMNs. Poderia-se inferir que a disputa pelo volume de REEE coletado tornaria esses dois tipos de recicladoras concorrentes indiretos; entretanto, dado o tamanho do mercado brasileiro e a ausência de um serviço de logística reversa (municipal ou privado) regulamentado, as EMNs e as recicladoras de capital nacional interagem, pode-se dizer, de maneira complementar. Dado que o escoamento das placas é realizado via EMNs, atualmente a distribuição global da cadeia de REEE se apresenta como uma alternativa para a deposição ambientalmente correta destes resíduos, frente à ausência de tecnologias de processamento final no Brasil.

Outra questão a ser verificada, portanto, são as oportunidades de ganhos de aprendizagem, no sentido de as recicladoras de capital nacional adquirirem novas funções nessa cadeia e de participarem de nichos econômicos mais rentáveis, intensivos em capital e especialização.

De acordo com UNEP (2009), uma possível adaptação de tecnologias de processamento final origina-se, muitas vezes, da exportação de REEE para *players* globais, tanto pela infraestrutura básica exigida, quanto pela oportunidade de aprender com outras empresas detentoras desse *know-how*. Entretanto, a pesquisa de campo constatou que os fornecedores locais (recicladoras de REEE de capital nacional) não têm aprendido com seus clientes (recicladoras de REEE de capital estrangeiro), mesmo que de forma indireta, já que aquelas não estão sujeitas aos padrões estabelecidos e inseridos numa lógica global de exigência de qualidade e de preço. Isso porque as placas de circuito são vendidas em estado bruto (peças inteiras) ou somente trituradas, sem que haja exigências relevantes para *upgrades* em processos tecnológicos.

Como observado por Humphrey & Schmitz (2000, 2001) em relação à oportunidade de aprendizado tecnológico entre fornecedores e clientes nas cadeias globais, também devem ser considerados os limites do tipo de governança exercido nessas cadeias. Assim, o *upgrade* tecnológico só ocorreria quando houvesse algum tipo de aperfeiçoamento de processo ou de produto, no sentido de possibilitar a manutenção ou a melhora da posição competitiva da empresa cliente. Esse não é o caso da cadeia de REEE, em que é vantajoso para as EMNs a compra de REEE separados e desmontados manualmente pelas empresas de capital nacional, por garantir maior qualidade ao material frente aos processos automatizados. Afinal, de acordo com a abordagem Bo2W, o cenário mais desejável nessa cadeia (maior recuperação de ouro e outros metais preciosos) é alcançado pela combinação de desmantelamento 100% manual com instalações de refinaria no estado-da-arte para o processamento final.

O capítulo três dessa dissertação menciona a absorção de tecnologia das EMNs estrangeiras pelas empresas locais depender de um nível mínimo de capital humano acumulado bem como de infraestrutura (NARULA & PORTELLI, 2004). Junto a isso, a acumulação de conhecimento exige a presença de instituições e agentes econômicos determinantes para tal processo. No caso dos REEE, uma pesquisa realizada por Mazon *et al.* (2012) no diretório de projetos do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) mostra que a quantidade de capital humano e projetos especializados em reciclagem de REEE e *ciclo de vida* de equipamentos eletroeletrônicos ainda é muito deficiente no Brasil. Quanto aos problemas de infraestrutura enfrentado pelo país, esses já foram explicitados.<sup>54</sup> Em suma, a ineficiente capacidade de absorção tecnológica do Brasil reflete a dificuldade dos atores regulatórios e econômicos em conciliar os recursos já existentes com aqueles exploráveis.

Existiria também a possibilidade de, ao fazerem investimentos produtivos, as EMNs instalarem laboratórios de P&D em suas subsidiárias para adaptar as tecnologias existentes ao mercado local, deixando as atividades intensivas em capital e conhecimento ainda sob

---

<sup>54</sup> “Portanto, as políticas de atração devem ser abordadas a partir de uma perspectiva ampla que vai da formação de recursos humanos de alto nível a incentivos eventuais, passando por investimentos em infraestrutura, pela política de compras do Estado, pela divulgação e marketing do país, entre outros”. (QUEIROZ & QUADROS, 2005, p. 57).

controle das matrizes (CARLSSON, 2005).<sup>55</sup> Entretanto, de acordo com a subsidiária da empresa de Cingapura, não há perspectiva de transferência tecnológica por parte da matriz para a filial, sendo restritas as possibilidades dessas EMNs serem um canal importante para a transferência de tecnologias de processamento final de REEE para as empresas brasileiras.

Por outro lado, o fato das subsidiárias não terem como horizonte a implantação de processos de refino de metais no Brasil abre um grande espaço para as recicladoras de capital nacional atuarem nesse mercado (especialmente a multinacional e aquelas pertencentes a grandes grupos) e outras empresas do ramo de tecnologia de materiais e/ou de mineração.

Os resultados do estudo de campo sobre o potencial de mercado de tecnologias de processamento-final de REEE no Brasil vão ao encontro daqueles obtidos pelo estudo realizado por UNEP (2009).<sup>56</sup> O estudo classifica o potencial brasileiro para implantação de indústrias de fundição de metais não ferrosos como “médio” e como “alto” o potencial de refinarias de alumínio.

Como mencionado no capítulo dois, já existem empresas de mineração em alguns países em desenvolvimento, como Índia e China, que realizam o tratamento de frações metálicas provindas de REEE, como aço, cobre e alumínio. Entretanto, essas operações de refino possuem limites técnicos para o tratamento de materiais complexos, apresentando baixa taxa de reciclabilidade. Essas tecnologias de refino de metais, já presentes em alguns países em desenvolvimento, não podem ser consideradas suficientemente inovadoras quando, apesar de serem limpas de emissões, são ineficientes em termos de recuperação de metais.

Dados os altos investimentos necessários para a construção de plantas especializadas, a consolidação e desenvolvimento do mercado em questão depende diretamente dos altos volumes de REEE a serem coletados, sejam domesticamente ou por

---

<sup>55</sup> Evidentemente, questões estruturais de cunho político e econômico específicas fazem com que a inserção de cada país nesse processo se dê de diferentes formas, variando desde centros de P&D voltados a adaptações tecnológica – mais do que o fortalecimento do seu aprendizado tecnológico – até outros cuja estratégia é a de incorporação do conhecimento possibilitado pela internacionalização de P&D.

<sup>56</sup> O Quadro 2.6, presente no capítulo dois, sistematiza os resultados dessa pesquisa para diversos países em desenvolvimento.

rotas comerciais internacionais. Junto à implementação da regulação, é fundamental que sejam disponibilizadas linhas de crédito que permitam a expansão dessas empresas, tanto no sentido de sua capacidade produtiva e tecnológica, quanto no sentido de permitir uma melhor distribuição das recicladoras em território brasileiro, diminuindo os custos com transporte de REEE.

Outra iniciativa fundamental é a promoção de pesquisas voltadas ao desenvolvimento de novas técnicas de reciclagem de REEE, mais eficientes e com menor impacto ambiental, por meio da articulação de linhas de pesquisa de órgãos de fomentos nacionais e estaduais. Das empresas de capital nacional entrevistadas apenas uma possui uma parceria formal com um centro de pesquisa para desenvolvimento de tecnologia conjunta, cujo objetivo é a extração de chumbo que está impregnado no vidro de cinescópio.

Além do desenvolvimento de tecnologias de reciclagem e de recuperação de metais provenientes de REEE, o fomento de novas pesquisas acadêmicas devem incluir métodos para análise do *ciclo de vida* de equipamentos eletroeletrônicos, e de *ecodesign*. Esses esforços podem gerar inovações de processo na produção de eletroeletrônicos no sentido de restringir o uso de substâncias perigosas nesses equipamentos.

Em meio à recente regulação (PNRS) e ao embrionário mercado de REEE no Brasil, as universidades e os institutos de pesquisa deveriam atuar efetivamente como “*knowledge hubs*” para o melhor posicionamento do Brasil nessa cadeia. É importante destacar que existem diferentes tipos de conexão entre academia e empresas: ao mesmo tempo em que as universidades ofertam às empresas acesso à mão de obra qualificada, as empresas demandam da academia a solução de problemas práticos, contribuindo para a geração de conhecimento. Nesse processo, os dois tipos de instituições funcionariam como mediadores centrais dessas interações (LEHMANN et al, 2005).

Ações de *capacity-building* também deveriam passar pela participação brasileira em projetos internacionais de cooperação como aqueles promovidos pelos Centros Regionais da Convenção de Basileia, o *Global e-Sustainability Initiative* (GeSI) e o Programa *Solving the E-waste Problem* (STEP). Ou seja, a difusão dessas tecnologias em economias emergentes depende da interação entre os vários atores nas áreas de ciência e tecnologia

(nacionais e internacionais), do mercado, da legislação e da sociedade, no sentido de consolidar uma rede de inovação.

Após a pesquisa de campo remanesce a seguinte questão: no médio e longo prazo, em condições que favoreçam o desenvolvimento da indústria de REEE no Brasil, seriam as próprias recicladoras de REEE as atuantes no processamento final destes resíduos? Afinal, em países desenvolvidos, as empresas responsáveis por esta etapa da cadeia são atuantes não apenas na área de reciclagem, mas também nas de engenharia de materiais, química, metalurgia e mineração, sendo os REEE, portanto, apenas um dos seus vários nichos. Por exemplo, a “Umicore”, empresa belga entre as mais conhecidas na recuperação de materiais preciosos, atua em quatro frentes: catálise (catálise automotiva, química de metais preciosos), performance de materiais (produtos de construção, produtos químicos de zinco, materiais técnicos, galvanoplastia, materiais de platina), materiais energéticos (cobalto e materiais especiais, materiais eletro-ópticos, materiais de baterias recarregáveis, produtos de filme fino) e, por fim, reciclagem (refino de metais preciosos, reciclagem de baterias, joias e metais industriais).<sup>57</sup>

No caso brasileiro fica a questão se seriam grandes grupos nacionais de reciclagem que desempenhariam o refino de metais mais nobres; se seriam as próprias subsidiárias de EMNs aqui instaladas; ou se seriam outras empresas tais como mineradoras, a exemplo da Vale do Rio Doce, no intuito de expandirem suas atividades para a recuperação de metais de base secundária. No que diz respeito à primeira e segunda possibilidade (recicladoras de grandes grupos nacionais e recicladoras subsidiárias de EMNs), este estudo levantou pressupostos e condições necessárias para o desenvolvimento deste mercado no Brasil; no que diz respeito à possibilidade desta empreitada por parte de empresas pertencentes a outros ramos, como mineração, caberá a pesquisas futuras estudos de sua viabilidade.

A pesquisa de campo constata, então, que a reciclagem de REEE no Brasil é incipiente e seu mercado não está consolidado. Entretanto, apesar do país ainda não possuir tecnologias para o processo completo de reciclagem, possui um potencial significativo para a adaptação de tecnologias de pré-processamento (semi-automatizadas) e de tecnologias de processamento final.

---

<sup>57</sup> Informações retiradas do site da empresa: <http://www.unicore.com.br>

Essa via de *catching-up* na cadeia global de reciclagem de REEE se mostra mais provável por meio de forte intervenção estatal e da maturidade da regulação vigente (PNRS) do que pela possibilidade de aprendizagem tecnológica alavancada pela presença de EMNs nesse mercado. Nesse sentido, a criação de mecanismos de *capacity-building* se mostra fundamental para o desenvolvimento da cadeia de REEE no Brasil, por meio do fomento, coordenação e fortalecimento das capacidades regionais já existentes.

## CONCLUSÕES

Esta dissertação, ao conferir aos REEE o *status* de *commodities*, possibilita a compreensão de como a geografia da divisão internacional do trabalho desempenha um papel crucial para a transformação do que é “lixo” em determinado país, se tornar “valor” em outro. Esse entendimento sugere que a cadeia de reciclagem de REEE, ao transformar esses resíduos em metais ferrosos e não-ferrosos, permite com que o fluxo de matérias-primas utilizadas pela indústria eletroeletrônica seja cíclico; portanto, os REEE não são somente um passivo ambiental frente a sua periculosidade, mas também carregam um alto potencial de valor agregado.

Ao abordar os REEE como parte da base mundial de recursos naturais secundários, o estudo possibilita o diálogo com linhas de análise que interpretam os recursos naturais a partir de um conceito dinâmico, cuja disponibilidade não dependeria apenas de fatores geográficos, mas também de fatores endógenos, tecnológicos e economicamente construídos. Essa alternativa à dependência da disponibilidade geográfica de metais explica o interesse de países desenvolvidos nessa indústria de reciclagem, que vai além da necessidade de destinação ambientalmente correta dos REEE – questão, evidentemente, de grande importância.

A expansão do mercado de equipamentos eletroeletrônicos e o aumento dos fluxos ilegais de REEE levaram, a partir dos anos 90, à criação de regulações específicas em vários países. A comparação entre as principais regulações de REEE permitiu o entendimento de como os vários atores dessa cadeia (sociedade, empresas privadas e governo) se articulam institucionalmente, no sentido de criar e fortalecer o mercado formal de reciclagem em um determinado país.

As assimetrias tecno-econômicas e *gaps* temporais de implementação e maturação da regulação entre países desenvolvidos e em desenvolvimento se traduzem em ganhos competitivos no comércio global para o primeiro grupo. Essas condições afetam tanto a indústria de reciclagem, conforme explicitado por esta dissertação, quanto a indústria de equipamentos eletroeletrônicos. Essa análise se mostra de grande contribuição para as discussões sobre REEE no Brasil, cujo momento é de implantação de sua Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Além da necessidade de forte regulação, a viabilidade dos sistemas de gestão de REEE nos países em desenvolvimento depende, em grande medida, da disponibilidade de tecnologias de pré-processamento e de processamento final, no sentido de maximizarem a recuperação de materiais e de minimizarem os riscos ambientais envolvidos.

Por meio das categorias de fluxo de material utilizadas pelos estudos do Programa STEP, em que o processo de reciclagem de REEE é subdividido em três níveis, constata-se que o primeiro e o segundo nível de reciclagem, referentes às etapas de pré-processamento, são pouco intensivos em tecnologia e encontram-se majoritariamente em países menos desenvolvidos. No que diz respeito ao setor formal, esses dois níveis de reciclagem de REEE se fazem presentes naqueles países por meio de técnicas manuais de desmontagem e separação, e dificilmente por meio de processos automáticos mais avançados como de degaseificação de CFCs e semiautomáticas de corte e limpeza de cinescópio. Já o terceiro nível de reciclagem, referente à etapa de processamento final de metais preciosos, é intensivo em capital e está disponível majoritariamente para países desenvolvidos; quando muito, alguns países em desenvolvimento possuem recicladoras formais para frações metálicas mais simples, como aço, cobre e alumínio, mas não para placas de circuito impresso.

Esse estudo contribui com constatações que vão além do fato de que o processo de reciclagem de REEE está segmentado em diferentes regiões geográficas. A descrição do fluxo de comércio internacional desses resíduos mostra não só ter ocorrido o aumento considerável de suas transações, mas também que seus atores passaram a atuar por meio de estratégias em rede, com a utilização mais vantajosa e eficiente de recursos.

Diante desse quadro, a presente dissertação analisou o comércio internacional de REEE pela abordagem de **cadeia global**. As diferentes possibilidades de inserção na cadeia global de REEE incitam debates sobre quais seriam as condições mais eficientes de utilização de recursos e de obtenção de ganhos ambientais por parte de países em desenvolvimento, frente suas barreiras técnico-econômicas. Verificou-se que a mais conhecida dessas abordagens é a “*The Best-of-2-Worlds*” (Bo2W), cujo melhor cenário possível, em termos econômicos e ambientais, é aquele que combina desmantelamento 100% manual com instalações de refinaria no estado-da-arte para o processamento final.

O estudo elabora uma crítica às premissas do Bo2W, por estas se basearem nas teorias de comércio internacional neoclássicas das “vantagens comparativas”, nas quais os países deveriam se especializar na exportação de mercadorias intensivas em seus fatores de produção mais abundantes. Ou seja, países menos desenvolvidos, intensivos em mão-de-obra, deveriam se especializar nas etapas de dismantelamento manual ou semiautomático e, países desenvolvidos, intensivos em capital, deveriam se especializar no tratamento de metais preciosos. De acordo com a Bo2W e com as premissas das vantagens comparativas, conseqüentemente, os benefícios vinculados ao tratamento e refino de metais seriam usufruídos por todos os países participantes da cadeia de reciclagem de REEE, inclusive os menos desenvolvidos, atingindo o que seria “o melhor dos dois mundos”.

A abordagem Bo2W se mostra problemática quando analisada por alguns fundamentos do pensamento cepalino, no sentido das teorias das vantagens comparativas não levar em conta que suas recomendações a países periféricos são muito desfavoráveis se comparadas a dos países do centro. Essa deterioração dos termos de troca no comércio de REEE se mostra evidente, quando esses são vendidos como “sucatas” por países periféricos para serem transformados em “metais” por países centrais. Conclui-se, assim, que o modelo Bo2W reproduz a lógica de dependência tecnológica dos países periféricos.

Justapondo essa concepção, o presente estudo recomenda que recicladoras de REEE de países menos desenvolvidos incrementem esforços não no sentido de se especializarem em atividades de pré-processamento manual, mas no sentido de se desenvolverem industrialmente nas áreas de refino e metalurgia. Dado que as tecnologias de reciclagem e de tratamento de REEE nem sempre estão disponíveis para países menos desenvolvidos, levantou-se qual poderia ser o papel desempenhado pelas subsidiárias de recicladoras de REEE instaladas nesses países em termos de transferência tecnológica, uma vez que suas matrizes possuem *expertise* em processamento final. Afinal, na América Latina, e especialmente no Brasil, há um forte potencial de mercado dado o significativo volume de REEE disponível e à formação de um mercado formal de reciclagem.

O estudo de caso com recicladoras nacionais de REEE e multinacionais instaladas no Brasil evidenciou que o primeiro grupo exerce atividades majoritariamente manuais, ou de menor conteúdo tecnológico, e contam com instalações de outros países (Japão,

Cingapura, Bélgica) para a realização do processamento final de placas de circuito impresso; já as subsidiárias de recicladoras de REEE realizam as etapas de processamento final, ou mesmo as etapas de pré-processamento, nas matrizes ou em outras empresas de capital estrangeiro. Ou seja, **enquanto o core das subsidiárias multinacionais é a exportação de placas, o das recicladoras nacionais é a venda de outros materiais finais menos complexos, como plásticos, vidros e cabos.**

O presente estudo identifica, então, que a cadeia de reciclagem de REEE no Brasil está submetida a uma lógica de divisão internacional do trabalho. Significa dizer que, apesar de algumas recicladoras possuírem processos semiautomáticos como de degaseificação de CFCs e de corte e limpeza de cinescópio, o país enfrenta limites para o tratamento de materiais complexos. Além das barreiras de acesso a *know-how*, de acordo com as empresas entrevistadas, a oferta de REEE ainda é insatisfatória frente à base instalada, o que interferiria nas decisões de investimento. Evidentemente, o volume considerável de resíduos coletados depende não só dos livres fluxos do comércio internacional, mas principalmente de regulamentação.

Sobre a possibilidade de ocorrer *spillovers* tecnológicos decorrentes da presença de recicladoras de REEE multinacionais no Brasil, conclui-se que as recicladoras de capital nacional não têm aprendido com as de capital estrangeiro, ainda que indiretamente, dado que as placas de circuito impresso são vendidas em estado bruto, sem que hajam prerrogativas para *upgrades* em processos tecnológicos. Isso porque a existência de uma divisão internacional do trabalho e, portanto, da disparidade entre o que é vendido como “sucata” em um lugar e como “metal” em outro, faz com que a cadeia de REEE não esteja sujeita a padrões de exigência de qualidade e de preço.

Ademais, a subsidiária entrevistada confirmou não haver perspectiva de transferência tecnológica no sentido matriz-filial. É, portanto, crucial, especialmente no contexto de intensa concorrência de Investimento Direto Externo (IDE), que países em desenvolvimento formulem políticas para fomentar o desenvolvimento de capacidades locais, a fim de maximizar os benefícios das EMNs ao longo da trajetória de desenvolvimento desses países.

Por ora, as vias de *catching-up* na cadeia global de reciclagem de REEE para o Brasil se mostram mais certas por meio da intervenção estatal e do fortalecimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) do que pelas vias de aprendizagem tecnológica alavancada pela presença de EMNs nesse mercado. Portanto, no caso das tecnologias de reciclagem, sejam elas incrementais ou de ruptura, as regulações exercem papel central na sua disseminação.

Ademais, transferências tecnológicas e processos de *capacity-building* são instrumentos essenciais para o desenvolvimento da cadeia de REEE em economias emergentes por meio do fomento, coordenação e fortalecimento das capacidades regionais já existentes. Caberá a estudos futuros compreender em maior profundidade quais tipos de regulação e incentivos em C&T seriam mais eficazes para o desenvolvimento de tecnologias voltadas à reciclagem de REEE. Recomenda-se que estes estudos também considerem a participação do setor informal na construção do marco regulatório, bem como seu papel nas etapas de coleta, separação e desmantelamento.

Esta pesquisa também considerou a possibilidade de empresas de outros ramos, como mineradoras, metalúrgicas, químicas e de engenharia de materiais, também serem atores potenciais no Brasil para o refino de metais nobres provenientes de REEE. Fica à cargo de estudos futuros a averiguação de tal possibilidade.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos: Análise de Viabilidade Técnica e Econômica**. Brasília: ABDI, 2012.

ALMEIDA, L. **Harmonização internacional de regulações ambientais: um estudo da petroquímica brasileira**. Tese (doutorado). Instituto de Economia, Universidade de Campinas, Unicamp, Campinas, 2001.

ANSANELLI, S. **Os impactos das exigências ambientais europeias para equipamentos eletroeletrônicos sobre o Brasil**. Tese (doutorado). Instituto de Economia, Universidade de Campinas, Unicamp, Campinas, 2008.

ANSANELLI, S. Exigências Ambientais Europeias: Novos desafios competitivos para o complexo eletrônico brasileiro. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 10, n° 1, p. 129-160, jun. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA (ABINEE). **Panorama Econômico e Desempenho Setorial**. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/programas/50anos/public/panorama/index.htm#/1/>>. Acesso em 03 set. 2013.

BAMPI, S. (Coord.). **Perspectivas do investimento em eletrônica**. Rio de Janeiro: UFRJ, Instituto de Economia, 2008/2009. 272 p. Relatório integrante da pesquisa “Perspectivas do Investimento no Brasil”, em parceria com o Instituto de Economia da UNICAMP, financiada pelo BNDES. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/em\\_presa/pesquisa/pib/pib\\_eletronica.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/em_presa/pesquisa/pib/pib_eletronica.pdf)> . Acesso em 06 jan. 2014.

BOKS, C. The soft side of EcoDesign. **Journal of Cleaner Production**, v.14, p. 1346-1356, 2006.

BRASIL. Decreto-lei nº 875, de 19 de julho de 1993. Promulga o texto da Convenção sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito, em Basiléia em 22 de março de 1989. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/D0875.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D0875.htm)>. Acesso em: 08 out. 2013.

BRASIL. Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF.

BRASIL. Decreto Federal nº 7404, de 23 de dezembro de 2010. 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. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm)>. Acesso em: 08 out. 2013.

BULOW, J. An Economic Theory of Planned Obsolescence. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 101, p. 729-749, 1986.

- CARLSSON, B. Internationalization of innovation systems: A survey of the literature. **Research Policy**, v. 35, p. 56-67, fev. 2005.
- COMUNIDADE EUROPEIA. Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment. **Official Journal of the European Union**. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:037:0019:0023:en:PDF>>. Acesso em: 08 out.2013.
- COMUNIDADE EUROPEIA. Diretiva 2002/96/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de Janeiro de 2003. Relativa aos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE). **Jornal Oficial da União Europeia**. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:037:0024:0038:pt:PDF>>. Acesso em 08 out. 2013.
- CORAZZA, R.; ARAÚJO, T. A reinvenção de Malthus no renascimento do ambientalismo. **Revista Economia Ensaios**, v. 24, n. 1, p. 1-19, 2009.
- DEDRICK, J; KRAEMER, K.; LINDEN, G. Who Profits from Innovation in Global Value Chains? A Study of the iPod and notebook PCs. SLOAN INDUSTRY STUDIES ANNUAL CONFERENCE, 2008, Boston. Disponível em: <[http://web.mit.edu/is08/pdf/Dedrick\\_Kraemer\\_Linden.pdf](http://web.mit.edu/is08/pdf/Dedrick_Kraemer_Linden.pdf)>. Acesso em: 07 jan. 2014.
- E-LIXO MAPS. Banco de dados. Disponível em: <[www.e-lixo.org](http://www.e-lixo.org)>. Acesso em 04 jun. 2012.
- EXPORTING Harm: The High-Tech Trashing of Asia. An Investigation by the Basel Action Network. Basel Action, 2003. Eletrônico. Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=yDSWGV3jGek>>. Acesso em: 08 out. 2013.
- FORAY, D. ; GRÜBLER, A. Technology and the environment: an overview. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 53, p. 3-13, set. 1996.
- FURTADO, C. **A nova dependência: dívida externa e monetarismo**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1982.
- FURTADO, C. **O capitalismo global**. Paz e Terra: São Paulo, 1998.
- GEREFFI, G. International trade and industrial upgrading in the apparel commodity chain. **Journal of International Economics**, v. 48, p. 37 - 70, 1999.
- HUMPHREY, J.; SCHMITZ, H. **Governance and upgrading: linking industrial cluster and global value chain research**. Institute of Development Studies, Brighton, 2000. Disponível em: <<http://www.ids.ac.uk/files/Wp120.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2013.
- HUMPHREY, J.; SCHMITZ, H. How does insertion in global value chains affect upgrading in industrial clusters?. **Regional Studies**, v. 36, n. 9, p. 1017 – 1027, mar. 2001.

LEHMANN, M., CHRISTENSEN, P.; JOHNSON, B.. Partnerships and sustainable regional innovation systems: special roles for universities?. In: SARKIS, J; CORDEIRO, J.; VÁZQUEZ, D. (Org.). **Facilitating sustainable innovation through collaboration**. Dordrecht: Springer, 2010. P. 41 - 58.

LEPAWSKY, J.; MCNABB, C. Mapping international flows of electronic waste. **The Canadian Geographer**, v. 54, n 2, p. 177 – 195, 2010.

MAGALINI, F.; HUISMAN, J. Management of WEEE & cost models across the EU: could the EPR principle lead us to a better environmental policy?. Proceedings of the 2007 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTRONICS & THE ENVIRONMENT, 2007, Orlando. **Anais Electronics & the Environment, Proceedings of the 2007 IEEE International Symposium**, Orlando, p. 143 – 148, 2007.

MANHART, A. International Cooperation for Metal Recycling From Waste Electrical and Electronic Equipment. **Journal of Industrial Ecology**, v.15, n.1, p. 13 - 30, 2010.

MARIN, A.; ARZA, V. The role of multinational corporation in national innovation systems in developing countries: from technology diffusion to international involvement. In: LUNDVALL, A., JOSEPH, K., CHAMINADE, C.; VANG, J. (Org.). **Handbook of innovation systems and developing countries: building domestic capabilities in a global setting**. Cheltenham: Edward Elgar, p. 280 – 310, 2009.

MAZON, M.; AZEVEDO, A.; PEREIRA, N.; SILVEIRA, M. Does Environmental Regulation Foster the Diffusion of Collaborative Innovations? A study on electronics waste regulation on Brazill. In: THE TRIPLE HELIX 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE, 10., 2012, Bandung. **Anais The Triple Helix 10th International Conference**, Bandung, vol. 1, p. 386, 2012.

MAZON, M.; AZEVEDO, A.; PEREIRA, M.; SILVEIRA, M. Adequação às regulações ambientais de resíduos eletroeletrônicos: da cadeia produtiva ao consumidor final no setor de equipamentos eletromédicos. In: III CONGRESO INTERNACIONAL DE GESTIÓN TECNOLÓGICA E INNOVACION, 2012, Medellín. **III Congreso Internacional de Gestión Tecnológica e Innovacion: Competitividad en los Mercados Abiertos**, v. 1, p. 86, 2012.

MILLER, R.; GREGORY, J.; DUAN, H., KIRCHAIN, R. **Characterizing Transboundary Flows of Used Electronics: Summary Report**. Massachusetts Institute of Technology, 2012. Disponível em: <<http://msl.mit.edu/publications/CharacterizingTransboundaryFlowsofUsedElectronicsWorkshopSummaryReport%201-2012.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2013.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **2a Reunião do Grupo de Trabalho Temático-Eletroeletrônicos**. Memória de reunião, 2011. Disponível em: <[http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl\\_1314735205.pdf](http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl_1314735205.pdf)>. Acesso em: 02 dez. 2012.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **3a Reunião do Grupo de Trabalho Temático-Eletroeletrônicos**. Memória de reunião, 2011. Disponível em: <[http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl\\_1314738871.pdf](http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl_1314738871.pdf)>. Acesso em: 02 dez. 2012.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **4a Reunião do Grupo de Trabalho Temático-Eletroeletrônicos**. Memória de reunião, 2011. Disponível em: <[http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl\\_1318360770.pdf](http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl_1318360770.pdf)>. Acesso em: 02 dez. 2012.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. □ **5a Reunião do Grupo de Trabalho Temático-Eletroeletrônicos**. Memória de reunião, 2011. Disponível em: <[http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl\\_1320088836.pdf](http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl_1320088836.pdf)>. Acesso em: 02 dez. 2012.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **6a Reunião do Grupo de Trabalho Temático-Eletroeletrônicos**. Memória de reunião, 2011. Disponível em: <[http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl\\_1325249456.pdf](http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl_1325249456.pdf)>. Acesso em: 02 dez. 2012.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **8a Reunião do Grupo de Trabalho Temático-Eletroeletrônicos**. Memória de reunião, 2012. Disponível em: <[http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl\\_1334845243.pdf](http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl_1334845243.pdf)>. Acesso em: 02 dez. 2012.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **9a Reunião do Grupo de Trabalho Temático-Eletroeletrônicos**. Memória de reunião, 2012. Disponível em: <[http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl\\_1339596773.pdf](http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl_1339596773.pdf)>. Acesso em: 02 dez. 2012.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **10a Reunião do Grupo de Trabalho Temático-Eletroeletrônicos**. Memória de reunião, 2012. Disponível em: <[http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl\\_1346335948.pdf](http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1346335948.pdf)>. Acesso em: 03 jun. 2013.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **11a Reunião do Grupo de Trabalho Temático-Eletroeletrônicos**. Memória de reunião, 2012. Disponível em: <[http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl\\_1377718533.pdf](http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl_1377718533.pdf)>. Acesso em: 03 jun. 2013.

NARULA, R.; PORTELLI, B. **Foreign direct investment and economic development: Opportunities and limitations from a developing country perspective**. UNU-Merit Infonomics Research Memorandum. Maastricht: UNU-Merit, 2004. Disponível em: <<http://www.merit.unu.edu/publications/rmpdf/2004/rm2004-009.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2013.

OLIVEIRA, C.; BERNARDES, A.; GERBASE, A. Collection and Recycling of electronic scrap: A worldwide overview and comparison with the Brazilian situation. **Waste Management**, n 32, p. 1592-1611, 2012.

PREBISCH, R. O desenvolvimento econômico da América Latina e seus principais problemas. **Revista Brasileira de Economia**, v. 3, n. 3, p. 47 - 111, 1949.

QUEIROZ, S.; QUADROS, R. Empresas multinacionais e inovação tecnológica no Brasil. **São Paulo em Perspectiva**, v. 19, p. 51-59, 2005.

ROCHAT, D. RODRIGUES, W. GANTENBEIN, A. Índia: Including the existing informal sector in a clean e-waste channel. In: PROCEEDINGS OF THE 19TH WASTE MANAGEMENT CONFERENCE OF THE IWMSA, 19., 2008, Durban. Disponível em: <[http://ewasteguide.info/Rochat\\_2008\\_WasteCon](http://ewasteguide.info/Rochat_2008_WasteCon)>. Acesso em: 02 mai. 2012.

ROSE, C.M. **Design for environment: a method for formulating product end-of-life strategies**. Tese (doutorado). Department of Mechanical Engineering at Stanford University, Stanford, 2000.

SILVA, B; MARTINS, D.; OLIVEIRA, F. **Resíduos Eletroeletrônicos no Brasil**. Santo André, 2007. Disponível em: <[http://lixoeletronico.org/system/files/lixoeletronico\\_02.pdf](http://lixoeletronico.org/system/files/lixoeletronico_02.pdf)>. Acesso em: 08 out. 2013.

SILVEIRA, M. Gestão da Sustentabilidade em Ecosistema Organizacional: Caso Ilustrativo na Indústria Eletrônica. In: SILVEIRA, M.; AZEVEDO, A. (Org.). **Gestão da Sustentabilidade Organizacional: Desenvolvimento de Ecosistemas Colaborativos**. Cedet: Campinas, v. 1, p. 189-206, 2011.

THE DIGITAL Dump: Exporting Reuse and Abuse to Africa. Basel Action, 2005. Eletrônico. Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=8tVdTBnBXw0>>. Acesso em: 08 out. 2013.

TOJO, N.; FISCHER, C. **Europe as a Recycling Society: European Recycling Policies in relation to the actual recycling achieved**. ETC/SCP working paper: European Topic Centre on Sustainable Consumption and Production, 2011. Disponível em: <<http://scp.eionet.europa.eu/wp/ETCSCP%202per2011>>. Acesso em: 08 out. 2013.

UMEDA, Y. NONOMURA, A.; TOMIYAMA, T. Study on life-cycle design for the post mass production paradigm. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, v. 14, n. 2, pp.149 -161, 2000.

UNIÃO EUROPEIA. 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). **Jornal Oficial da União Europeia**. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:197:0038:0071:PT:PDF>>. Acesso em: 08 out. 2013.

UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT (UNCTAD). **World Investment Report 1994**. Geneva: United Nations, 1994).

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Global Environment Outlook 3**. UNEP, Earthscan Pub. Ltd., London Sterling VA, 2002. Disponível em: <<http://www.unep.org/geo/geo3/pdfs/Chapter1.pdf>>. Acesso em: 04 mar. 2013.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **E-waste: Inventory assessment manual**. Vol. 1 (a), 2007. Disponível em: [http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/spc/EWasteManual\\_Vol1.pdf](http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/spc/EWasteManual_Vol1.pdf). Acesso em: 17 de jan. 2013.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **E-waste management manual**. Vol. 2 (b), 2007. Disponível em: <[http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/spc/EWasteManual\\_Vol2.pdf](http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/spc/EWasteManual_Vol2.pdf)>. Acesso em: 13 de fev. 2013.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Recycling: From E-waste to Resources**. Sustainable Innovation and Technology Transfer Industrial Sector Studies, 2009. Disponível em: <[http://www.unep.org/PDF/PressReleases/E-Waste\\_publication\\_screen\\_FINALVERSION-sml.pdf](http://www.unep.org/PDF/PressReleases/E-Waste_publication_screen_FINALVERSION-sml.pdf)>. Acesso em: 02 jan. 2013.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Green paper on E-waste indicators**. Solving the E-Waste Problem (StEP) green paper, 2011. Disponível em: <[http://www.step-initiative.org/tl\\_files/step/\\_documents/StEP\\_GP\\_Indicators.pdf](http://www.step-initiative.org/tl_files/step/_documents/StEP_GP_Indicators.pdf)>. Acesso em: 01 abr. 2013.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **WEEE/E-waste Take Back System**. Vol. 3. United Nations Environmental Programme Division of Technology, Industry and Economics International Environmental Technology Centre Osaka, 2012. Disponível em: <<http://www.unep.org/ietc/InformationResources/Publications/E-wasteManual3/tabid/130121/Default.aspx>>. Acesso em: 06 jan. 2014.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Banco de dados. Disponível em: <<http://www.epa.gov/research/landscience>>. Acesso em 27 ago. 2013.

WANG, F.; HUISMAN, J.; MESKERS, C.; SCHLUEP, M.; STEVELS, A. The Best-of-2-Worlds philosophy: Developing local dismantling and global infrastructure network for sustainable e-waste treatment in emerging countries. **Waste Management**, v. 32, n. 11, p. 2134 - 2146, 2012.

WEEEFORUM. **WEEELABEX normative document on Collection**. WEEELabex, 2011 a. Disponível em: <[www.weee-forum.org/system/files/weeelabex\\_v9.0\\_standard\\_on\\_treatment.pdf](http://www.weee-forum.org/system/files/weeelabex_v9.0_standard_on_treatment.pdf) WEEELABEX normative document on Collection>. Acesso em: 09 fev. 2013.

YANG, T.; PERCIVAL, R. The Emergence of Global Environmental Law. **Ecology Law Quartely**, v.36, p. 615 - 664, 2009.

**APÊNDICE A - Pontos de coleta no estado de São Paulo cadastrados no site e-lixo  
maps (2012)**

<b>Pontos de coleta</b>	<b>Cidade (SP)</b>
1. A.S.M. Informática	Bom Jesus dos Perdões
2. A2 Informática	Atibaia
3. ABRE – Associação Brasileira de Distribuição de Excedentes	São Paulo
4. All Trash Brasil Logística Reversa	São Paulo
5. Ambiente Standard	Campinas
6. Ativa Reciclagem	Guarulhos
7. Avalon Informática	Santo André
8. Baraldi Informática	Bragança Paulista
9. Brag Cell	Bragança Paulista
10. C&A*	Cotia, São Paulo, Indaiatuba, Hortolândia, Campinas, Santa Bárbara do Oeste, São Caetano do Sul, São Bernardo do Campo, Marília, Araçatuba, São Vicente, Limeira, São José dos Campos, Santo André, Guarulhos, Praia Grande, Mauá, Jundia, Presidente Prudente, Bauru, Santos, São Carlos, Araraquara, Mogi das Cruzes, Piracicaba, Ribeirão Preto, Suzano, Itu, Taboão da Serra
11. Capovilla Laboratório Digital	São Paulo
12. Casa do metal	Diadema
13. CEDIR - Centro de Descarte e Reúso de Resíduos de Informática	São Paulo
14. Centro Espírita Nosso Lar - Casas André Luiz	Guarulhos
15. CEPPS - Centro De Estudos e Pesquisa em Política Sociais e Qualidade de vida	Suzano
16. CIC Norte	São Paulo
17. Cidadão Eco	São Bernardo do Campo
18. Claro	Monte Sião, Valinhos, São José do Rio Preto
19. Club Atlético Paulistano	São Paulo
20. Colégio da Estância de Atibaia	Atibaia
21. Coopamare	São Paulo
22. Cooperação	São Paulo
23. Cooperativa Cantareira Viva	São Paulo
24. Cooperativa Coopermiti	São Paulo

25. Cooperativa dos Agentes Ambientais Cooper Zagati	Taboão da Serra
26. Cooperativa Recicla Pirituba	São Paulo
27. Cooperativa Vitória da Penha	São Paulo
28. Cooperglicério	São Paulo
29. Cooperlagos	São José do Rio Preto
30. Coopersol - Cooperativa dos Recicladores Sólidos de Lins	Lins
31. Drogaria São Paulo*	São Paulo
32. Duall computadores	Sorocaba
33. Eco Digital	São Paulo
34. Ecocheck - Datacheck Informatica Ltda	Carapicuíba
35. Ecotronic	Campinas
36. EHMP Informática	Atibaia
37. Eletrolixo	Bauru
38. Espaço Social Oxigênio Guarulhos	Guarulhos
39. Faculdades Integradas Dr. Antonio Eufrásio de Toledo	Presidente Prudente
40. Foxreciclagem	Itu
41. Franca Shopping	Franca
42. Fundação Dorina Nowill para Cegos	São Paulo
43. Gauss Telecom	São Paulo
44. Geard Informática	Bragança Paulista
45. Grupo Itaipu O Shopping da Construção	Mogi das Cruzes
46. Hamzo Informática	São Paulo
47. Hand Cell	São Paulo
48. Hequipel Informática Ltda	Santo André
49. Horto Municipal de Lins	Lins
50. Inforeciclagem	Piracaia
51. Intention 8 - Arquitetura Sustentável	Atibaia
52. Kavalero Informática	Bragança Paulista
53. Laud Comp Comércio de Informática Ltda	São Paulo
54. Led - reciclagem tecnológica	Mococa
55. Megacenter celulares	Marília
56. Metareciclagem	Sorocaba
57. Museu do Computador	São Paulo
58. Notebook Show/Techtext	São Paulo
59. Oi*	Ribeirão Preto, Campinas, Americana, Marília, Guarulhos, São Paulo, Araçatuba,
60. OS Itupararanga	Ibiúna

61. Peti	São Paulo
62. Porto Seguro Cia de Seguros Gerais	São Paulo, Campinas, Santos, Guarujá, Taubaté, São Bernardo do Campo, Guarulhos, Mogi das Cruzes, Santo André, Suzano, Mauá, São Caetano do Sul, Diadema, Jundia, São José dos Campos
63. Prefeitura Municipal de Lins	Lins
64. Prefeitura Municipal de Porto Ferreira	Porto Ferreira
65. R. Valdivino Sucatas	Salto
66. RCI Telecom (Nokia)	São Paulo
67. RCR Ambiental	Hortolândia
68. Recicl@tesc - Reciclagem Tecnológica	São Carlos
69. Recicler Planet	Campinas
70. Reciclo Metais Com de Resíduos Sólidos Ltda - Reciclo Ambiental	São Paulo
71. Recifran	São Paulo
72. Reviravolta Coorpel	São Paulo
73. Rio Preto Shopping	São José do Rio Preto
74. Sanlien - Exportadora e Importadora Ltda	São Paulo
75. Scartare	Americana
76. Shopping Rio claro	Rio Claro
77. Shopping Taubaté	Taubaté
78. Silcon Ambiente	São Paulo
79. Star Pel	Taboão da Serra
80. Supermercado Tauste	Marília, Bauru
81. Tim*	Ribeirão Preto, Mogi Guaçu, Campinas, Andradina, Birigui, Matão, Araraquara, Assis, Avaré, Marília, Lençóis Paulista, Bauru, Botucatu, São Vicente, Cubatão, Pindamonhangaba, Taubaté, Presidente Prudente, Jaú, Leme, Limeira, Piracicaba, Bebedouro, São José do Rio Preto, Rio Claro, Lorena, Guarulhos, Mogi das Cruzes, Suzano, São Paulo, Santos, São José dos Campos, São Bernardo do Campo, Araçatuba, Mococa, Poá, Matão, Lins, Taboão da Serra
82. Urbam	São José dos Campos,
83. Valvolândia	São Paulo

84. Vertas	Mauá
85. Vip Cell	São Paulo
86. Vivo*	Ribeirão Preto, Campinas, Santa Barbara do Oeste, Araraquara, Ourinhos, Itu, São Vicente, Araras, Praia Grande, Taubaté, Jaú, Limeira, São José do Rio Preto, Franca, Guarulhos, Barueri, São Paulo, Santos, Guarujá, Jacareí, São José dos Campos, Sorocaba, Taboão da Serra, Osasco, Araçatuba, Diadema, Santo André
87. VO2 Informática	São Paulo

\* O programa de coleta não faz parte de todos os estabelecimentos do Brasil.

Fonte: Elaboração própria a partir do site <http://www.e-lixo.org> (jan/2012).

## APÊNDICE B - Recicladores de REEE atuantes no Brasil

<b>n.</b>	<b>UF</b>	<b>Município</b>	<b>Recicladora</b>
1	AM	Manaus	Essencis
2	AM	Manaus	Lorene
3	AM	Manaus	Umicore
4	DF	Brasília	Metal Nobre Reciclagem
5	DF	Brasília	DIOXIL
6	ES	Cachoeiro de Itapemirim	Silcom
7	MG	Betim	Emile
8	MG	Careaçu	Revert
9	MG	Varginha	EcoBrasil
10	MT	Cuiabá	Rcyclart
11	PR	Bandeirantes	Parcs Resíduos Eletrônicos
12	PR	Cascavel	Nova Cascavel Reciclagem
13	PR	Curitiba	Coeltrônicos Processadora de Resíduos Eletrônicos
14	PR	Curitiba	Essencis
15	PR	Curitiba	Lorene
16	PR	Curitiba	Luper
17	PR	Curitiba	Parcs
18	PR	Curitiba	SNS Sucata Eletrônica
19	PR	Fazenda Rio Grande	Hamaya do Brasil
20	PR	Londrina	MNAK Recicle
21	PR	Pato Branco	WPA
22	PR	Piraquara	RWS
23	PR	São José dos Pinhais	AMBICOM
24	RJ	Magé	Essencis
25	RJ	Três Rios	Ultra Polo
26	RS	Cachoeirinha	Trade Rcycle Comércio e Gestão de Resíduos Ltda
27	RS	Campo Bom	Otser
28	RS	Capela de Santana	Essencis
29	RS	Novo Hamburgo	Reverse
30	RS	Porto Alegre	Microreciclado – Reciclagem de Materiais
31	RS	Porto Alegre	Peacock do Brasil Comércio de Plásticos Ltda
32	RS	Porto Alegre	Sarco-Reciclagem Digital
33	RS	São Geraldo	IZN Recicle Brasil
34	SC	Araquari	Reciclatronic – Tecnologia em Reciclagem Ltda
35	SC	Blumenau	Reciclean Reciclagem de Aparelhos Eletrônicos
36	SC	Concordia	RealTEC Reciclagem
37	SC	Florianópolis	Cereel- Centro de Reciclagem de Eletroeletrônicos
38	SC	Joaçaba	Alpha Lixo Digital
39	SC	Joinville	Ceretec
40	SC	Joinville	Essencis
41	SC	Joinville	Reset Reciclagem de informática
42	SP	Americana	Descarte Certo
43	SP	Americana	TCG Brasil Reciclagem Ltda
44	SP	Americana	Umicore
45	SP	Bauru	Eletrolixo
46	SP	Cabreúva	Indústria Fox
47	SP	Caieiras	Essencis
48	SP	Campinas	Ambiente Standard

49	SP	Campinas	Cimélia
50	SP	Guarulhos	Ativa
51	SP	Guarulhos	Umicore
52	SP	Itapevi	Nova Ambiental
53	SP	Itatiba	Lixo Digital
54	SP	Jacareí	Techfive
55	SP	Juquiá	Silcon
56	SP	Mauá	Silcon
57	SP	Mauá	Vertas
58	SP	Osasco	Ativo Digital
59	SP	Paulínia	Estre - Oxil
60	SP	Pindamonhangaba	Tecori
61	SP	S. B. Do Campo	Interamerican
62	SP	São Paulo	Cedir
63	SP	São Paulo	Cooperação
64	SP	São Paulo	Cooperativa Recicla Pirituba
65	SP	São Paulo	Coopermiti
66	SP	São Paulo	Essencis
67	SP	São Paulo	Lorene
68	SP	São Paulo	Reciclo Ambiental Consultoria e Serviços Ltda
69	SP	São Paulo	Reciclo Metais
70	SP	São Paulo	San Lien
71	SP	São Paulo	SIR Company
72	SP	Suzano	Suzaquim

Fonte: Adaptado de ABDI (2012).

**APÊNDICE C - Siglas das instituições participantes das reuniões do GTT de eletroeletrônicos (Quadro 1.8)**

ABETRE - Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos  
ABIMED - Associação Brasileira da Indústria de Alta Tecnologia de Equipamentos, Produtos e Suprimentos Médico-hospitalares  
ABINEE - Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica  
ABRAS - Associação Brasileira de Supermercados Portal  
ABRASA - Agência Brasileira de Serviço e Saúde  
CDI - Comitê para Democratização da Informática  
CEMPRE - Compromisso Empresarial para a Reciclagem  
CENTCOOP - Central de Cooperativas de Materiais Recicláveis do Distrito Federal  
CNC - Confederação Nacional de Comércio  
CNI - Confederação Nacional da Indústria  
FNP - Frente Nacional de Prefeitos  
IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
INESFA - Sindicato das Empresas de Sucata de Ferro e Aço  
MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação  
MDIC - Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio  
MF - Ministério da Fazenda  
MMA - Ministério do Meio Ambiente  
MNRC - Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis  
UNASER - União Nacional dos Sindicatos e Associações das Empresas de Reciclagem



## APÊNDICE D - Questionário aplicado no trabalho de campo

### A. Caracterização da empresa

- 1.) Sua empresa é:  
( ) nacional  
( ) controlada por capital estrangeiro ou filial de multinacional (país: \_\_\_\_\_)
- 2.) Ano de fundação e breve histórico da empresa (origem da empresa, fundadores, evolução).
- 3.) Principais atividades da empresa (resíduos industriais, coleta de REEE, tratamento de REEE).
- 4.) Número de funcionários e faturamento da empresa: \_\_\_\_\_ funcionários; R\$ \_\_\_\_\_ de faturamento médio anual
- 5.) Sua empresa possui alguma certificação? Se sim, qual(is)?
- 6.) Quais categorias de REEE a empresa recebe (computador, celular, geladeira etc.)?
- 7.) Qual a origem dos REEE da empresa (especificar fornecedores)?
- 8.) Quais são os principais clientes (especificar materiais)?

### B. Mapeamento de Processos

<b>Processo I:</b> Input: Output: Técnica/Tecnologia: Descrição: Funcionários envolvidos: Nível de eficiência (tamanho e forma da partícula + taxa de alimentação):	Foto Documentação
<b>Processo II:</b> Input: Output: Técnica/Tecnologia: Descrição: Funcionários envolvidos: Nível de eficiência (tamanho e forma da partícula + taxa de alimentação):	Foto Documentação

<b>Processo III:</b> Input: Output: Técnica/Tecnologia: Descrição: Funcionários envolvidos: Nível de eficiência (tamanho e forma da partícula + taxa de alimentação):	Foto Documentação
---	-------------------

9.) Existem etapas com risco de contaminação? Se sim, quais?

10.) Caso a sua empresa seja estrangeira, como é distribuída a produção da empresa em nível mundial (matriz, filial brasileira e outras filiais)?

11.) Se a sua empresa exporta, qual é a continuidade do processo em país estrangeiro? Existe no país estrangeiro maior facilidade de processamento? Se sim, qual (is)?

### C. Avaliação Técnica e Tecnológica

12.) Considerando os objetivos da empresa, quais são os *gaps* e oportunidades tecnológicas em seus processos? Como a empresa lida com isso?

13.) Está prevista a compra de outros equipamentos e máquinas? Se sim, qual(is)?

14.) Existe algum tipo de envolvimento dos principais clientes no programa de melhoria da qualidade da empresa? Este envolvimento é formal ou informal?

15.) Quais os principais meios utilizados pela recicladora para aquisição de tecnologia de processo? Quais as razões de sua utilização?

( ) desenvolvimento próprio;

( ) licenciamento;

( ) *joint venture*;

( ) convênios com universidades e/ou centros de pesquisa (quais?)\_\_\_\_\_

( ) produtos desenvolvidos na matriz;

( ) cooperação com outras empresas (quais?)\_\_\_\_\_

( ) outros (especificar):\_\_\_\_\_

16.) A empresa oferece alguma atividade de treinamento para seus funcionários? Se sim, qual (is)?

17.) Quais os projetos de modernização da planta que se estimam prioritários para os próximos anos? Avaliar qual a necessidade de investimentos em modernização do processo produtivo para atingir competitividade internacional.

18.) A empresa tem conhecimento de políticas e incentivos governamentais voltados ao desenvolvimento de tecnologias de reciclagem? Quais são as perspectivas da empresa em relação a esse ponto?

### **C. Análise de Mercado/ Mapa fluxo de REEE**

- 19.) O principal mercado da sua empresa, em faturamento, é: ( ) nacional ( ) estrangeiro (países: \_\_\_\_\_)
- 20.) Quais os principais concorrentes da empresa por tipo de atividade?
- 21.) A empresa importa REEE ou faz uso de REEE importado? Se sim, quais materiais e de que países?
- 22.) A empresa exporta REEE? Se sim, quais materiais e para quais países?
- 23.) O material final de sua empresa é enviado para alguma recicladora exportadora? Se sim, qual (is)?
- 24.) Sua empresa pretende expandir os negócios ou exportar para o mercado externo? Por quê?
- 25.) Qual o volume e frequência das vendas? Esse valor depende de quê?
- 26.) Se a sua empresa exporta, qual (is) certificação(ões) internacional(is) sua empresa possui? Está de acordo com a Convenção de Basileia e/ou outras normas internacionais?

### **D. Avaliação do negócio**

- 27.) Quais são os fatores que interferem no custo da empresa?
- 28.) Quais são os fatores que interferem na receita da empresa?
- 29.) Existem motivações relacionadas ao custo da mão de obra no Brasil?
- 30.) Qual a relação entre o lucro derivado da exportação (se for o caso) e o lucro derivado do mercado doméstico?
- 31.) A empresa está ciente de políticas e incentivos governamentais voltados à gestão de resíduos sólidos? Quais são as perspectivas financeiras da empresa em relação a esse ponto?
- 32.) De acordo com os objetivos da empresa, existem restrições legais (por exemplo, relacionadas à certificação)? Se sim, quais?
- 33.) A empresa possui iniciativas de cunho social, como doação de equipamentos? Se sim, quais?