



Universidade Estadual Paulista  
"Júlio de Mesquita Filho"

Programa Interunidades

unesp 

Mestrado

---

Engenharia Civil e Ambiental

**PAULA RUHNKE VALÉRIO**

**AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DE EQUIPAMENTOS  
ELETROELETRÔNICOS ATRAVÉS DE INVENTÁRIO DOS MATERIAIS USADOS  
NA FABRICAÇÃO**

Sorocaba

2014

**PAULA RUHNKE VALÉRIO**

**AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DE EQUIPAMENTOS  
ELETROELETRÔNICOS ATRAVÉS DE INVENTÁRIO DOS MATERIAIS USADOS  
NA FABRICAÇÃO**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Área de Concentração Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Doninni Mancini



Sorocaba

2014

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Unesp - Campus  
Experimental de Sorocaba

Valerio, Paula Ruhnke.

Avaliação de impactos ambientais de equipamentos  
eletroeletrônicos através de inventário dos materiais  
usados na fabricação / Paula Ruhnke Valerio, 2014

87 f. : il.

Orientador: Sandro Donnini Mancini

Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual  
Paulista. Campus Experimental de Sorocaba, Sorocaba,  
2014

1. Impacto ambiental - Avaliação. 2. Resíduos  
sólidos. 3. Ciclo de vida do produto - Aspectos  
ambientais. 4. Aparelhos e materiais eletrônicos. I.  
Universidade Estadual Paulista. Campus Experimental de  
Sorocaba. II. Título.

Dedico este trabalho a todos que me incentivaram a iniciar o mestrado, terminá-lo e persistir nele. A meu avô, Luiz Antonio Ruhnke, pelo exemplo. A meus pais, Antonio Hugo Valério Junior e Ana Claudia Ruhnke Valério, e a minha avó, Wilma Domingues Ruhnke, pelo incentivo. A meu esposo, André Luiz Gonçalves Santos, pelo apoio e a minha filha pela motivação.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todas as pessoas envolvidas no desenvolvimento deste projeto, em especial à minha família: a meu esposo, que me deu todo o apoio para que eu finalizasse a escrita, mesmo em um momento de crescimento da família com a chegada de nossa filha; a meus pais e avós pelo incentivo e ajuda; e a minha sogra pelas tardes em que ela cuidou da netinha enquanto eu escrevia.

Ao Prof. Sandro Mancini por me propiciar o contato inicial com o conceito de ACV, por me direcionar no desenvolvimento do projeto desde o início e principalmente por ser compreensivo ao longo dos anos nos quais este projeto foi desenvolvido.

Ao Prof. Bruno Gianneli por ter me apresentado à prática do ACV e a algumas ferramentas de trabalho além de ter me ajudado na extração dos dados para os resultados.

Um agradecimento especial cabe a Yukiko Sasaki pelo mapeamento minucioso dos equipamentos sem os quais este trabalho não seria possível.

## RESUMO

Os equipamentos eletroeletrônicos fazem parte de uma indústria em expansão na qual a constante inovação torna-os rapidamente obsoletos. O aumento de resíduos eletroeletrônicos incitou várias políticas de descarte e reciclagem, mas ainda faltam estudos quantitativos para que se possa entender quais são os maiores impactos no meio ambiente e o que se pode fazer para amenizá-los. A pesquisa consistirá na avaliação do desempenho ambiental de dois modelos de impressoras. Será baseada na metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida e na posterior simulação de cenários de disposição final. Fez-se uma caracterização de materiais, peças e massas. A impressora A apresentou um impacto 35% maior que a impressora B devido às suas diferenças de composição e funcionalidades. Nos dois casos, o material em maior quantidade e responsável pela maior parcela do impacto calculado foi o HIPS (Poliestireno de Alto Impacto) e a maioria dos impactos pode ser vista na categoria de Combustíveis Fósseis.

**Palavras-chave:** avaliação do ciclo de vida, impactos ambientais, equipamentos eletroeletrônicos, impressoras, resíduos sólidos

## ABSTRACT

The electronic equipments are part of a booming industry where constant innovation makes them quickly obsolete equipment. The increase of electronic waste concern generated various disposal and recycling policies but there is still a lack of quantitative studies on the impacts of such products so that they can understand what the major impacts on the environment and what can be done to mitigate the impacts. This research consisted in the characterization of two printers of different models regarding to materials, parts, and weight and using the tool life cycle analyses to quantify the environmental impact of each of them separately and combined. To complete the study a simulation of disposal scenarios was made with one of the printers to understand the impacts of recycling, reuse and disposal in a sanitary landfill. The printer A presented a 35% greater impact than printer B due to their differences in composition and functionality. In both cases the material in greater quantity and responsible for most of the impact was HIPS (High Impact Polystyrene) and the largest share of the impacts can be seen in the category of fossil fuels.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – PIB <i>per capita</i> segundo grandes regiões no ano de 2009 .....	6
Figura 2 – Gráfico com o índice de Gini da distribuição do rendimento mensal das pessoas de 10 anos de idade ou mais, com rendimento .....	7
Figura 3 – Índice Gini de distribuição de rendimento por Unidade da Federação .....	8
Figura 4 – Mapa do Brasil com índice Gini de distribuição de rendimento.....	8
Figura 5 – Coeficiente de Gini para distribuição de renda em outros países .....	9
Figura 6 – Coleta seletiva de lixo .....	10
Figura 7 – Percentual de municípios com coleta seletiva.....	10
Figura 8 – Percentual de material reciclado em determinadas indústrias.....	11
Figura 9 - Distribuição das vendas de equipamentos eletrônicos no Brasil em 2010 .....	14
Figura 10 – Fluxograma da geração de REEE .....	15
Figura 11 – Inserção de eletrônicos da Linha Verde no mercado nacional.....	16
Figura 12 – Geração e estimativa de geração de REEE no Brasil de 2011 a 2020 .....	17
Figura 13 – Relação entre equipamentos colocados no mercado .....	19
Figura 14 – Número de recicladores de REEE por região .....	22
Figura 15 – Posicionamento de países na matriz de responsabilidade .....	24
Figura 16 – Comparação de custos de logística reversa .....	25
Figura 17 – Percentual de reciclagem.....	25
Figura 18 – Destino dado aos equipamentos eletroeletrônicos .....	26
Figura 19 – Fases de uma ACV .....	25
Figura 20 – Elementos da fase AICV .....	29
Figura 21 – Sistema do produto avaliado .....	32
Figura 22 – Árvore dos materiais constituintes da impressora A.....	42
Figura 23 – Árvore das matérias-primas mais representativas da impressora A .....	43
Figura 24 – Ponderação de impacto da impressora A por categorias de impacto .....	44
Figura 25 – Pontuação única de impacto impressora A, dessa vez expressa por material..	45
Figura 26 – Fluxograma considerando os três cenários possíveis: aterro sanitário, reciclagem e reutilização .....	46
Figura 27 – Árvore dos materiais constituintes da impressora B .....	55
Figura 28 – Árvore das matérias primas mais representativas da impressora B .....	56
Figura 29 – Ponderação de impacto da impressora B .....	57
Figura 30 – Pontuação única de impacto da impressora B.....	58

Figura 31 – Comparação de impactos: impressora A e impressora B (ponderação).....	60
Figura 32 – Comparação: impressora A e impressora B (pontuação única) .....	61

**ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 1 – Comparação de geração de REEE e PIB .....	13
Tabela 2 – Categorias de equipamentos eletrônicos.....	14
Tabela 3 – Geração de REEE no Brasil (2005) .....	16
Tabela 4 – Geração de REEE em diferentes países europeus .....	18
Tabela 5 – Relação entre ponto de recebimento e população.....	21
Tabela 6 – Matriz de modelos de logística reversa .....	23
Tabela 7 – Variáveis nos modelos atuais de logística reversa.....	24
Tabela 8 – Partes da impressora A .....	35
Tabela 9 – Composição da impressora A em massa .....	39
Tabela 10 – Transformação para materiais do SimaPro da impressora A.....	40
Tabela 11 – Resultados das simulações de cenários de disposição.....	47
Tabela 12 – Comparação de cenários de reciclagem de HIPS e ABS.....	47
Tabela 13 – Caracterização detalhada da impressora B .....	48
Tabela 14 – Composição da impressora B em massa percentual .....	53
Tabela 15 – Consideração para entrada no SimaPro impressora B.....	54

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>II</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>V</b>
<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>VI</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>4</b>
3.1 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS .....	4
3.2 CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA .....	5
3.3 RELAÇÃO ENTRE INDICADORES SOCIAIS E DESCARTE DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS (REEE).....	12
3.4 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA.....	27
3.4.1 <i>Fases de uma ACV</i> .....	27
3.4.2 <i>Método de análise de impacto</i> .....	30
<b>4 MATERIAIS E MÉTODO</b> .....	<b>31</b>
4.1 MAPEAMENTO DO PRODUTO .....	31
4.2 ANÁLISE DE IMPACTOS AMBIENTAIS.....	31
4.3 DEFINIÇÃO DOS QUESITOS A SEREM CONSIDERADOS .....	32
4.4 COMPARAÇÃO DE IMPACTOS .....	34
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>35</b>
5.1 IMPRESSORA A .....	35
5.1.1 <i>Mapeamento da impressora A</i> .....	35
5.1.2 <i>Entrada de materiais da impressora A no software</i> .....	40
5.1.3 <i>Impacto da impressora A</i> .....	43
5.2 IMPRESSORA B .....	48
5.2.1 <i>Mapeamento da impressora B</i> .....	48
5.2.2 <i>Entrada de materiais da impressora B no software</i> .....	54
5.2.3 <i>Impacto da impressora B</i> .....	56
5.3 COMPARAÇÃO DE IMPACTOS .....	59
<b>6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>63</b>
<b>7 CONCLUSÕES</b> .....	<b>64</b>

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 66**

## 1 INTRODUÇÃO

A motivação inicial deste projeto de pesquisa foi a percepção de que o Brasil e seus líderes, em relação às melhores práticas da tratativa de resíduos eletrônicos, estavam tentando padronizar e reproduzir modelos de sucesso de outras regiões do mundo que possuem uma realidade muito diferente daquela que o Brasil apresenta atualmente.

A iniciativa de regulamentar e compartilhar a responsabilidade do resíduo sólido através da implantação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) é muito bem intencionada e, com certeza, será um marco positivo na história do país referente à correta tratativa de resíduos. Entretanto, o setor apresenta dificuldades as quais expõem nuances que deveriam ser levadas em consideração ao definir a regulamentação que vem sendo trabalhada.

Assim, esse estudo visa contribuir para a discussão sobre o tema ao buscar caracterizar duas impressoras com diferenças funcionais, bem como analisar os impactos ambientais de cada uma delas comparando a composição de seus materiais.

Em adição, uma simulação de cenários de descarte final baseados nas diferenças regionais e socioeconômicas do Brasil mostra como a economia pode influenciar nos impactos ambientais de um mesmo produto eletroeletrônico, no caso, uma impressora, por criar cenários de descartes variados.

Para este estudo foram revisados: 1) a Política Nacional de Resíduos Sólidos em seus aspectos e desdobramentos estritamente ligados à indústria eletroeletrônica e à logística reversa de seus produtos; 2) a realidade socioeconômica do Brasil, comparando-a com aspectos de outros países; 3) o panorama geral da indústria eletrônica e 4) a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida usada para caracterização dos impactos ambientais das referidas impressoras.

O panorama da indústria eletrônica apresentado aqui busca mostrar não apenas os dados de produção, mas também, e principalmente, os dados de resíduos eletrônicos gerados por essa produção/consumo.

A caracterização socioeconômica do Brasil é apresentada através de indicadores nacionais, considerando os que influenciam de uma maneira ou de outra a produção, o consumo, a vida útil ou o descarte desses produtos. Alguns dados internacionais também são apresentados com o intuito de comparar o Brasil a outros países e mostrar que são necessárias políticas próprias, pois apenas copiar modelos internacionais de gestão de

resíduos sólidos que deram certo em outras localidades, as quais possuem culturas diferentes, não é adequado.

A metodologia de ACV é apresentada com base em normas nacionais para a implementação de análises de impactos ambientais e em revisões bibliográficas de estudos similares.

## 2 OBJETIVOS

Este projeto propõe, no nível de seus objetivos gerais, realizar a caracterização de dois equipamentos eletroeletrônicos e a comparação de cenários de destinação final, assim como seus respectivos impactos ambientais.

Como objetivos específicos deste projeto, listam-se:

- Contextualizar o panorama da indústria eletroeletrônica, no que diz respeito à destinação final de resíduos, no Brasil e em alguns outros países como referência;
- Utilizar a metodologia da Avaliação de Ciclo de Vida para 2 (dois) produtos eletroeletrônicos, no caso, duas impressoras diferentes, para comparar impactos gerados a partir do inventário dos materiais utilizados na fabricação;
- Avaliar diferentes cenários de destinação final de um dos equipamentos.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Com relação à responsabilidade pela geração dos resíduos, podem ser listados, no mínimo, três atores fundamentais. De um lado, o consumidor preocupado com os impactos ambientais dos produtos que utiliza, mas que resiste ao aumento de seus deveres para minimizá-los. Do outro, a indústria e o setor de serviços, que precisam passar a se preocupar com algo que antes não fazia parte dos seus custos e de sua atenção. Na terceira ponta, o governo, que tem o papel de regularizar assuntos ligados ao interesse público, mas, muitas vezes por falta de informações, pode cometer erros que comprometam a viabilidade da solução.

Diante desse cenário, frequentemente a primeira ideia é seguir modelos já existentes em outras regiões do mundo para resolver esse tipo de problemática. Entretanto, nem sempre leva-se em conta que regiões diferentes chegaram a suas respectivas soluções baseando-se na realidade na qual estavam inseridas no momento em que o problema surgiu. Essa realidade consiste em inúmeros aspectos que precisam ser levados em consideração, entre eles: cultura, características sociais da população, estabilidade econômica, distribuição de renda, acesso a informação, educação e tecnologia, engajamento com meio ambiente, estrutura política, características populacionais etc.

Através da aprovação e regulamentação da Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010, Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), o Brasil passa a ter um novo marco legal e novos desafios e oportunidades frente ao gerenciamento dos resíduos sólidos no âmbito nacional (BRASIL, 2010). Isso posiciona os diversos envolvidos na cadeia do ciclo de vida de um produto de maneiras diferentes e, muitas vezes, até contrárias, pela falta de informação disponível e pela incerteza que novos assuntos normalmente causam.

A PNRS estabeleceu um prazo até o ano de 2014 para a implantação da logística reversa e de outros pontos relativos à reciclagem e reutilização de resíduos sólidos, considerando que alguns setores da economia foram definidos como críticos e servirão como modelo para os subsequentes. A indústria eletrônica assim como a indústria de embalagens e pneus foram selecionadas para serem setores piloto de implementação (BRASIL, 2010).

A Política está dividida de modo que inclui acordos setoriais nos quais cada setor possui a oportunidade de chegar a um consenso e apresentar ao governo como pretende

tratar a responsabilidade compartilhada do resíduo, o investimento na logística reversa, a implementação de coleta seletiva, as peculiaridades do ciclo de vida do produto, a inclusão de catadores de materiais recicláveis na cadeia reversa, as políticas de planos de descarte e a coleta e o tratamento do resíduo. Além disso, deve ser detalhada a maneira como cada setor irá alimentar com informações o Sistema de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR), que visa apresentar com transparência ao governo e ao público as ações nessa área.

Complementando a PNRS no âmbito da indústria eletrônica, foi publicado, em janeiro de 2013, um edital de chamamento para a elaboração de acordo setorial para a implantação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes (BRASIL, 2013). O edital pretende um acordo dentro do próprio setor, propondo que a indústria apresente uma proposta ao governo sobre como irá atender aos requisitos da PNRS e quais os esforços e responsabilidades de cada elo da cadeia. O acordo setorial foi redigido integrando diferentes propostas e disponibilizado para consulta pública em janeiro de 2014. Já está definida a obrigação, por parte do consumidor, de fazer entrega no ponto de compra e, por parte dos distribuidores e varejistas, de repassarem aos fabricantes e fornecedores. As metas do setor ainda não estão definidas, mas no edital o governo propõe

atingir até o quinto ano após a assinatura do Acordo Setorial o recolhimento e a destinação final ambientalmente adequada de 17% (dezessete por cento), em peso, dos produtos eletroeletrônicos objetos deste Edital que foram colocados no mercado nacional no ano anterior ao da assinatura do Acordo Setorial (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2013, p.05).

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA

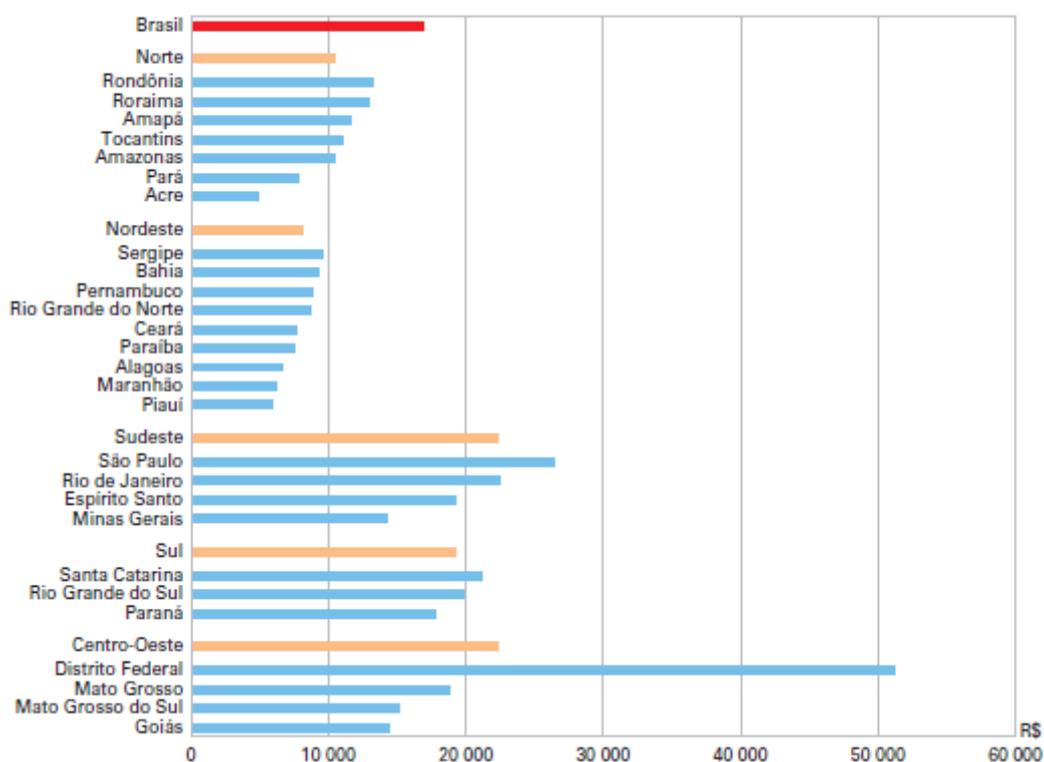
Para a caracterização de uma região, o uso de indicadores é uma das ferramentas mais importantes para análises quantitativas e comparativas. Alguns indicadores foram selecionados baseados na caracterização que se deseja fazer nesta dissertação.

Os dados do Brasil foram extraídos do documento Indicadores de Desenvolvimento Sustentável, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística com dados de 2009 (IBGE, 2012). Já os dados de outras regiões foram extraídos de documentos oficiais da União Europeia (EUROSTAT, 2010).

- **Produto Interno Bruto (PIB) *per capita***

O indicador expressa o nível médio de renda da população em um país ou território, pois expressa a razão entre o PIB e a população residente. A Figura 1 mostra o Produto Interno Bruto *per capita* anual do Brasil dividido em estados e macro regiões.

Figura 1 – PIB *per capita* segundo grandes regiões no ano de 2009



Fonte: IBGE, 2012

A Figura 1 indica a concentração da riqueza em determinadas regiões do país. Considerando os objetivos desta dissertação, que busca entender as características socioeconômicas e culturais de cada região, o PIB *per capita* será tomado como ponto de partida para sinalizar o estado do desenvolvimento econômico de uma região ou país. Nota-se que as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste apresentam os maiores valores.

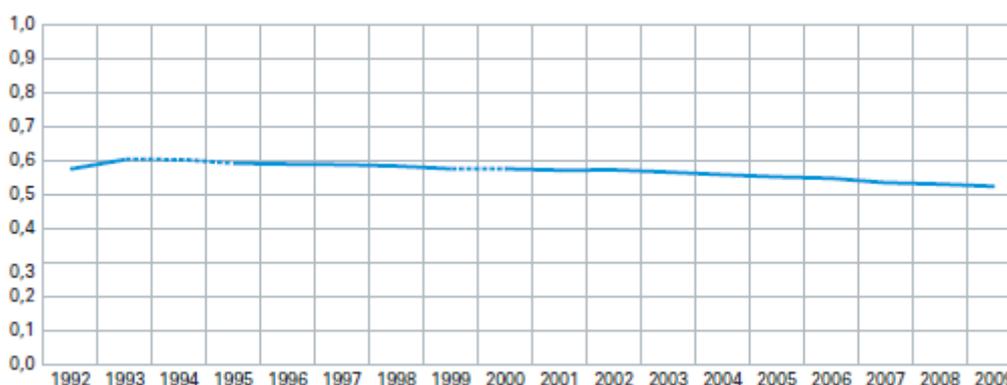
- **Índice de Gini da distribuição do rendimento**

Esse indicador, desenvolvido por um estatístico italiano chamado Corrado Gini, usualmente expressa a concentração do rendimento da população, mas também pode ser usado para expressar a concentração de outras grandezas. Ele é expresso por um valor entre 0 (zero), situação de perfeita igualdade, e 1 (um), situação de desigualdade máxima (HOFFMANN, 1998).

Um índice em torno de 0,5 é considerado um valor representativo de fortes desigualdades. O índice de Gini é um dos indicadores mais utilizados com a finalidade de avaliar o grau da distribuição de rendimentos para saber se uma sociedade é equitativa nesse sentido (IBGE, 2012).

A Figura 2 mostra a evolução do índice de Gini no Brasil de 1992 a 2009. É possível perceber que o valor diminuiu ao longo dos anos e, embora ainda demonstre uma alta desigualdade social, apresenta uma tendência, mesmo que mínima, de diminuição da desigualdade.

Figura 2 – Gráfico com o índice de Gini da distribuição do rendimento mensal das pessoas de 10 anos de idade ou mais, com rendimento



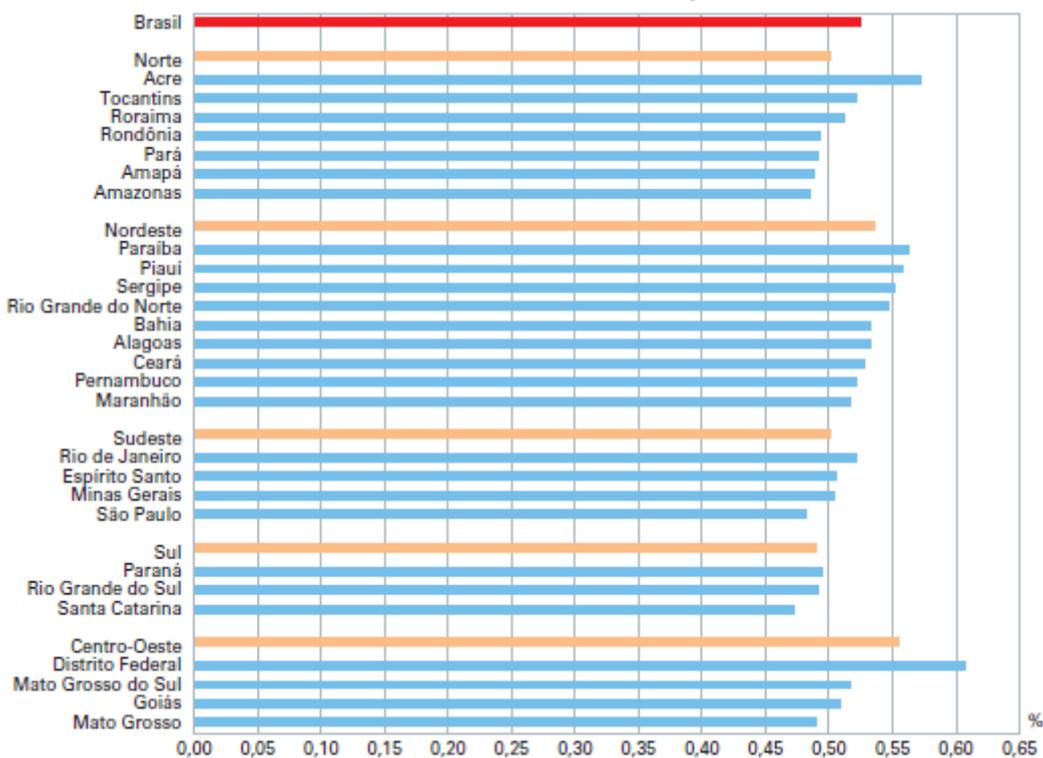
Fonte: IBGE, 2012

Considerou-se, para esta dissertação, que o índice de Gini somado ao PIB de uma região permitem a caracterização econômica de uma região e/ou população. Juntos, apresentam uma fotografia da quantidade de riqueza de uma região e sua distribuição.

Nas Figuras 3 e 4, a respeito do índice de Gini por Unidade da Federação e em sua distribuição espacial, respectivamente, observa-se que diferentes regiões possuem

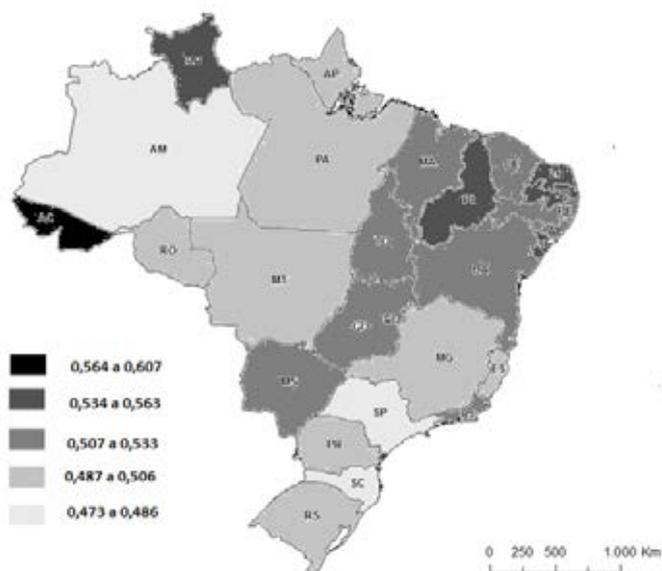
diferentes poderes aquisitivos. Dessa forma, impactos econômicos diversos referentes ao uso e descarte de equipamentos eletroeletrônicos podem ocorrer.

Figura 3 – Índice Gini de distribuição de rendimento por Unidade da Federação



Fonte: IBGE, 2012

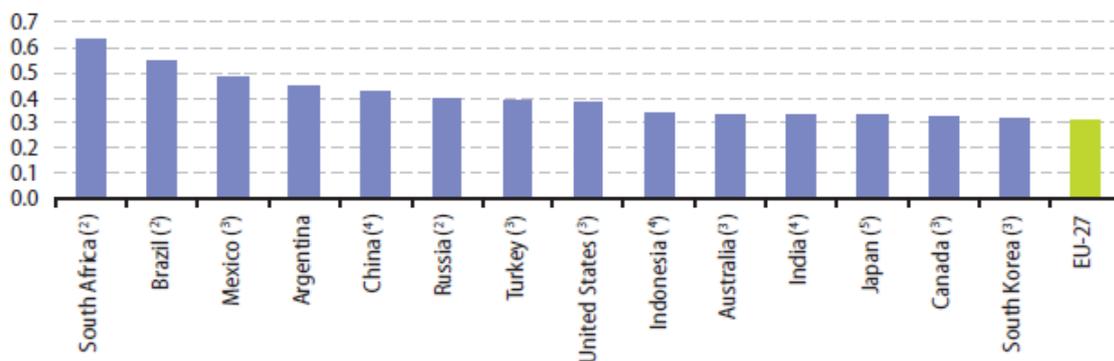
Figura 4 – Mapa do Brasil com índice Gini de distribuição de rendimento



Fonte: IBGE, 2012

No quadro comparativo a seguir, observa-se a posição do Brasil em um contexto mundial. No caso dos países representados na Figura 5, o Brasil tem o segundo maior índice de Gini.

Figura 5 – Coeficiente de Gini para distribuição de renda em outros países



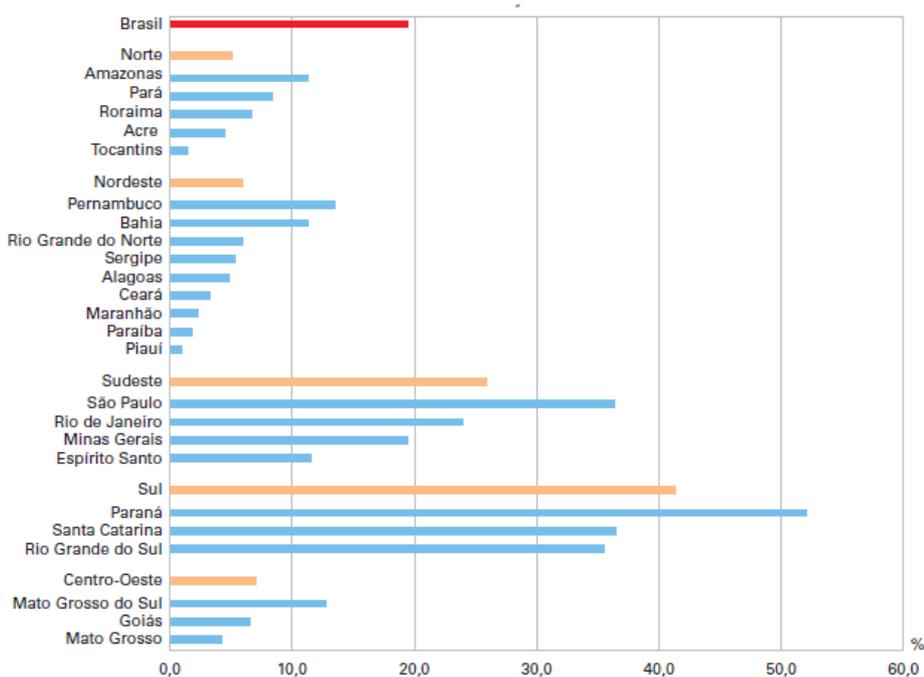
Fonte: EUROSTAT, 2010

- **Coleta seletiva de lixo**

Esse indicador apresenta a existência do serviço de coleta seletiva do lixo no município analisado. As variáveis utilizadas nesse indicador são o número de municípios que dispõem de coleta seletiva, a abrangência da coleta seletiva no município e o número total de municípios (IBGE, 2012).

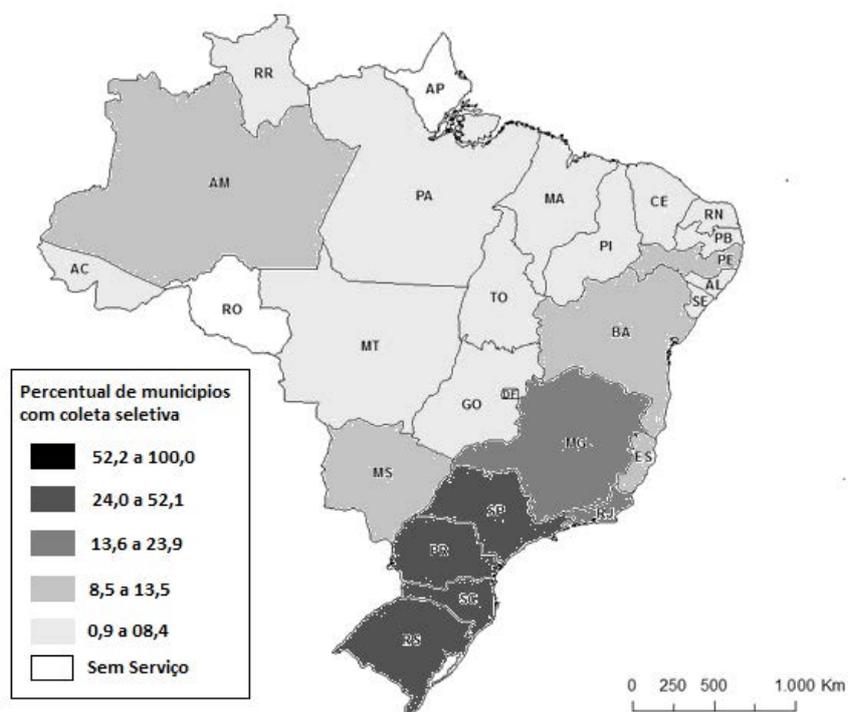
As Figuras 6 e 7 mostram a distribuição da coleta seletiva nos municípios ao redor do Brasil em termos percentuais.

Figura 6 – Coleta seletiva de lixo



Fonte: IBGE, 2012

Figura 7 – Percentual de municípios com coleta seletiva



Fonte: IBGE, 2012

Observa-se que, em termos regionais, as Regiões Sul e Sudeste apresentaram, em 2008, os maiores percentuais de coleta seletiva: 41,3% e 25,9% respectivamente. O estado

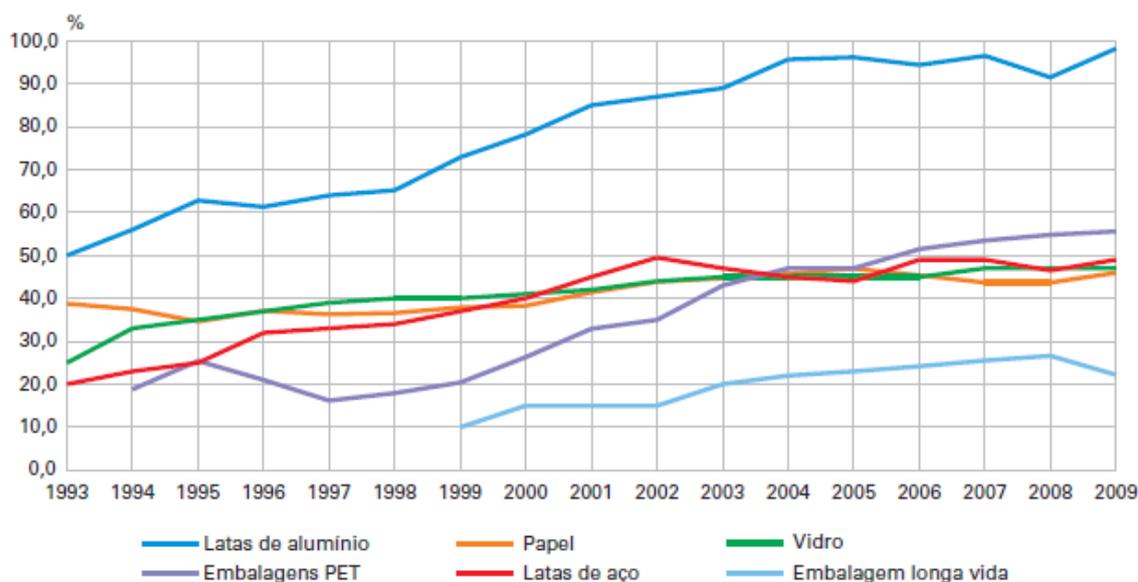
do Paraná, com 52,1%, apresenta o maior percentual de municípios com coleta seletiva entre os estados brasileiros. Por outro lado, nas demais regiões, menos de 8% dos municípios realizavam esse serviço. Quanto à abrangência da coleta, não retratada pelas figuras, 37,9% das cidades brasileiras dispõem desse serviço em toda a sua área. Entre as Unidades da Federação, Alagoas e Santa Catarina apresentam os maiores percentuais: 80,0% e 67,3% respectivamente (IBGE, 2012).

### • Reciclagem

Esse indicador, retirado do IBGE, apresenta o desempenho das atividades de reciclagem. As variáveis utilizadas são as quantidades, em toneladas por dia (t/dia), de matéria-prima total e de material reciclado consumidos por alguns setores industriais. Os materiais analisados são papel, vidro, embalagens de politereftalato de etileno (PET), latas de alumínio e de aço e embalagens longa vida. O indicador é a razão, expressa em percentual, entre a quantidade de material reciclado e a quantidade total de cada matéria-prima consumida pelas indústrias (IBGE, 2012).

A Figura 8 apresenta o percentual de material reciclado usado em atividades industriais.

Figura 8 – Percentual de material reciclado em determinadas indústrias



Fonte: IBGE, 2012

As legislações municipais, estaduais e federais mais exigentes em termos ambientais devem fazer com que os índices de reciclagem de todos os materiais mantenham, nos próximos anos, a tendência de crescimento. Atrelado a isso, o aumento nos preços das matérias-primas e da energia também deve elevar a proporção desses materiais usados na indústria nacional (IBGE, 2012).

No Brasil, os altos níveis de reciclagem na indústria nem sempre estão associados à educação e à conscientização ambiental. Muitas vezes, o alto valor das matérias-primas e a presença de uma massa de trabalhadores que não possuem qualificação e têm poucas opções de emprego são fatores que explicam altos percentuais de pessoas envolvidas na atividade por questões econômicas (IBGE, 2012). Por isso, alguns materiais que possuem menor valor de mercado, como o papel e o vidro, apresentam índices de reciclagem bem menores que as latas de alumínio, cujos índices chegam a 97,9% (CEMPRE, 2014). Deve-se considerar ainda que apenas uma pequena parte do lixo produzido no país é seletivamente coletada. A maioria da coleta seletiva é feita por catadores, autônomos ou associados a cooperativas, que retiram do lixo os materiais de valor mais alto e possuem condições de trabalho geralmente precárias e com baixa remuneração (CEMPRE, 2014). A coleta seletiva de lixo e a conscientização da população para separar os resíduos antes de descartá-los podem aumentar não apenas a eficiência da reciclagem como também trazer melhorias na qualidade de vida de catadores e de outros trabalhadores que lidam com resíduos (IBGE, 2012).

O percentual de resíduos reciclados de uma região é um dos fatores que influenciam na destinação final de produtos eletrônicos e, conseqüentemente, no ciclo de vida e nos impactos ambientais, pois, quanto maior o valor do produto, mais estimulado fica o comércio de seus resíduos (ABDI, 2012).

### 3.3 RELAÇÃO ENTRE INDICADORES SOCIAIS E DESCARTE DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS (REEE)

- **Renda *per capita* e geração de REEE**

A Tabela 1 apresenta uma relação entre a geração de resíduo eletrônico e a renda *per capita* de diferentes países.

Tabela 1 – Comparação de geração de REEE e PIB

<b>País</b>	<b>PIB (US \$/habitante)</b>	<b>Geração de REEE (kg/habitante)</b>
Dinamarca	34.600	23,2
Finlândia	30.900	23,0
Alemanha	30.400	14,6
Reino Unido	30.300	29,4
França	29.900	24,0
Suécia	29.800	23,9
Estônia	16.700	8,2
Hungria	16.300	11,4
Lituânia	13.700	6,3
Polônia	13.300	8,4
Bulgária	9.600	5,7
Brasil (mínimo 2011)	11.900	4,8
Brasil (máximo 2016)	11.900	7,2

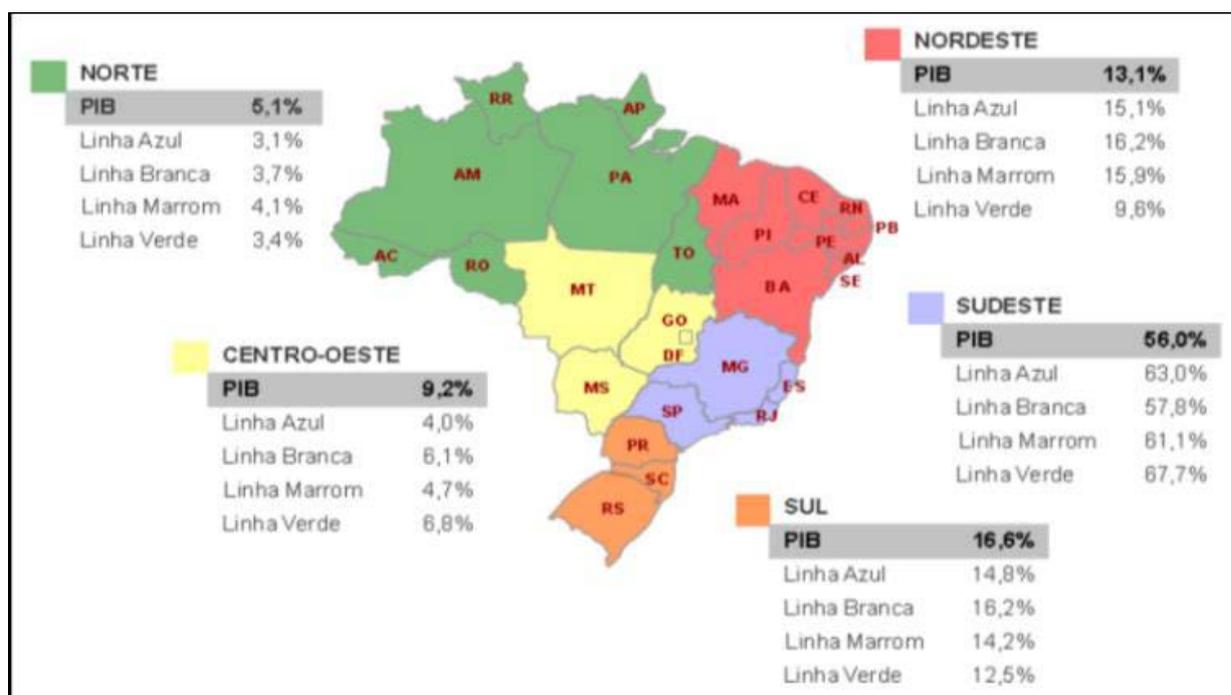
Fonte: ABDI, 2012

- **Produção da indústria eletrônica e o cenário de reciclagem de REEE**

Segundo a ABINEE (2012), a indústria de eletroeletrônicos representa 3,3% do PIB brasileiro e emprega mais de 180 mil pessoas. Do total de R\$ 138 bilhões movimentados pelo segmento em 2011, cerca de R\$ 7,9 bilhões foram de exportações e a balança comercial dos EEE foi deficitária em R\$ 31,6 bilhões naquele ano.

Entretanto, as vendas não são homogêneas em todo o território nacional, pois variam proporcionalmente ao percentual do PIB da região. A Figura 9 mostra a distribuição das vendas dos produtos eletrônicos no país por região e por categoria de equipamentos. A Tabela 2 apresenta um esquema das definições de equipamentos eletroeletrônicos por linha: branca, azul, verde e marrom.

Figura 9 – Distribuição das vendas de equipamentos eletrônicos no Brasil em 2010



Fonte: ABDI, 2012

Tabela 2 – Categorias de equipamentos eletrônicos

<b>Linha Verde</b>	<b>Linha Branca</b>
Desktops, Notebooks, Impressoras, Aparelhos celulares	Refrigeradores, congeladores, ar condicionado
Vida útil curta (~2-5 anos)	Vida útil longa (~10-15 anos)
Equipamento de pequeno porte (~0,09kg – 30kg)	Equipamentos de grande porte (~30kg – 70kg)
Grande diversidade de componentes	Menor diversidade de componentes
Composto principalmente de metais e plásticos	Composto principalmente de metais
<b>Linha marrom</b>	<b>Linha Azul</b>
Televisores, DVDs, VHS, Produtos de Audio	Batedeiras, liquidificadores, ferros elétricos, furadeira
Vida útil média (~5-13anos)	Vida útil longa (~10 a 12 anos)
Equipamentos de médio porte (~1kg -35kg)	Equipamentos de pequeno porte (~0,5 -5kg)
Composto principalmente de plástico e vidro	Composto principalmente de plástico

Fonte: ABDI, 2012

Os dados mostram que a região Sudeste, responsável por mais de 50% do PIB nacional, realizou quase 70% das vendas da linha chamada Linha Verde, mais relacionada aos objetivos desta dissertação. Já a região Norte, responsável por 5,1% do PIB nacional, teve o equivalente a aproximadamente 3% das vendas dos mesmos produtos.

Os números de venda estão diretamente ligados à quantidade de geração de resíduos dessa indústria. A geração de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) pode ser estimada considerando os números de produção e a vida útil de cada equipamento. O

cálculo leva em conta volume de produção, vendas, mercado ilegal (popularmente chamado de “mercado cinza”), exportações e importações, além do tempo de vida útil do produto. A Figura 10 ilustra as informações usadas nesse tipo de estimativa e como cada entrada é considerada na conta final.

Figura 10 – Fluxograma da geração de REEE

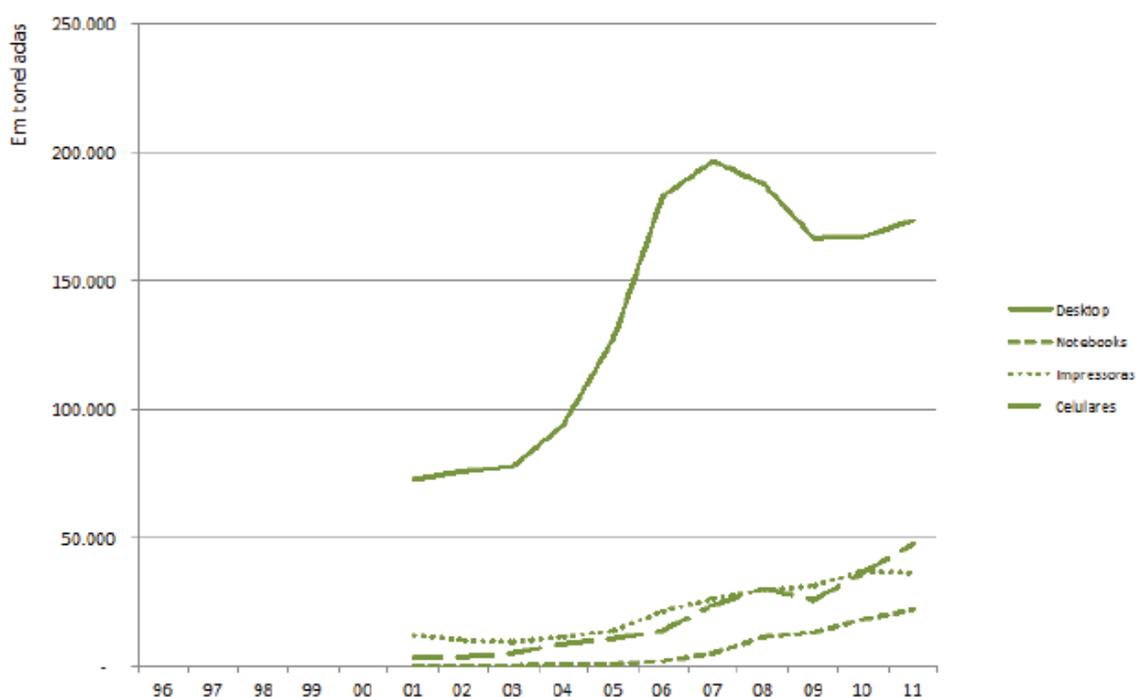


Fonte: ABDI, 2012

Analisando a Figura 10, é possível chegar ao volume de REEE. Inicia-se o cálculo pelo volume de vendas multiplicado pelo peso médio do produto. Adiciona-se ao volume de vendas oficial o chamado “mercado cinza”, que contempla os equipamentos vendidos ilegalmente e sem controle tributário, o que mantém essa parcela de mercado fora dos cálculos oficiais do volume de vendas total. Somando e subtraindo valores de exportação e importação, tem-se a inserção de Equipamentos Eletroeletrônicos em toneladas no país. Considerando junto a essa informação a vida útil do modelo de produto analisado, tem-se distribuído no tempo o volume de REEE esperado.

Mais especificamente, quando considerado o mercado da Linha Verde, no qual as impressoras se encontram, os números de produção podem ser vistos na Figura 11. Observa-se que a categoria das impressoras apresentou um crescimento aproximadamente constante nos anos em que o estudo foi realizado.

Figura 11 – Inserção de eletrônicos da Linha Verde no mercado nacional



Fonte: ABDI, 2012

Quando é analisada a quantidade de resíduos gerados por cada tipo de produto, algumas estimativas nacionais referentes a 2005 são apresentados na Tabela 3. Nota-se que a categoria de impressoras, objeto deste estudo, gerou 17.200 toneladas de resíduo naquele ano.

Tabela 3 – Geração de REEE no Brasil (2005)

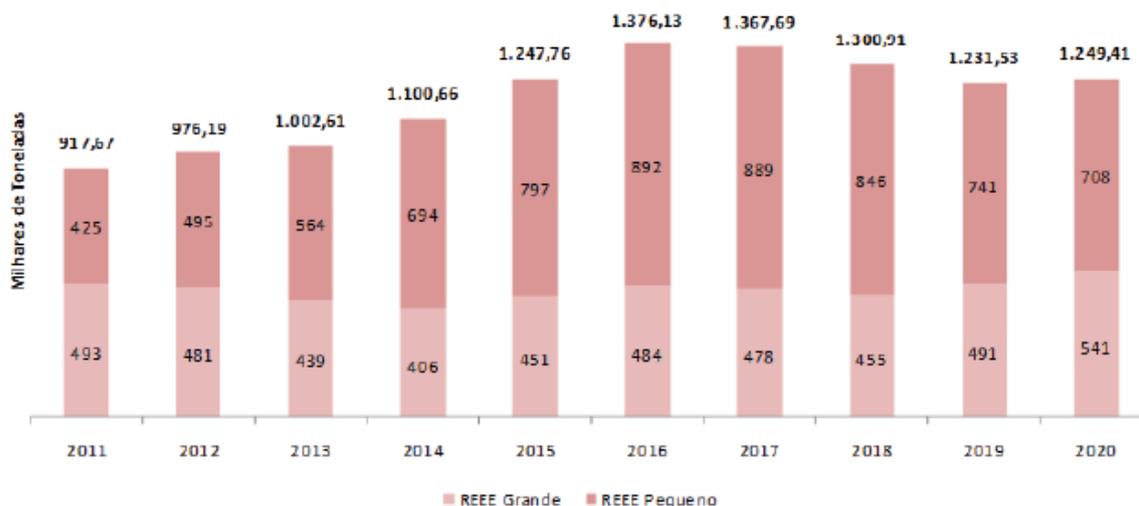
<b>Categoria do Resíduo</b>	<b>Quantidade (ton/ano)</b>
PCs	96800
Impressoras	17200
Telefones celulares	2200
Televisões	137000
Refrigeradores	115100

Fonte: UNEP, 2009

A Figura 12 apresenta uma estimativa da geração de resíduos eletroeletrônicos no Brasil, mostrando que é esperado um crescimento até 2016, quando esses valores devem começar a reduzir. Na figura, REEE de grande porte são os resíduos provenientes da Linha Branca (refrigeradores, fogões, lava-roupas e ares-condicionados) e os de pequeno porte

são televisores, monitores, LCD, plasma, DVD, VHS, produtos de áudio, desktop, notebooks, impressoras, celulares, batedeiras, liquidificadores, ferros elétricos e furadeiras (ABDI, 2012).

Figura 12 – Geração e estimativa de geração de REEE no Brasil de 2011 a 2020



Fonte: ABDI, 2012

É importante ressaltar que há diferença entre a geração do resíduo, a quantidade de resíduo coletada de volta e a quantia que vai para a destinação correta. Diferentes formas de descarte podem causar diferentes impactos ambientais. Os destinos podem ser diversos, mas, nesta dissertação, serão considerados reutilização, reciclagem e descarte em aterro sanitário.

De acordo com o órgão oficial de estatísticas da União Europeia, o resíduo na Europa, depois de coletado, pode ter diferentes tratamentos. Em muitos países a recuperação de materiais chega a 75%. Esse percentual, contudo, é calculado sobre o montante coletado, o qual pode ser muito pequeno quando comparado com o montante posto no mercado. O aumento das taxas de coleta faz-se urgente para o sucesso das políticas europeias na tratativa de resíduos eletroeletrônicos (EUROSTAT, 2010).

A geração desses resíduos influi diretamente na taxa de reciclagem de tais itens, mas não é o único fator a influenciá-la. A taxa de coleta é um bom exemplo.

- **Taxa de coleta de REEE**

A Tabela 4 mostra a taxa de coleta de resíduos eletrônicos em diferentes países em relação ao valor em peso gerado.

Tabela 4 – Geração de REEE em diferentes países europeus

<b>País</b>	<b>Geração WEEE (kg/hab)</b>	<b>Coleta WEEE (kg/hab)</b>	<b>Coletado/ Gerado</b>
Dinamarca	23,2	13,8	0.59
Estônia	8,2	4,5	0.55
Finlândia	23,0	9,9	0.43
França	24,0	4,5	0.19
Alemanha	14,6	8,2	0.56
Hungria	11,4	4,4	0.39
Lituânia	6,3	3,2	0.51
Polônia	8,4	1,2	0.14
Suécia	23,9	15,4	0.64
Reino Unido	29,4	11,1	0.38
Bulgária	5,7	5,2	0.91

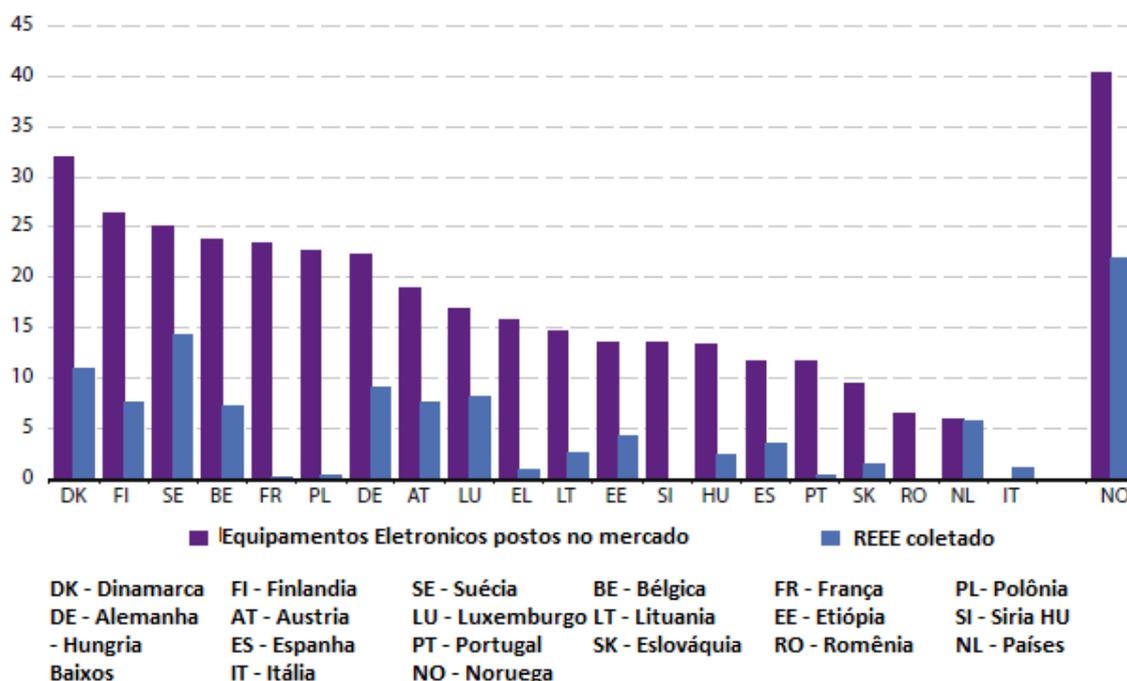
Fonte: ABDI, 2012

Os valores mostram uma grande divergência entre os países avaliados e colocam a Bulgária como referência, com mais de 90% do resíduo gerado sendo coletado. A Polônia aparece na outra extremidade como o país com menor razão entre a coleta e a geração, com apenas 14% de coleta. Não foram encontrados dados referentes ao Brasil para coleta/geração de REEE. Os valores no Brasil são calculados e estimados a partir de volume de vendas. De acordo com a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, a proposta inicial da indústria foi de 50% para o cenário-base de 2017 (ABDI, 2012).

- **Taxa de coleta de REEE *versus* produtos colocados no mercado**

A Figura 13 apresenta a relação entre a quantidade de produtos eletrônicos colocados no mercado de determinados países e a quantidade de produtos coletados como REEE em quilos *per capita*. Os países foram abreviados para que o gráfico ficasse menos poluído.

Figura 13 – Relação entre equipamentos colocados no mercado e coleta de resíduos na Europa



Fonte: EUROSTAT, 2010

Observa-se que a quantidade de resíduo eletrônico coletado varia entre países, assim como a taxa que relaciona a entrada de equipamentos no mercado e a coleta. Isso se dá devido aos diferentes graus de implementação de políticas baseadas na responsabilidade do produtor. Como pode ser visto, em poucos países europeus a quantidade coletada ultrapassa 50% do volume produzido. É o caso da Noruega, da Suécia, de Luxemburgo e da Holanda. Isso parece indicar que as políticas estão indo na direção certa, entretanto, esses números geralmente refletem a coleta de grandes e pesados equipamentos domésticos, havendo pequena participação de equipamentos menores com grande valor agregado como celulares, impressoras e computadores portáteis (EUROSTAT, 2010).

#### • Estímulos legais

Entre os fatores que influenciam a taxa de reciclagem, o primeiro a ser citado é o estímulo legal a essa ação, o qual pode acontecer de duas maneiras: fazendo exigências e penalizando quem não as atende e/ou incentivando através de isenções fiscais.

Estudos internacionais associam altas taxas de reciclagem à existência de incentivos econômicos formais (BOHR, 2007). Isso se deve à proporcionalidade do custo da

reciclagem em relação a sua eficiência: para uma taxa de reciclagem alta, com menor quantidade de rejeitos, o processo aumenta de custo (ABDI, 2012).

Desde fevereiro de 2003, a diretiva 2002/96/EC existe na Europa e vem promovendo coleta e reciclagem de equipamentos elétricos e eletrônicos. O objetivo é aumentar o reuso e a reciclagem de tais produtos. A diretiva WEEE foca fortemente na responsabilidade do produtor com um fator chave para diminuir a quantidade de resíduo eletrônico que vai para locais de tratamento. Atualmente, a diretiva possui meta mínima de coleta de 4 quilos anuais por habitante. Uma proposta foi submetida a fim de alterar o valor fixo para 65% de taxa de coleta anual por habitante, calculada de acordo com a média de equipamentos colocados no mercado nos dois anos anteriores. Além disso, para encorajar o reuso de todos os equipamentos, foi proposto que tal prática se enquadre dentro da meta dos 65% (EUROSTAT, 2010).

A realidade do Brasil é diferente. De acordo com a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2012), a legislação ambiental brasileira é considerada, em diversos aspectos, uma das mais avançadas do mundo. Em 1981, a Política Nacional de Meio Ambiente, criou ferramentas para o planejamento, a gestão e a fiscalização ambiental. Em 1998, foi sancionada a Lei de Crimes Ambientais, a qual responsabiliza pessoas físicas e jurídicas por infrações ambientais, uniformizando as punições e incorporando a extinção de pena frente à comprovação de recuperação do dano ambiental. Os REEE, em contrapartida, só eram contemplados por legislação específica que abordava apenas alguns itens, como o gerenciamento pós-uso de pilhas e baterias – tratado na resolução 257 do CONAMA, de 1999 (posteriormente substituída pela resolução 401, de 2008).

Em 2010, surgiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que, através de acordos setoriais, em negociação, visa estabelecer metas a serem cumpridas. Ela integra a Política Nacional do Meio Ambiente, articulando-se com as diretrizes nacionais para o saneamento básico e com a Política Federal de Saneamento Básico nos termos da Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, com a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, e com a Política Nacional de Educação Ambiental, regulada pela Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999.

- **Pontos de recebimento**

Outro fator importante no cálculo de percentual de destinação correta é a relação entre a população de uma determinada região e a quantidade de pontos de recebimento de resíduos (ABDI, 2012).

Foram obtidos os dados internacionais apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Relação entre ponto de recebimento e população

<b>País</b>	<b>Pontos de recebimento</b>	<b>População</b>	<b>Relação</b>
República Tcheca	11.152	11.352.000	1.018
França	10.300	38.000.000	3.689
Áustria	1.184	8.462.000	7.143
Ontário*	527	11.352.000	21.541

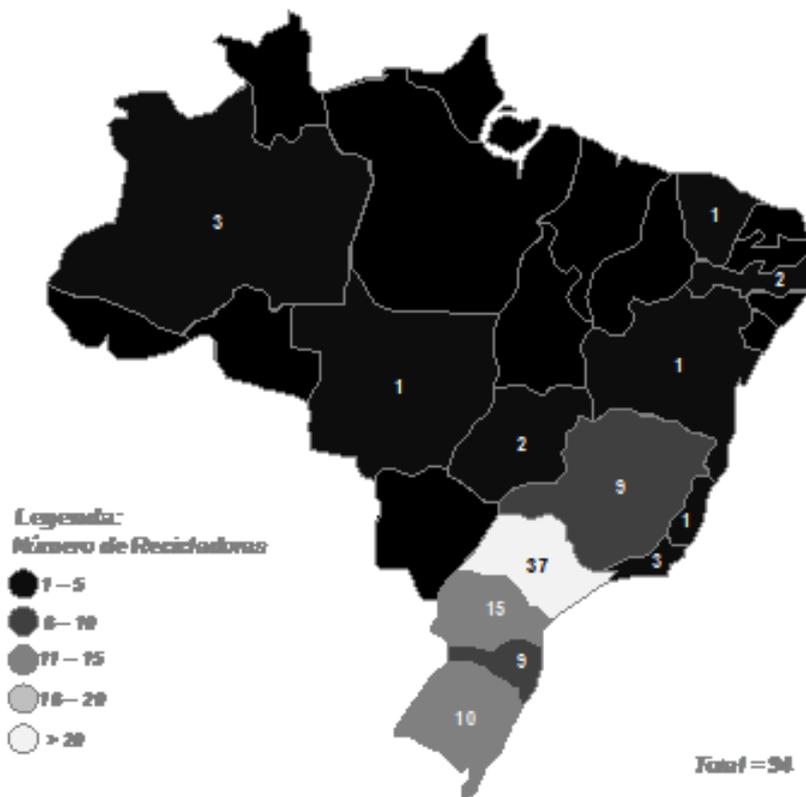
*\* cidade do Canadá*

Fonte: Adaptado de ABDI, 2012

Esse valor é específico em cada programa e modelo. Conhecendo-se as referências internacionais, preferiu-se estimar valores adequados para a realidade brasileira. Por isso, a ABDI propõe 25.000 habitantes por ponto de recebimento como sendo o valor ideal para o Brasil (ABDI, 2012).

A Figura 14 apresenta a quantidade de recicladores de REEE em cada um dos estados brasileiros e mostra as regiões Sul e Sudeste com os maiores números. O estado de São Paulo apresenta 37, seguido pelo Paraná, que possui 15.

Figura 14 – Número de recicladores de REEE por região



Fonte: ABDI, 2012

- **Modelos de responsabilidade pelo REEE**

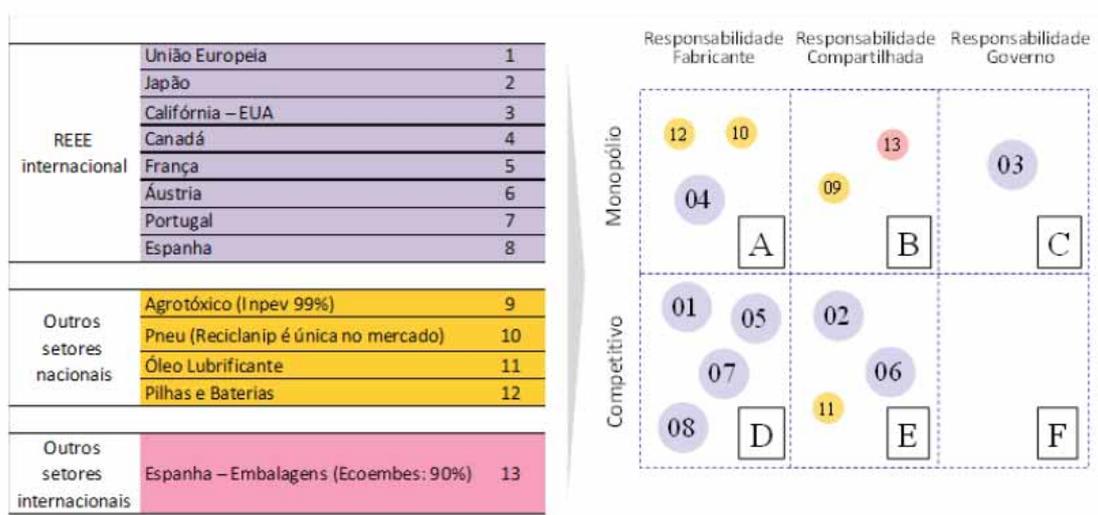
As Tabelas 6 e 7 e as Figuras 15 e 16 apresentam tanto os possíveis modelos de logística reversa referentes à responsabilidade sobre o processo como o modelo usado em países ao redor do mundo.

Tabela 6 – Matriz de modelos de logística reversa

		Responsabilidade pela logística reversa		
		Fabricante	Compartilhada	Governo
		A	B	C
<b>Modelo de competição</b>	<b>Competitivo</b>	Normalmente são iniciativas pioneiras de menor porte com intuito de marketing e/ou fortalecimento de marca do fabricante	Normalmente são grandes organizações não governamentais que gerem a logística reversa	O estado mobiliza para organizar e gerir a logística reversa
		Em algumas iniciativas os fabricantes restringem a coleta apenas à sua própria marca	Esse tipo de iniciativa é uma resposta mobilizada e organizada para a legislação vigente que determina responsabilidade compartilhada no processo	Esse tipo de iniciativa requer um estado atuante com boa capacidade gerencial (tanto no aspecto da logística como no aspecto financeiro)
		Os números normalmente são menos significativos	Modelo mais utilizado por outros setores brasileiros	
	<b>Monopolista</b>	D	E	F
		Normalmente acontece quando muitas organizações não governamentais atuam na logística reversa	Equivalente ao caso [D] mas esse tipo de estrutura é decorrente da iniciativa de diferentes fabricantes à legislação vigente (que determina que a responsabilidade será compartilhada)	Não aplicável
		Os fabricantes criam/se associam a diferentes instituições		
	Esse tipo de estrutura é decorrente da iniciativa de diferentes à legislação vigente.			

Fonte: ABDI, 2012

Figura 15 – Posicionamento de países na matriz de responsabilidade



Fonte: ABDI, 2012

É possível verificar que, em 5 dos 8 países analisados pela Tabela 7 e pela Figura 16, a responsabilidade está sobre o fabricante do resíduo eletrônico. Se forem analisadas um pouco mais a fundo cada uma das variáveis-chave, é possível notar que, embora na França a responsabilidade seja do fabricante, existe uma taxa cobrada ao consumidor no momento da compra do produto a fim de garantir o recurso para a viabilização do processo, como pode ser visto na Tabela 7.

Tabela 7 – Variáveis nos modelos atuais de logística reversa

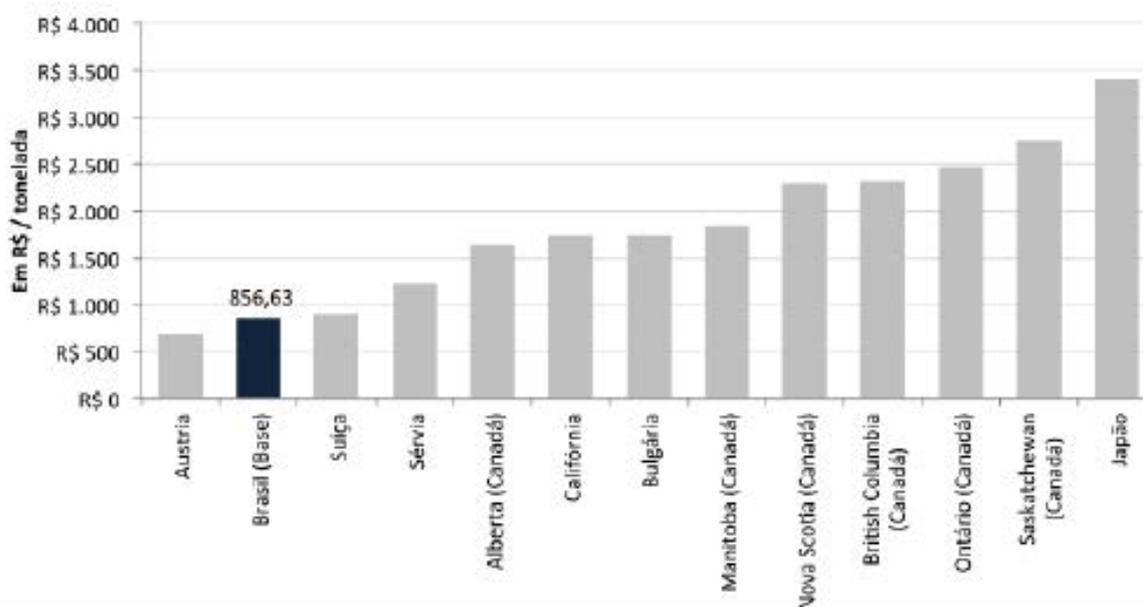
Variáveis chave	REEE Canadá	REEE União Européia	REEE Espanha	REEE Portugal	REEE Japão	REEE Áustria
Fonte dos recursos para viabilização	Fabricantes/Importadores	Fabricantes/Importadores	Fabricantes/Importadores	Fabricantes/Importadores	Custo compartilhado	Custo compartilhado
Responsabilidade pelos produtos órfãos	Governo/Consumidor	Fabricantes/Importadores	Fabricantes/Importadores	Fabricantes/Importadores	Governo/Fabricante	Fabricantes/Importadores
Metas de recolhimento e reciclagem	Com meta de reciclagem	Com meta de recolhimento e reciclagem	Com meta de recolhimento e reciclagem	Com meta de recolhimento e reciclagem	Com meta de reciclagem	Com meta de recolhimento e reciclagem
Grau de responsabilidade do poder público	Atuante	Fiscalizador, operador e legislador	Operador	Legislador, regulador e fiscalizador	Operador	Atuante
Tratamento do Resíduo	Resíduo não perigoso	Resíduo não perigoso	Resíduo não perigoso	Resíduo não perigoso	Resíduo não perigoso	Resíduo não perigoso
Reuso no sistema de logística reversa	Viabilizado pelo sistema	Estimulado por campanhas	Não estimulado	Viabilizado pelo sistema	Estimulado por campanhas	Não estimulado
Segregação do Resíduo por marcas	Sem segregação por marcas	Com segregação por marcas	Com segregação por marcas	Com segregação por marcas	Com segregação por marcas	Sem segregação por marcas
Responsabilidade proporcional pelo REEE	Definida proporcionalmente	Individualizada	Individualizada	Individualizada	Individualizada	Individualizada
Modelo de Competição	Monopólio	Competitivo	Competitivo	Competitivo	Competitivo	Competitivo

Fonte: ABDI, 2012

É importante considerar também que o custo de manejo e descarte do resíduo eletrônico varia de região para região, sendo influenciado por alguns dos fatores levantados anteriormente, como distância física entre pontos de coleta e pontos de descarte, matriz energética e investimentos do país em P&D (ABDI, 2012).

A Figura 16 mostra os custos estimados de diferentes países para logística reversa de REEEs por peso.

Figura 16 – Comparação de custos de logística reversa

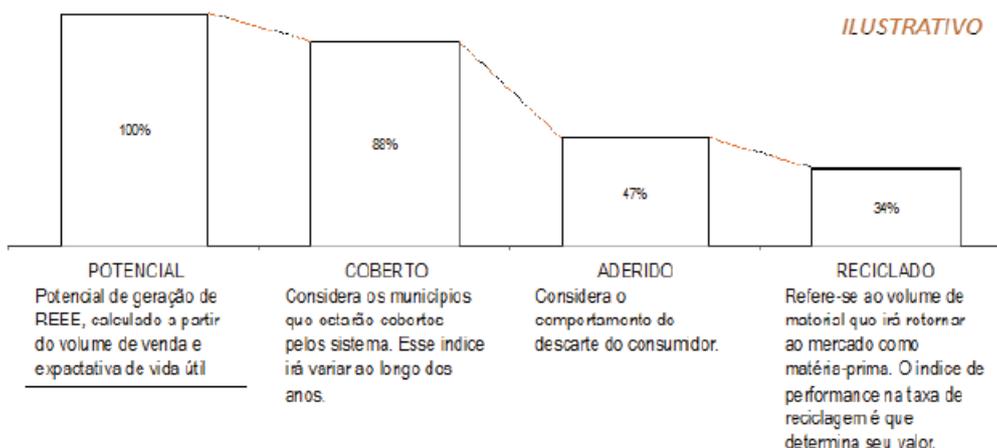


Fonte: ABDI, 2012

Nota-se que o Brasil, embora muito grande em área territorial, apresenta um valor calculado de logística reversa relativamente baixo quando comparado a outros países.

A Figura 17 mostra a modelagem de retorno por região usada no cálculo dos cenários de reciclagem. Considerando como potencial de geração de REEE o volume de vendas de equipamentos eletroeletrônicos e a expectativa de vida útil deles, temos um montante equivalente a 100% do potencial de resíduos. No entanto, apenas 80% dos municípios desse potencial estão na área de cobertura do sistema de logística reversa. Nem todos os consumidores dentro dessa área aderem ao descarte do equipamento de maneira a permitir a chegada desses produtos à reciclagem. Por fim, apenas um percentual de aproximadamente 35% será efetivamente reciclado.

Figura 17 – Percentual de reciclagem

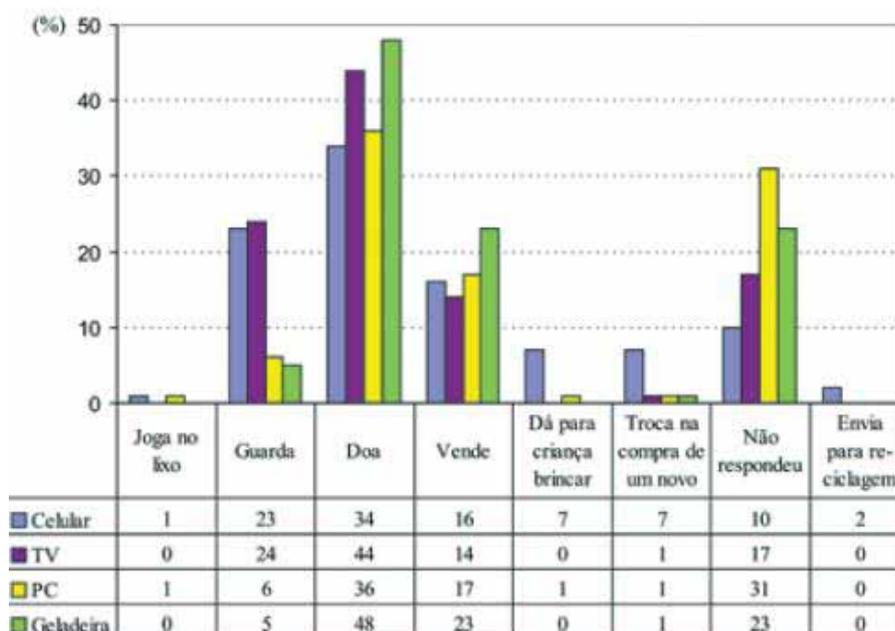


Fonte: ABDI, 2012

A partir de um potencial de geração de REEE, é possível calcular o percentual médio reciclado considerando o comportamento de descarte do consumidor e a cobertura do sistema de logística reversa de uma determinada região.

Um estudo de 2008, realizado na região de Belo Horizonte (FRANCO, 2008), mostra que o maior percentual dos consumidores daquela região fazem doação dos aparelhos eletrônicos ao final da primeira vida útil, o que acarreta o reuso dos equipamentos. A Figura 18 mostra que o índice de doação está, na média, em torno de 40%.

Figura 18 – Destino dado aos equipamentos eletroeletrônicos



Fonte: FRANCO, 2008

### 3.4 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA

Uma das técnicas para identificar os impactos ambientais associados a um produto, desde a extração dos recursos naturais, passando pela fase de fabricação até o uso e descarte, é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de produtos, surgida na década de 60 (SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY, 1993; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009).

Essa metodologia engloba a análise de todas as etapas da vida útil de um produto, desde extração e uso das matérias primas, produção das partes e montagem até as quantidades de energia e água necessárias para fabricá-lo. Inclui ainda as etapas de comercialização, uso e destinação final de resíduos, tanto do processo produtivo quanto do próprio produto ao término de sua vida útil (GIANELLI, 2014).

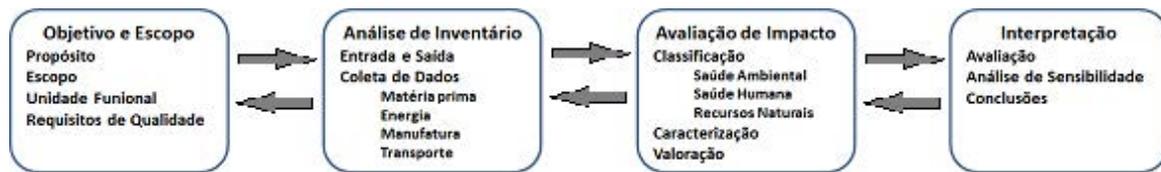
Uma ACV pode ser usada para diferentes fins. De acordo com Curran (1996) e Society of Environmental Toxicology and Chemistry (1993), do ponto de vista industrial, ela permite entre outras coisas:

- Subsidiar a análise de pontos de melhoria em um produto;
- Apresentar qualidade de dados para tomadas de decisão baseadas em consequências ambientais;
- Quantificar emissões de gases, de resíduos sólidos e de efluentes líquidos do produto ou processo;
- Realizar comparação entre dois produtos ou processos com a mesma finalidade;
- Escolher indicadores de desempenho ambiental mais relevantes para cada estudo;
- Ser usada como forma de marketing, desde que seguindo as regras definidas em normas e legislações vigentes.

#### 3.4.1 Fases de uma ACV

De acordo com a Organização Internacional de Padronização (ISO, na sigla em inglês para *International Organization for Standardization*), um estudo de ACV é dividido em quatro fases (NBR ISO, 2009). A Figura 19 apresenta cada uma delas e o que englobam.

Figura 19 – Fases de uma ACV



Fonte: Retirado de CHEHEBE, 1997

### Objetivo e definição de escopo

Na fase inicial do processo de ACV, define-se o que se deseja alcançar, como o estudo será conduzido e a aplicabilidade esperada dos resultados. O objetivo descreve o que se pretende realizar com a avaliação, enquanto o escopo foca na condução do estudo e na aplicabilidade dos resultados obtidos. Essa fase define as fronteiras do sistema avaliado, o objetivo do estudo e o nível de detalhes desejados. Especifica processos, insumos e energia considerados ou excluídos da avaliação (GIANELLI, 2014).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009), essa etapa inclui os itens a seguir:

- sistema de produto a ser estudado;
- as funções do sistema de produto;
- a fronteira do sistema;
- categorias de impacto selecionadas;
- metodologia para avaliação de impactos;
- interpretação utilizada;
- requisitos de dados;
- pressupostos;
- procedimentos de alocação;
- limitações;
- tipo de revisão crítica, se aplicável;
- tipo e formato do relatório requerido para o estudo.

## Análise de inventário

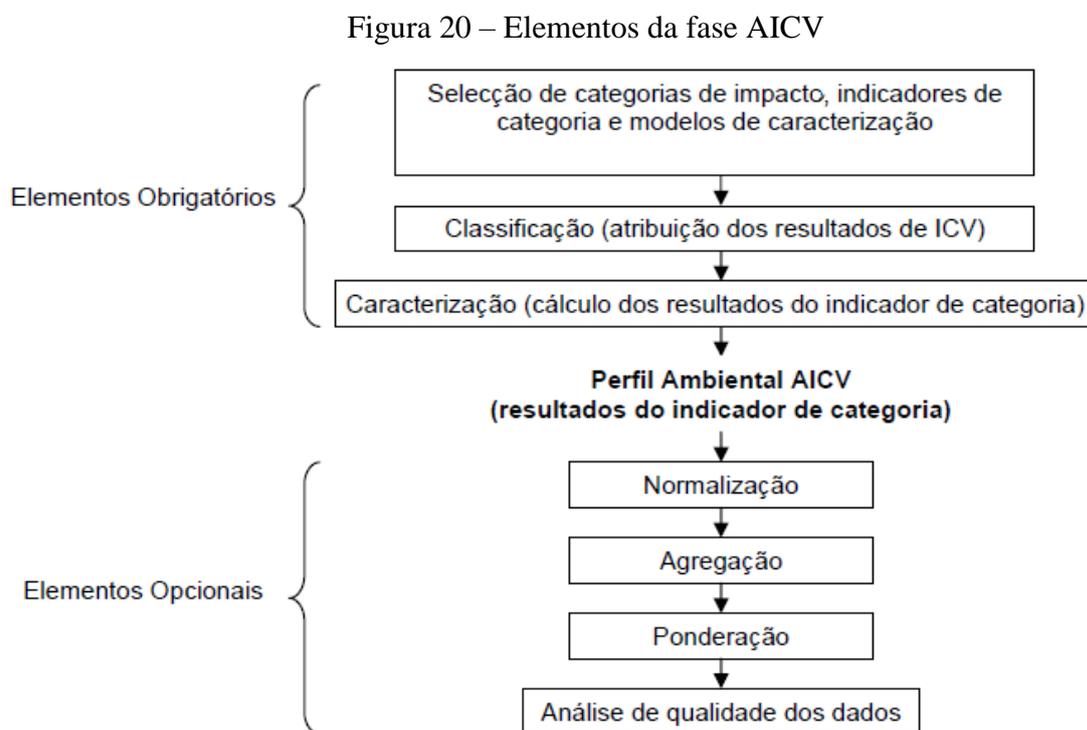
Essa etapa refere-se tanto ao levantamento e à coleta dos dados de entrada e saída pertinentes ao sistema quanto à definição dos procedimentos para quantificar esses valores (LIMA, 2012).

## Avaliação de impactos

De acordo com Ferreira (2004), a avaliação de impactos é definida como um processo técnico, quantitativo e/ou qualitativo que caracteriza e avalia os efeitos das cargas ambientais identificadas na etapa anterior.

A Análise de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) permite transformar os dados do inventário em informações relevantes por meio do conhecimento agregado de impactos ambientais em potencial. Também facilita a agregação e interpretação dos dados de modo mais amigável e lógico, permitindo tomadas de decisão (SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY, 1993).

Essa fase possui elementos obrigatórios e opcionais (FERREIRA, 2004), os quais podem ser visualizados mais claramente na Figura 20.



Observa-se que os elementos obrigatórios transformam os resultados do inventário em resultados de indicador de categoria nas diferentes categorias de impacto, enquanto os elementos opcionais têm o papel de normalizar, agrupar e ponderar os resultados do indicador e das técnicas de análise de qualidade dos dados (FERREIRA, 2004).

Dessa forma, a AICV é a fase em que os dados adicionais mais específicos sobre impactos ambientais são considerados para a análise final (GERT VAN HOOFF, 2013).

### **Interpretação**

A interpretação é a fase na qual os resultados são compilados e discutidos para que conclusões possam ser tomadas corretamente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009). De acordo com a International Organization for Standardization (2000), essa última fase da avaliação é um procedimento que pretende identificar, qualificar, verificar e analisar os resultados levando a possíveis conclusões, definindo limites e sugerindo recomendações.

As conclusões dessa fase indicam estágios críticos no ciclo de vida do produto ou serviço analisado que podem indicar os primeiros itens a serem revistos e alterados para melhorias de desempenho ambiental, como substituição de processos, troca de matéria-prima, substituição da fonte energética, entre outros (GIANELLI, 2014).

#### *3.4.2 Método de análise de impacto*

O Eco-Indicator 99 é um dos métodos mais usados atualmente em trabalhos acadêmicos, dentre os quais se destacam Arnold e Alston (2013), Yahaya (2012) e Huang (2013). O método foi desenvolvido pelo *Swiss Centre for Life Cycle Inventories*, do Instituto Federal Suíço de Tecnologia, em conjunto com o Instituto Paul Scherrer e com os Laboratórios Federais Suíços para Teste e Pesquisa em Materiais. Esse método inclui três análises de danos, saúde humana, qualidade do ecossistema e recursos naturais, o que permite avaliar diferentes aspectos e obter uma visão abrangente dos resultados (GIANELLI, 2014).

As categorias de impacto do método Eco-Indicator 99 incluem: carcinogêneos, respiráveis orgânicos, respiráveis inorgânicos, mudança climática, radiação, depleção da camada de ozônio, ecotoxicidade, acidificação/eutrofização, uso da terra, minerais e combustíveis fósseis (GIANELLI, 2014).

## 4 MATERIAIS E MÉTODO

### 4.1 MAPEAMENTO DO PRODUTO

Os produtos eletroeletrônicos escolhidos para a implementação da tecnologia de Avaliação do Ciclo de Vida foram duas impressoras. Ambas possuíam a mesma tecnologia de impressão (jato de tinta) e eram de uso residencial. A impressora A possuía funcionalidade *scanner*.

A caracterização dos produtos levou em consideração o material de cada peça e sua massa. O mapeamento das peças foi realizado através da desmontagem das impressoras e da identificação dos materiais por meio de especificações das peças, de consulta ao fabricante e, quando necessário, de análise em espectrofotômetro de infravermelho da Perkin Elmer, modelo Frontier. Por meio desses processos foi possível caracterizar a impressora item a item, tais como: nome, quantidade, material e cor de cada peça. Também foi executada a pesagem de cada uma das peças na Balança Analítica Classic MS204S/A01 Mettler-Toledo para definir seu impacto em massa no conjunto da impressora. Vale ressaltar que o processo de mapeamento foi completamente fotografado, permitindo, assim, a validação dos dados levantados e a identificação mais precisa das peças.

### 4.2 ANÁLISE DE IMPACTOS AMBIENTAIS

O *software* SimaPro, desenvolvido pela empresa PRé Consultants, é uma ferramenta para cálculo de impactos ambientais baseado na metodologia de ACV, usando banco de dados preestabelecidos e categorias de impactos predefinidas. Entre as ferramentas para esse fim disponíveis no mercado atualmente, o SimaPro é uma das mais respeitadas (GIANELLI, 2014).

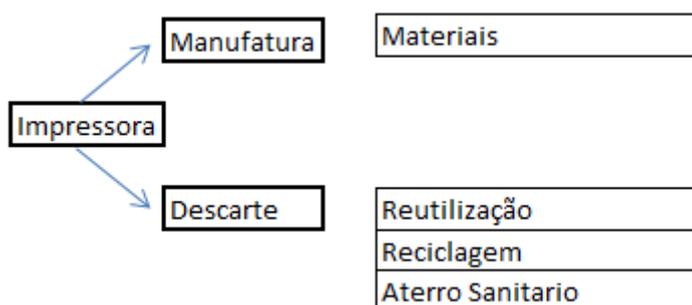
Tomando como base os resultados da primeira etapa, definiu-se a impressora como um conjunto de materiais, cada um com sua devida percentagem em peso, sendo que peças compostas da mesma matéria-prima foram agrupadas, otimizando-se, assim, o processo de entrada de dados no *software*. Os materiais que não possuíam correspondência com o banco de dados do *software* foram substituídos por materiais similares, levando-se em conta a pequena percentagem em peso destes em relação ao peso total da impressora. Todos os materiais foram inseridos sistematicamente no SimaPro em formato de árvore produtiva, possibilitando, assim, a geração da árvore de matéria-prima da impressora.

### 4.3 DEFINIÇÃO DOS QUESITOS A SEREM CONSIDERADOS

A definição dos quesitos a serem considerados tomou como base o levantamento dos dados apresentados e a metodologia de ACV.

O sistema de produto da impressora A a ser estudado pode ser visto na Figura 21. No estudo da impressora B, foi considerada apenas a composição das peças em termos de material e massa; o descarte não foi simulado.

Figura 21 – Sistema do produto avaliado



Fonte: Elaborado pela autora

O escopo foi definido tendo como objetivo identificar os impactos ambientais de uma impressora considerando apenas os materiais usados na fabricação e a destinação final dela após o uso. Não foram consideradas neste estudo a energia elétrica consumida na produção nem a etapa de uso do produto.

Esse escopo, embora restrito por não considerar a etapa de uso ou até mesmo os dados de energia de produção, foi propositalmente reduzido pela restrição de dados disponíveis e para que houvesse um controle maior das variáveis. Dessa forma, julgou-se que era possível avaliar mais claramente como a influência nos impactos ambientais causados por produtos semelhantes está relacionada à composição do equipamento. As categorias de impacto foram selecionadas considerando emissões de gases de efeito estufa. A metodologia usada para a avaliação foi o Eco-Indicator 99.

Foram definidos alguns cenários com diferentes percentuais para reutilização, reciclagem e descarte em aterro a fim de realizar uma comparação. O cenário inicial (CI) prevê 25% dos equipamentos destinados a aterros sanitários, 35% destinados a reciclagem e 40% destinados ao reuso.

Para que pudesse ser definido o percentual de reuso, foi considerado o volume de doação, retirado da Figura 18, que corresponde a aproximadamente 40%.

A fim de definir o percentual de reciclagem, foram considerados o volume de venda, a cobertura da logística reversa através de pontos de coleta, o percentual de reciclagem da região e o volume de REEE coletado e gerado. Por meio da Figura 17, apresentada anteriormente, dos percentuais de potencial de geração de REEE, além da cobertura dos pontos de coleta e do comportamento dos consumidores em determinada região, foi possível chegar ao percentual de material reciclado, que corresponde a aproximadamente 35%. Esse número foi definido como percentual de reciclagem para o cenário-base.

Para que fosse definido o percentual de descarte em aterro, foram considerados o volume de reuso, o volume de reciclagem e a diferença do volume de produção, chegando a 25%.

Após o levantamento completo dos dados, o *software* foi usado para visualização dos impactos ambientais das impressoras e a comparação entre as duas.

Desenhou-se um cenário de destinação final de resíduos como linha de base e definiram-se outros cenários comparativos simulando realidades distintas. Além disso, cada um desses cenários comparativos sofreu uma variação para avaliar a influência da reciclagem de poliestireno de alto impacto (HIPS) e do polímero de acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) desses produtos. Esses dois materiais foram escolhidos por serem os materiais mais economicamente viáveis em termos de reciclagem no país. Nas quantidades esperadas, é possível inclusive a reciclagem conjunta desses materiais, obtendo-se produtos de qualidade, o que é raro na reciclagem de plásticos mistos (ZANIN; MANCINI, 2004).

O primeiro cenário comparativo (CC1) propõe que 50% sejam descartados em aterro sanitário, 0% seja reciclado e 50% sejam reutilizados. O segundo cenário comparativo (CC2) propõe que 10% vão para aterro sanitário, 75% sejam reciclados e 15% sejam reutilizados.

O CC1 pretende simular uma região pobre, com pouco investimento em destinação final adequada para equipamentos, onde a reciclagem não existe ou pode ser desconsiderada e onde o índice de reuso de tais equipamentos é alto, sendo reaproveitados quando não são mais necessários a um determinado usuário.

O CC2, em contrapartida, pretende simular uma região mais rica, com bastante investimento em reciclagem, mas onde, por questões econômicas, o equipamento perde seu valor – não apenas para o usuário inicial – e o índice de reuso diminui bastante.

#### 4.4 COMPARAÇÃO DE IMPACTOS

As duas impressoras foram analisadas separadamente e, depois, comparativamente, usando o Método Eco-Indicator 99 (H) V2.08 / Europe EI 99 H/H, tanto por ponderação quanto por pontuação única.

Considerou-se que os aspectos socioeconômicos influenciam a destinação final do produto quando é levado em conta o ciclo de vida da impressora. Sendo assim, a comparação dos impactos via simulação de resultados da ferramenta de análise de impactos ambientais foi feita alterando o cenário de destinação final dos produtos, com percentuais estipulados para cada uma das realidades (item 4.3).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 IMPRESSORA A

#### 5.1.1 Mapeamento da impressora A

A Tabela 8 apresenta a impressora, caracterizada em termos de cada uma de suas partes, fotografada, pesada e separada por tipo de material.

Tabela 8 – Partes da impressora A

NOME	QUANT	MASSA (g)	MATERIAL - ESPECIFICAÇÃO GENÉRICA
GRAMPO	2	0.43	AÇO CARBONO
PARAFUSO	3	1.77	AÇO CARBONO
PARAFUSO	4	1.70	AÇO CARBONO
PARAFUSO	29	18.26	AÇO CARBONO
PARAFUSO	1	0.66	AÇO CARBONO
PLAQUETA	1	0.38	ALUMÍNIO
FIO	2	3.19	
FERRITE	1	4.24	NiZn FERRITE
FERRITE	1	13.20	NiZn FERRITE
FERRITE	1	0.80	NiZn FERRITE
ENCAIXE DA MOLA	2	0.77	AÇO CARBONO
SUPORTE MOLA	2	0.38	AÇO INOX
TRAVA DE MOLA	2	3.68	AÇO CARBONO
ENGRENAGEM	8	0.54	AÇO INOX
SUPORTE	1	0.34	AÇO INOX
PRATO	1	0.16	AÇO INOX
MOLA	3	0.41	AÇO INOX
EIXO POLIA	1	0.31	AÇO INOX
PINO	1	0.40	AÇO INOX
POLIA	1	0.59	POM
DESLIZANTE	1	0.08	POM
ADESIVOS	1	-	
BASE DO CARRO	1	-	
MOLA	1	0.42	AÇO INOX
PNEU	2	2.55	elastômero termoplástico
TRAVA CARTUCHO	2	6.70	PC + 20% GF

CONJ MOTOR	2	101.11	
ENGRENAGEM	2	0.67	POM
CONJ MOTOR	1	22.07	
PÉS ADESIVOS	2	0.48	PU
PIRAMIDE PRINCIPAL	1	190.57	AÇO CARBONO
SUPORTE DE PAPEL	1	36.09	AÇO CARBONO
ALIMENTAÇÃO	1	61.70	AÇO CARBONO
MOLA	2	0.24	AÇO INOX
MOLA	1	1.06	AÇO INOX
HASTE	1	95.44	AÇO CARBONO
MOLA	2	0.29	AÇO INOX
MOLA	4	1.75	AÇO INOX
MOLA	1	0.30	AÇO INOX
MOLA	2	0.24	AÇO INOX
MOLA	1	0.05	AÇO INOX
MOLA	1	0.27	AÇO INOX
MOLA	1	0.09	AÇO INOX
MOLA	4	0.46	AÇO INOX
MOLA	1	0.16	AÇO CARBONO
EIXO DE PNEUS	4	1.36	EPDM
ENGRENAGEM	1	0.92	POM
BRAÇO	1	0.64	ABS + 20% GF
CONECTOR	1	0.73	ABS + 20% GF
ENGRENAGEM	1	1.07	POM
ENGRENAGEM	1	1.48	POM
CARGA	1	11.28	ABS
BRAÇO	1	0.58	ABS + 20% GF
BRAÇO	1	0.29	ABS
ENGRENAGEM	1	0.80	POM
PAREDE ENGRENAGEM	1	12.42	ABS + 20% GF
BASE CARTUCHO	1	29.67	PC + 20% GF
ENCAIXE FLEXIVEL	1	1.55	PP
CALHA CARTUCHO.	1	26.26	PC + 20% GF
PRATELEIRA ALIMENTAÇÃO	1	1.42	POM
SAÍDA	1	6.49	ABS
ENGRENAGEM	1	2.39	POM
ROLO	8	2.03	POM
GUIA DE PAPEL SUPERIOR	4	49.42	PC + 20% GF
ESPAÇO DE SAÍDA	1	6.05	HIPS
SUPORTE	1	12.01	ABS + 20% GF
CORREIA	1	1.57	PU

BRAÇO	1	0.67	ABS
TAMPA	1	17.83	HIPS
ENGRENAGEM	1	2.96	ABS
GUIA ALIMENTAÇÃO	1	1.55	ABS
ENGRENAGEM	1	1.20	POM
ENGRENAGEM	3	0.72	POM
SUPORTE	1	0.16	ABS
ENGRENAGEM	1	0.74	POM
BRAÇO	1	0.38	ABS
BRAÇO	1	0.56	ABS
ENGRENAGEM	3	1.63	POM
ENGRENAGEM	1	1.19	POM
TAMPA SUPERIOR DA GUIA DO PAPEL	1	3.40	PP
BRAÇO	1	2.43	POM
REDUTOR	1	0.91	POM
PINÇA	1	8.46	POM
PRATELEIRA	1	6.74	POM + 10 % GF
ENGRENAGEM	1	1.00	POM
BANDEIRA	1	0.42	POM
BRAÇO	1	37.29	ABS + 20% GF
PLACA	1	35.68	POM
QUADRO	1	15.06	HIPS
ACIONAMENTO	1	0.81	POM
APOIO	1	4.79	ABS + 20% GF
LÂMINA	1	2.08	POM
LÂMINA	1	0.44	ELASTOMERO
ALMOFADA	2	0.31	SILICONE
ATUADOR	2	1.26	PC + 20% GF
ALIMENTADOR BANDEJA	1	1.33	POM
LIMPEZA	1	15.84	HIPS
SUPORTE	1	2.10	PC + 20% GF
ENGRENAGEM	1	1.27	POM
GRAMPO	1	1.56	POM
GRAMPO	1	0.13	POM
GRAMPO	1	0.20	POM
GRAMPO	1	0.22	EPDM
GRAMPO	1	0.29	EPDM
BLOCO SEPARADOR	2	1.46	POM
ENGRENAGEM	1	0.61	POM
ELEVADOR	1	1.50	HIPS
ROLO	2	1.03	POM

CORREIA MOTOR	1	0.52	PU
CONJUNTO DE PAPEL	1	3.42	
PIRAMIDE	1	7.16	
SENSOR	1	5.11	
DISCO	1	0.28	PES
ALMOFADA	4	0.54	BORRACHA
ESPUMA	1	0.06	PU
ESPUMA	1	0.06	PU
ESPUMA	1	0.15	PU
FITA	1	0.51	PES
CABO	1	0.58	Cu / PES
ABSORVEDOR	1	0.42	PES
ABSORVEDOR	1	0.10	PES
TAMPA	1	0.04	PAPEL
RODA	2	0.59	HIPS
ATUADOR	2	1.82	POM
TRANSPORTE SCANNER	1	22.05	ABS + 20% GF
SCANNER CONJ	1	51.06	
GRAMPO	1	1.51	AÇO CARBONO
PORTA	1	6.78	HIPS
BASE	1	653.92	HIPS
BASE SCANNER	1	359.57	HIPS
MOLDURA SCANNER	1	134.72	HIPS
BANDEJA DE ENTRADA	1	93.82	HIPS
MOLDURA TECLADO	1	55.41	HIPS
AJUSTE DE LARGURA	1	9.09	POM
BOTÃO DE ENERGIA	1	0.18	HIPS
TUBO DE LUZ	1	1.70	SAN
ROLETES DA SAIDA	1	0.83	ABS
PAINEL DE CONTROLE DO TUBO DE LUZ	3	1.00	PC
CHICOTE COM FIO PARA MOTOR DO PAPEL	1	0.88	
CHICOTE COM FIO PARA CARRO MOTOR	1	0.88	
PLACA	1	9.32	
CONJ TAMPA	1	396.08	HIPS
TECLADO IMPRESSO	1	2.66	ABS
CONJ BANDEJA DE SAÍDA	1	140.74	HIPS
CABO FLEXIVEL	1	3.55	Cu
TRILHO SCANNER	1	3.65	
PAINEL DE CONTROLE DO CABO	1	0.56	
PLACA DE CONTROLE	1	45.09	
PORTA CARTUCHOS	1	54.58	HIPS

ENGRENAGEM	1	2.65	POM
ENGRENAGEM	1	0.80	POM
MOLA ATUADOR	1	0.05	AÇO CARBONO
VIDRO	1	578.94	VIDRO
APOIO	1	0.29	
GRAMPO	1	1.55	ABS
FAIXA	1	3.28	HIPS
		<b>3582,19</b>	
		<b>g</b>	

Onde: HIPS – Poliestireno de Alto Impactos; ABS - Acrilonitrila butadieno estireno; POM – poliacetal; PC – Policarbonato; SAN – Estireno Acrilonitrila; PES – Polieter Sulfonas; PP – Polipropileno; PU - Poliuretano; PTFE – Politetrafluoretileno; EPDM – Etileno Propileno Dieno

Fonte: Elaborado pela autora

Observa-se pela Tabela 8 que o mapeamento dividiu a impressora em quantidade de partes igual a 251 peças ou subpartes, as quais foram categorizadas por grandes tipos de material. A Tabela 9 apresenta a composição da impressora, mapeada de maneira resumida, por material.

Tabela 9 – Composição da impressora A em massa

<b>Material</b>	<b>Percentual</b>
HIPS	54,7%
ABS	3,3%
PC	3,2%
Aço	11,6%
Vidro	16,2%
POM	2,2%
Outros Plásticos	0,7%
Outros Materiais (não plásticos)	8%

Fonte: Elaborado pela autora

Observa-se pela Tabela 9 que o HIPS (poliestireno de alto impacto), material muito comum na indústria eletrônica, foi aquele com maior percentual em massa encontrado no mapeamento, correspondendo a 58% do produto. Ao todo, os plásticos representam 64,1% dessa impressora.

### 5.1.2 Entrada de materiais da impressora A no software

Tomando como base o mapeamento das peças exposto no item 5.1.1, optou-se por agrupá-las segundo as matérias-primas que as compõem, otimizando, assim, a entrada de dados no SimaPro, conforme apresentado na Tabela 10. A primeira coluna possui os materiais identificados; a segunda apresenta a massa somada de cada um deles e a terceira, a categoria considerada para entrada de dados no SimaPro.

Com isso, reduziu-se a quantidade de entrada de dados a apenas 21 matérias-primas principais. Não foi possível localizar 7,5% em peso dos constituintes da impressora na base de dados do SimaPro, realizando-se, assim, o mapeamento de 3.315,60 gramas.

Tabela 10 – Transformação para materiais do SimaPro da impressora A

Material (A)	Massa (g)	Considerado para entrada no Sima Pró
ABS	22,89	
ABS+ 20% FV	97,00	ABS
Aluminio	0,38	
Aramid Paper	0,04	
Aço Carbono	412,79	
Borracha	0,54	
CuPES	4,13	Cabo de Impressora
EPDM	1,87	Borracha Sintética
Vidro	578,44	
HIPS	1955,95	
NiZn Ferrite	18,24	Ferrite
Polycarbonato	1,00	
PC + 20% Fibra de Vidro	115,41	Plastico com Fibra de Vidro
PES	1,31	Plastico com Fibra de Vidro
POM	85,00	não foi encontrado nada equivalente e não foi considerado.
PP	4,95	
PU	2,94	
SAN + 1% MS	1,70	
Silicone	0,31	
Aço Inoxidavel	7,71	
Elastometro Termoplastico	3,00	

Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 22 ilustra como o *software* SimaPro apresenta a árvore de materiais para as matérias-primas listadas. Cada uma das caixas azuis apresenta uma categoria nomeada de acordo com o mapeamento enquanto cada uma das caixas cinza representa um material do banco de dados do SimaPro usado para compor o material identificado. Por exemplo: NiZn

Ferrite foi o material identificado; no SimaPro, o material escolhido entre as opções do banco de dados foi *Ferrite at plant GLOs*.

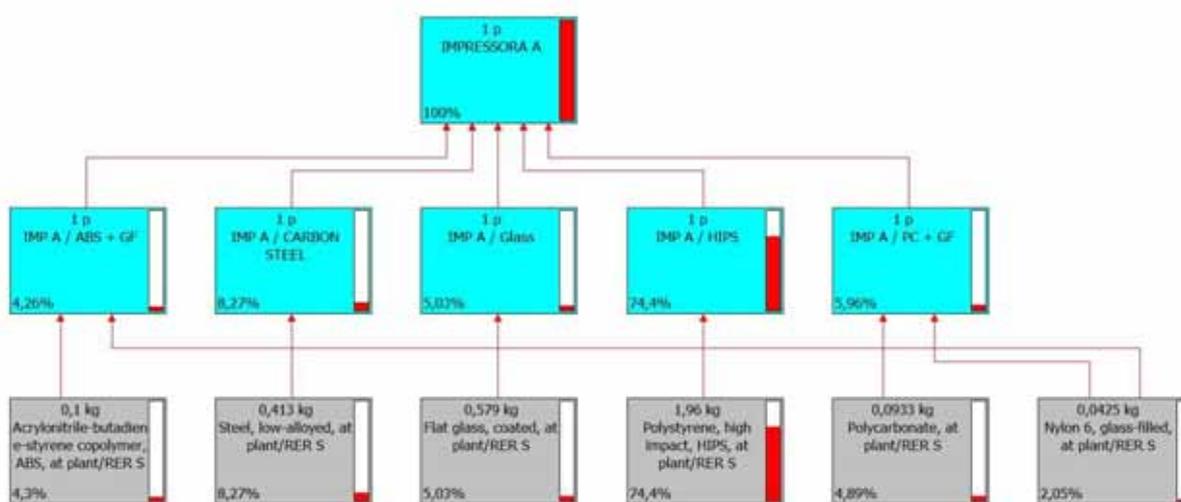
Um pedaço da imagem foi aumentado para permitir a visualização das caixas. Nota-se na figura uma indicação visual vertical em vermelho à direita de cada caixa, tanto maior quanto o percentual de impacto do referido material na composição da impressora, de acordo com o indicador analisado.



### 5.1.3 Impacto da impressora A

A Figura 23 apresenta somente as cinco principais matérias-primas, em termos de impacto, relacionadas à impressora A. Por meio dessa imagem, é possível visualizar o impacto do material HIPS como sendo o mais expressivo da impressora A, equivalente 74,4%. Em seguida vem o aço carbono, com 8,27%, seguido de PC+GF, com 5,96%, vidro, com 5,03%, e, finalmente, o ABS, com 4,26%.

Figura 23 – Árvore das matérias-primas mais representativas da impressora A em termos de impacto

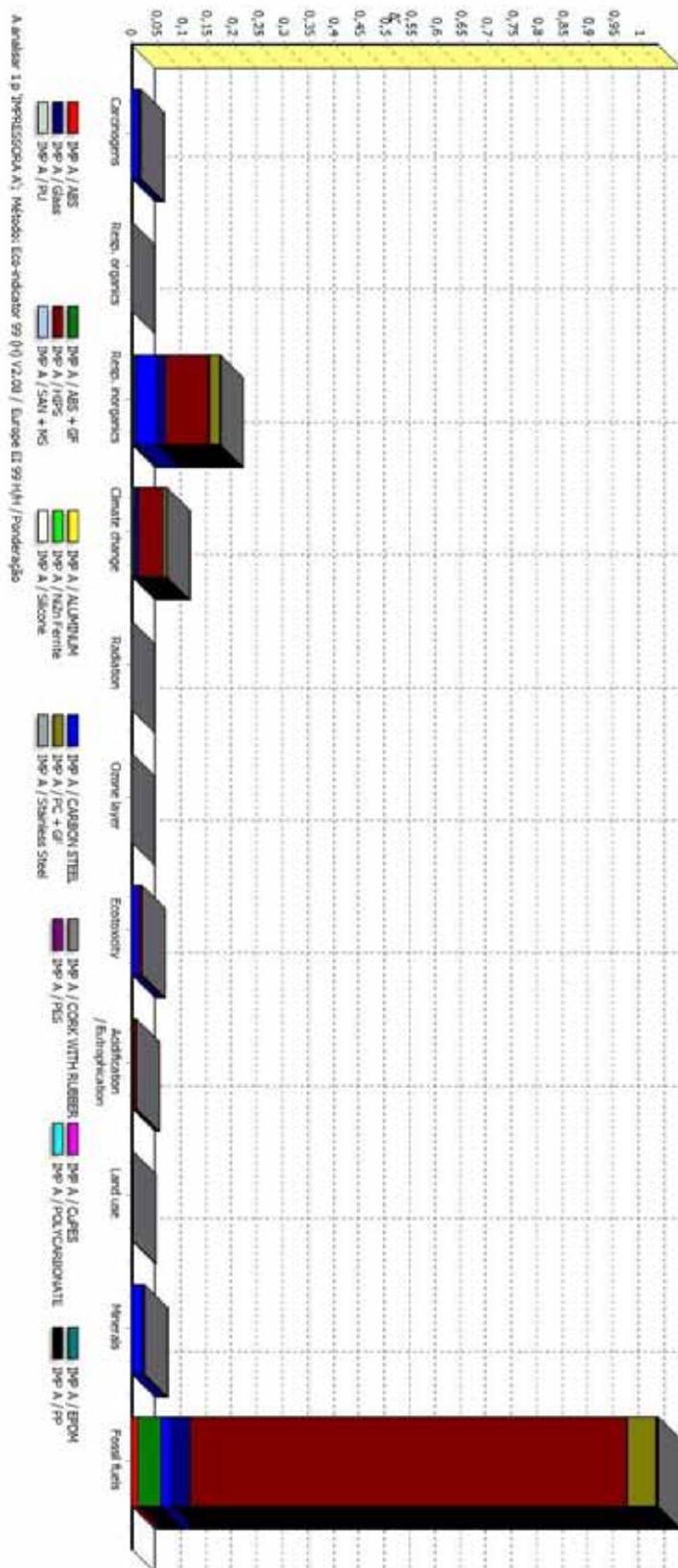


Fonte: Elaborado pela autora

Para uma visualização mais detalhada das categorias de impacto e da contribuição de cada um dos materiais em cada categoria, a Figura 24 apresenta a ponderação de impacto da impressora A. Como mostra o gráfico, os combustíveis fósseis são os mais afetados pela composição da impressora, seguidos pelos inorgânicos e pelas mudanças climáticas. O HIPS, em marrom, é visualmente o mais impactante, assim como na figura anterior.

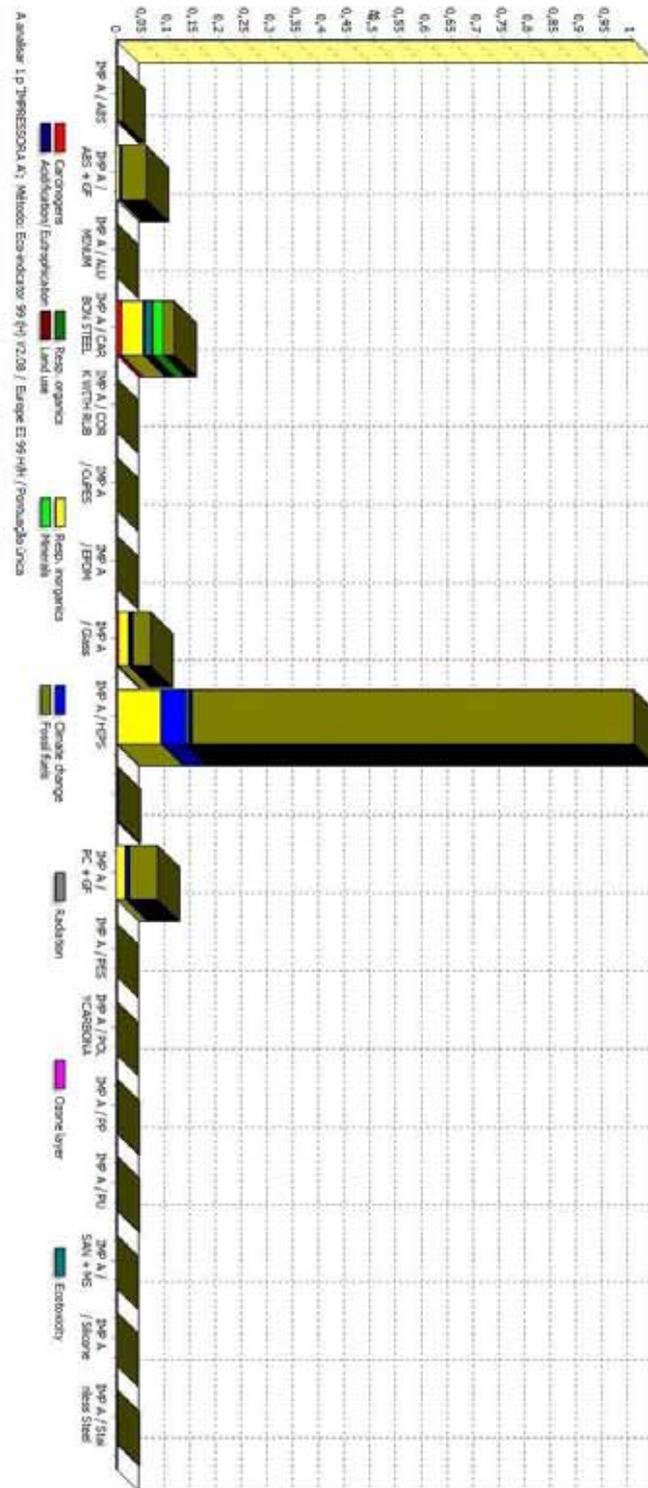
A Figura 25 apresenta os mesmos resultados expressos diferentemente. Os impactos são distribuídos por material, o que torna evidente a maior participação do HIPS em termos de impactos ambientais computados de forma única.

Figura 24 – Ponderação de impacto da impressora A por categorias de impacto



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 25 – Pontuação única de impacto impressora A, dessa vez expressa por material



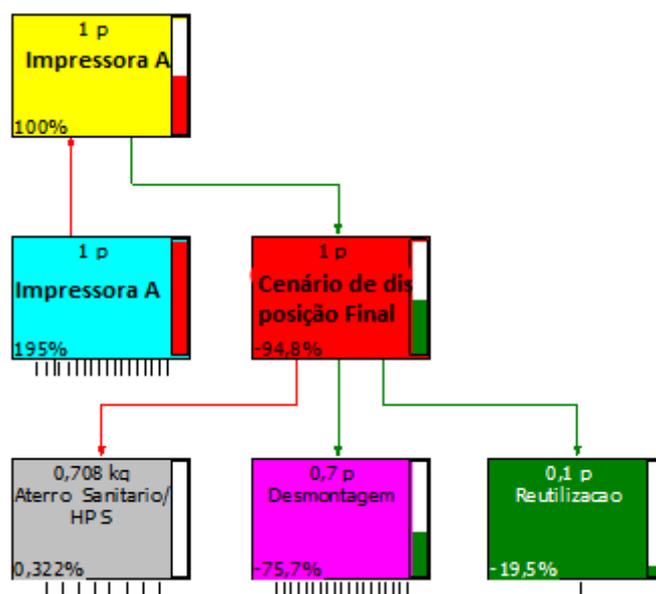
Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 26 apresenta um fluxograma considerando os três cenários estipulados: aterro sanitário, desmontagem para reciclagem e reutilização. Os números no canto inferior

esquerdo de cada um dos retângulos foram calculados pelo SimaPro e indicam o impacto gerado pela atividade representada pelo retângulo em questão.

A caixa azul representa toda a composição da impressora. Sozinha, ela equivale a toda a Figura 22. A caixa vermelha representa os impactos da destinação final. A caixa amarela é a soma dos dois impactos (impacto numericamente positivo da composição da impressora e impacto numericamente negativo da destinação final). Nesse caso, o cenário de destinação final apresentou um impacto numericamente negativo (-94,8%), o que representa ganhos ambientais equivalentes a quase 50% dos danos causados pela produção do produto (+195%, indicado na caixa azul).

Figura 26 – Fluxograma considerando os três cenários possíveis: aterro sanitário, reciclagem e reutilização



Fonte: Elaborado pela autora

Na Tabela 11, mostram-se os resultados obtidos nos cenários de disposição comparados por meio da ferramenta utilizada. Nessa tabela, considera-se que um DALY (*disability-adjusted life year*) equivale à perda de um ano de vida saudável devido a doenças atribuíveis ao meio ambiente (ANAND; HANSON, 1997).

Tabela 11 – Resultados das simulações de cenários de disposição

Cenário	(aterro/rec/reutil)	Mudança Climática	Combustível Fossil
		(daly 10E9)	(MJ)
CI	25% 35% 40%	570,68	7,24
CC1	50% 0% 50%	860,09	12,08
CC2	10% 75% 15%	486,57	5,19

Fonte: Elaborado pela autora

Observa-se que a disposição do produto em aterro aumenta consideravelmente os impactos. Os menores deles acontecem em um cenário em que a reutilização é pequena, mas o nível de reciclagem é elevado e há pouquíssima destinação final inadequada. Tendo em vista a importância da reciclagem para esse tipo de produto no que diz respeito a impactos ambientais, é interessante avaliar os resultados obtidos da reciclagem de HIPS e ABS, materiais com grande percentual (58%) em peso no produto separadamente.

A Tabela 12 apresenta dados relacionados aos impactos dos cenários que consideram a reciclagem de HIPS e ABS. A primeira e a terceira coluna, já apresentadas na Tabela 11, mostram os valores considerando a reciclagem completa dos produtos, ou seja, todos os materiais que compõem o produto. Já a segunda e a quarta coluna mostram os valores ignorando a reciclagem de HIPS e ABS para os mesmos percentuais de reciclagem e considerando os cenários de destinação final CC1 e CC2.

A linha marcada em cinza não mostra diferença entre os valores antes e depois da retirada do HIPS e ABS do cálculo por não haver reciclagem nenhuma desde o cenário anterior.

Tabela 12 – Comparação de cenários de reciclagem de HIPS e ABS

Cenário	(aterro/rec/reutil)	Mudança Climática (daly 10E9)		Combustível Fossil (MJ)	
		reciclagem do produto completo	retirando HIPS e ABS da reciclagem	reciclagem do produto completo	retirando HIPS e ABS da reciclagem
CI	25% 35% 40%	570,68	988,89	7,24	14,21
CC1	50% 0% 50%	860,09	860,09	12,08	12,08
CC2	10% 75% 15%	486,57	1337,97	5,19	19,46

Fonte: Elaborado pela autora

Observa-se que a variação dos valores é bastante representativa, indicando que investimentos em linhas de reciclagem desses materiais específicos (HIPS e ABS) podem

ser uma boa abordagem para a reciclagem de equipamentos eletroeletrônicos, principalmente se forem considerados países com recursos financeiros limitados para desenvolvimento de reciclagem de tais equipamentos, como o Brasil. A reciclagem somente desses dois tipos de plásticos representaria quase 60% de toda a massa da impressora (Tabela 9).

Devem ser consideradas ainda, conforme discutido na Revisão Bibliográfica, as grandes disparidades regionais existentes no Brasil, o que resulta na péssima distribuição do consumo, do descarte e da industrialização (necessária para a reciclagem de qualquer material) em todo o território nacional. É possível encontrar consumo, descarte e indústrias concentrados dentro de um mesmo estado, como ocorre, por exemplo, nas capitais.

Assim, um investimento maciço na reciclagem desses dois polímeros poderia aliviar quase 60% dos resíduos de uma impressora, facilitando a coleta e a posterior reciclagem em todo território.

## 5.2 IMPRESSORA B

### 5.2.1 Mapeamento da impressora B

A Tabela 13 apresenta a impressora B caracterizada em termos de cada uma de suas partes por massa e por tipo de material.

Tabela 13 – Caracterização detalhada da impressora B

NOME	QUANT	MASS A (g)	MATERIAL - ESPECIFICAÇÃO GENÉRICA
CLIPES	2	0.42	Aço Carbono
PARAFUSO	3	1.74	Aço Carbono
PARAFUSO	4	1.71	Aço Carbono
PARAFUSO	19	11.95	Aço Carbono
PARAFUSO	1	0.65	Aço Carbono
LOGOTIPO	1	0.39	Aluminio
CABO	2	3.20	
ANEL	1	4.30	NiZn FERRITE
MOLA	2	0.80	Aço Carbono

ADPTADOR DA MOLA	2	0.39	Aço Inoxidavel
MOLA	2	3.75	Aço Carbono
ARRUELAS	8	0.53	Aço Inoxidavel
FIXAÇÃO DO CINTO	1	0.34	Aço Inoxidavel
FIXAÇÃO DO PRATO	1	0.16	Aço Inoxidavel
GRAMPOS	3	0.42	Aço Inoxidavel
EIXO ROTATIVO	1	0.31	Aço Inoxidavel
PINO	1	0.40	Aço Inoxidavel
APOIO DE ROTAÇÃO	1	0.59	POM
DESLIZADOR	1	0.08	POM + 15% PTFE
AMORTECEDOR	1	-	Elastomero
AMORTECEDOR	1	-	Elastomero
CODIFICADOR	1	0.43	Aço Inoxidavel
PNEUS DE ENTRADA PAPEL	2	2.54	Elastomero
TRAVA CARTUCHO	2	6.62	PC + 20% GF
MOTOR EIXO	2	100.69	
MARCHA TRANSMISSÃO	2	0.68	POM
AMORTECEDOR	2	0.44	PU
ESPINHA DORSAL	1	190.94	Aço Carbono
SUPORTE PAPEL MOTOR	1	35.93	Aço Carbono
ROLO ALIMENTAÇÃO	1	62.29	Aço Carbono
MOLA	2	0.25	Aço Inoxidavel
MOLA	1	1.02	Aço Inoxidavel
VARÃO DE ROTAÇÃO	1	94.92	Aço Carbono
MOLAS	2	0.29	Aço Inoxidavel
MOLAS	4	1.67	Aço Inoxidavel
MOLAS	1	0.31	Aço Inoxidavel
MOLAS	2	0.23	Aço Inoxidavel
MOLAS	1	0.04	Aço Inoxidavel
MOLA	1		Aço Inoxidavel

		0.26	
MOLAS	1	0.10	Aço Inoxidavel
TRAVA DO EIXO DA MOLA	4	0.44	Aço Inoxidavel
MOLA	1	0.14	Aço Inoxidavel
PNEU DA PROTELEIRA DE SAIDA	4	1.34	EPDM
ENGRENAGEM	1	0.95	POM
BRAÇO OSCILANTE	1	0.63	ABS + 20% FV
ADAPTADOR	1	0.70	ABS + 20% FV
ENGRENAGEM	1	1.08	POM
ENGRENAGEM	1	1.47	POM
PARADA DE CARGA	1	11.21	ABS
BRAÇO OSCILANTE	1	0.57	ABS + 20% FV
BRAÇO OSCILANTE	1	0.30	ABS
ENGRENAGEM	1	0.82	POM
ENCAIXE DAS ENGRENAGENS	1	12.39	ABS + 20% FV
PIRAMIDE DA BASE	1	29.70	PC + 20% FV
TRILHO	1	1.56	PP
SUPORTE DO CARTUCHO	1	27.23	PC + 20% FV
SUPORTE PRATELEIRA DE ENTRADA	1	1.41	POM
ROLO PRATELEIRA DE SAIDA	1	6.48	ABS + 20% FV
ENGRENAGEM	1	2.36	POM
ROLO LEVANTADOR	8	2.02	POM + 18%
GUIA PAPEL	4	50.14	PC + 20% FV
LANCADOR	1	6.04	HIPS
SUPORTE	1	12.00	ABS + 20% FV
CORREIA	1	1.58	PU
BRAÇO OSCILANTE	1	0.67	ABS
CARÇAÇA	1	18.03	HIPS
POLIA	1	2.94	ABS
GUIA DA POLIA	1	1.50	ABS

ENGRENAGEM	1	1.19	POM
ENGRENAGENS	3	0.71	POM
CONEXÃO DA BASE	1	0.16	ABS
ENGRENAGEM	1	0.74	POM
BRAÇO OSCILANTE	1	0.36	ABS
SUPORTE BRAÇO DE MOVIMENTAÇÃO	1	0.56	ABS
ENGRENAGEM	3	1.61	POM
ENGRENAGEM	1	1.23	POM
GUIA SUPERIOR DE PAPEL	1	3.31	PP
ENCAIXE BRAÇO DE MOVIMENTAÇÃO	1	2.43	POM
REDUTOR	1	0.92	POM
EIXO	1	8.38	POM
EIXO DA PRATELEIRA	1	6.54	POM + 10% FV
ENGRENAGEM	1	0.98	POM
ENCAIXE	1	0.42	POM
BRAÇO DE SELEÇÃO	1	36.98	ABS + 20% FV
SEPARADOR	1	35.50	POM
MOLDURA	1	15.25	HIPS
GATILHO	1	0.82	POM
DESLIZADOR	1	4.78	ABS + 20% FV
MONTAGEM DE LAMINA	1	2.08	POM
LAMINA	1	0.44	Elastômero
ALMOFADA	2	0.33	SILICONE
ATUADOR DE PLACA	2	1.25	PC + 20% FV
GUIA ESQUERDO BANDEJA ALIMENTAÇÃO	1	1.33	POM
LIMPADOR DE SAIDA	1	16.15	HIPS
SUPORTE	1	2.07	PC + 20% FV
PRENDEDOR	1	1.24	POM
PRENDEDOR	1	1.55	POM
CLIPE	1		POM

		0.14	
CLIPE	1	0.19	POM
PRENDEDOR	1	0.21	EPDM
PRENDEDOR	1	0.30	EPDM
BLOCO SEPARADOR	2	1.45	POM
ENGRENAGEM	1	0.60	POM
BRAÇO LEVANTADOR	1	1.52	HIPS
ROLO	2	1.03	POM
CINTO DO MOTOR DE PAPEL	1	0.38	PU
EIXO PAPEL	1	4.01	
PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO	1	7.10	
SENSOR	1	5.08	
DISCO	1	0.29	PES
BORRACHA FRICÇÃO	4	0.51	Borracha
ESPUMA ESQUERDA	1	0.07	PU
ESPUMA CENTRAL	1	0.08	PU
ESPUMA DIREITA	1	0.15	PU
FITA	1	0.50	PES
CABO FLEXIVEL	1	0.58	Cu
ABSORVENTE TINTA	1	0.48	PES
ABSORVENTE TINTA	1	0.10	PES
COBERTURA	1	0.04	Papel
BASE IMPRESSORA	1	479.60	HIPS
PORTA ACESSO CARTUCHOS	1	43.82	HIPS
BANDEJA ENTRADA	1	126.24	HIPS
AJUSTE EXPESSURA	1	5.56	POM
INDICADOR LUMINOSO	1	2.09	SAN
EXTENSÃO BANDEJA SAIDA	1	30.53	HIPS
COBERTURA BANDEJA SAIDA	1	59.39	HIPS
BANDEJA SAÍDA	1	66.46	HIPS

PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO	1	44.34	
CARCAÇA SUPERIOR	1	210.23	HIPS
PORTA	1	6.80	HIPS
TRAVA BANDEJA DE SAIDA	1	0.49	ABS
BOTÃO LIGA-DESLIGA	1	0.16	HIPS
FIOS MOTOR PAPEL	1	0.88	
FIOS MOTOR	1	0.88	
CABO FLEXIVEL CABEÇA IMPRESSÃO	1	3.60	Cu

Fonte: Elaborado pela autora

A impressora B somou 1.982.67 gramas.

A Tabela 14 apresenta o resumo da composição da impressora B em massa em termos de percentual de cada material.

Tabela 14 – Composição da impressora B em massa percentual

<b>Material (B)</b>	<b>Percentual</b>
HIPS	54,5%
ABS	4,7%
PC	5,9%
Aço	20,8%
Vidro	0,0%
POM	3,7%
Outros Plásticos	1,1%
Outros Materiais (não plásticos)	9,3%

Fonte: Elaborado pela autora

O HIPS novamente aparece como o material predominante, seguido pelo ABS, sendo a soma dos dois equivalente a 59,2% do peso do equipamento e a soma dos plásticos igual a 69,9%. Na impressora A (Tabela 9) esses valores são 58% e 64,1%, respectivamente. A diferença mais marcante entre elas, porém, é o vidro, que corresponde a 16,2% em massa da impressora A e está ausente na impressora B. Isso se deve ao fato de a impressora A ser multifuncional, havendo um sistema de *scanner* que se compõe por uma tela de vidro. Há ainda, na impressora B, praticamente metade da quantidade percentual de aço e uma quantidade praticamente 50% superior de polióxido de metileno (POM). Porém, quando

consideradas as massas totais dos dois equipamentos, observa-se que a impressora A tem uma massa de 3.978g contra 1.982g da impressora B.

### 5.2.2 Entrada de materiais da impressora B no software

Baseado no mapeamento das peças exposto, assim como na impressora A, optou-se pelo agrupamento dos mesmos mediante as matérias-primas que os compõem otimizando, assim, a entrada de dados no SimaPro, conforme apresentado na Tabela 15. Com isso, reduziu-se a quantidade de entrada de dados para apenas 19 matérias-primas principais.

Tabela 15 – Consideração para entrada no SimaPro impressora B

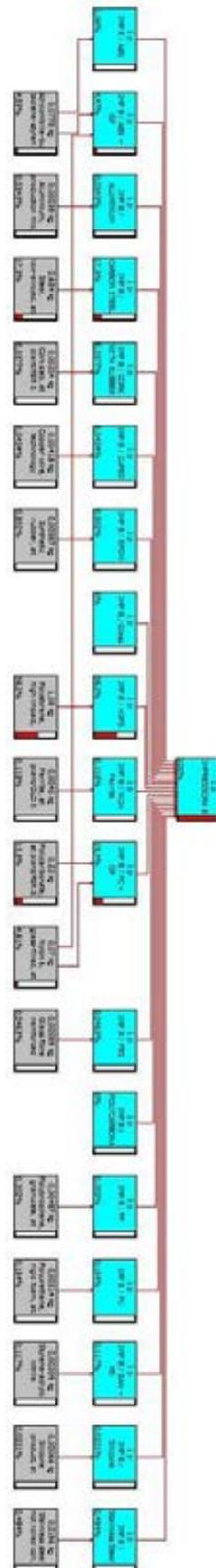
Material (B)	Massa (g)	Considerado para entrada no Sima Pró
ABS	18,19	
ABS+GF	74,53	ABS
Aluminio	0,39	
Aramid Paper	0,04	
Aço Carbono	633,92	
Borracha	2,04	
CuPES	4,18	Cabo de Impressora
EPDM	5,87	Borracha Sintética
Vidro	0	
HIPS	1080,22	
NiZn Ferrite	4,3	Ferrite
Policarbonato	0	
PC + 20% Fibra de Vidro	275,3	Plastico com Fibra de Vidro
PES	0,89	Plastico com Fibra de Vidro
POM	110,5	não foi encontrado nada equivalente e não foi considerado.
PP	4,87	
PU	3,14	
SAN + 1% MS	2,09	
Silicone	0,66	
Aço Inoxidavel	19,63	
Elastometro Termoplastico	5,52	

Fonte: Elaborado pela autora

As duas impressoras apresentam uma composição bastante similar. Com exceção do vidro, a composição de ambas, em termos de materiais, é a mesma, havendo diferença apenas na quantidade que cada material apresenta em cada uma delas.

A Figura 27 ilustra como o *software* SimaPro apresenta a árvore de materiais para as matérias-primas listadas da impressora B. Nota-se na figura, assim como no exemplo anterior da impressora A (Figura 22), uma indicação visual vertical em vermelho, tanto maior quanto o percentual de impacto do referido material na composição da impressora de acordo com o indicador analisado.

Figura 27 – Árvore dos materiais constituintes da impressora B

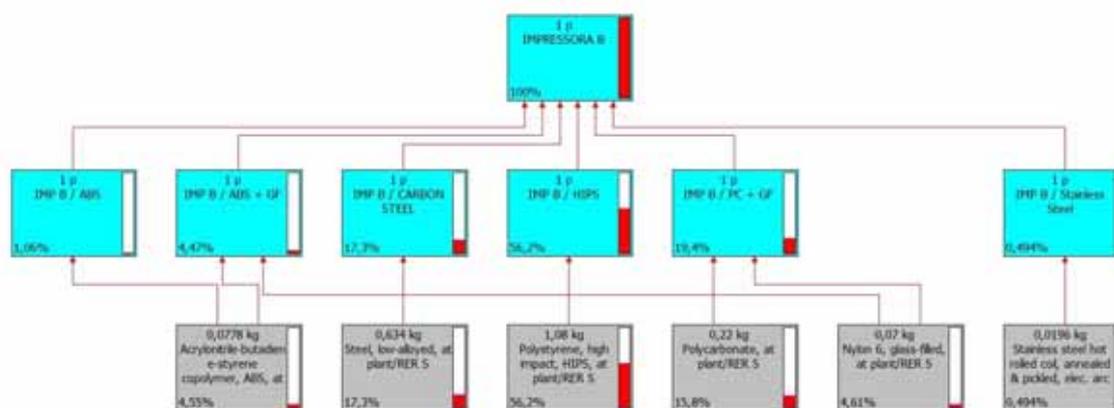


Fonte: Elaborado pela autora

### 5.2.3 Impacto da impressora B

A Figura 28 apresenta as seis principais matérias-primas em termos de impacto. Por meio dessa imagem, é possível visualizar o impacto do material HIPS, que, também nessa impressora, é o mais expressivo. Ele representa 56,2% do impacto, seguido pelo PC+GF, com 19,4%, o aço, com 17,3%, o ABS, somando 5,53 % e o aço inoxidável com 0,5%.

Figura 28 – Árvore das matérias primas mais representativas da impressora B em termos de impacto

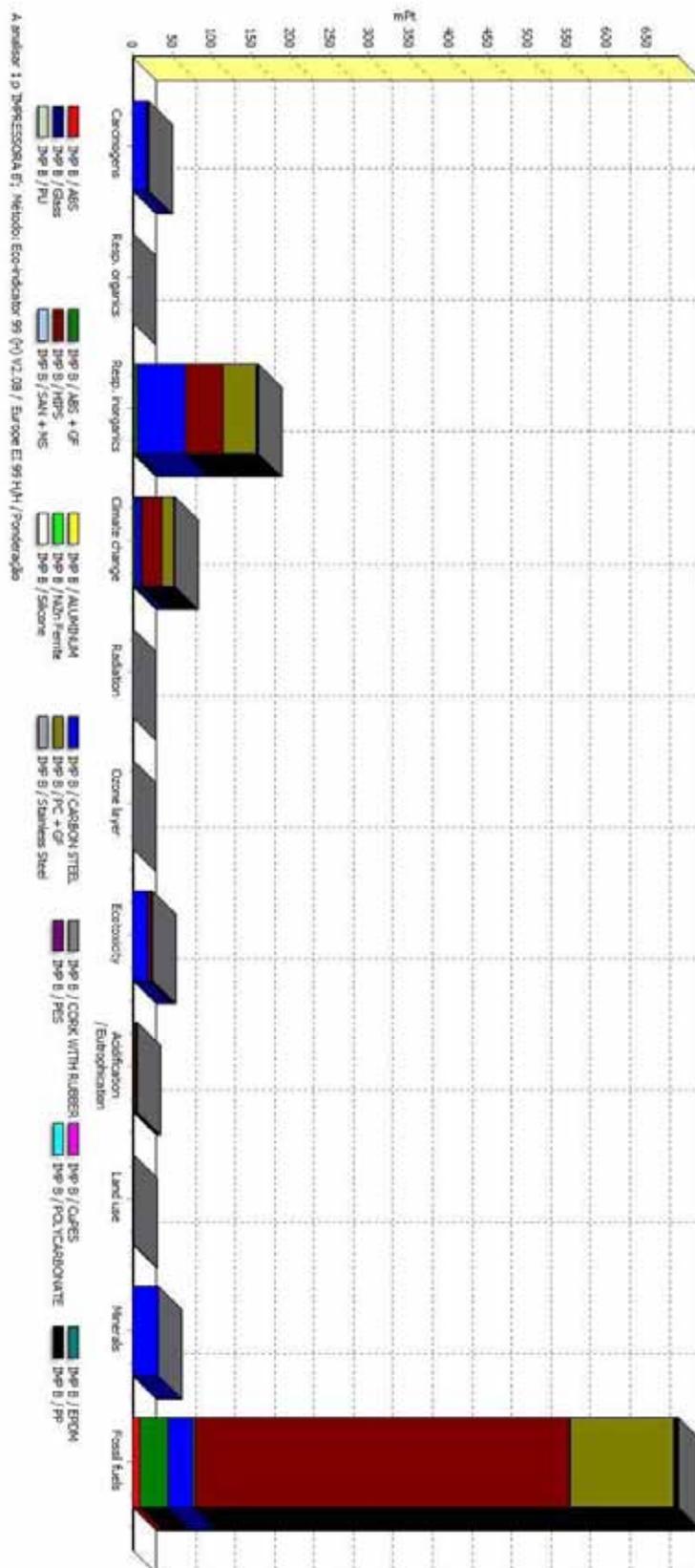


Fonte: Elaborado pela autora

Para uma visualização mais detalhada das categorias de impacto e da contribuição de cada um dos materiais em cada categoria, a Figura 29 apresenta a ponderação de impacto da impressora B. Como mostra o gráfico, os combustíveis fósseis novamente são os mais afetados pela composição da impressora, seguidos pelos respiráveis inorgânicos e pelas mudanças climáticas. O HIPS, em marrom, é visualmente o mais impactante, como é mais claramente evidenciado na Figura 30, na qual os impactos dessa impressora são distribuídos por material, computados em forma de pontuação única.

Observa-se também que o HIPS, o PC e o aço carbono apresentam impactos um pouco mais distribuídos, chamando a atenção para os respiráveis inorgânicos, as mudanças climáticas e outros.

Figura 29 – Ponderação de impacto da impressora B



Fonte: Elaborado pela autora



O estudo dos cenários de destinação final não foi realizado para esse modelo de impressora. Os resultados qualitativos provavelmente seriam semelhantes, pois a composição das duas impressoras é bastante parecida e as reduções de impacto nos cenários de reciclagem e reuso são percentuais em relação ao impacto total, como pode ser visto na Figura 26.

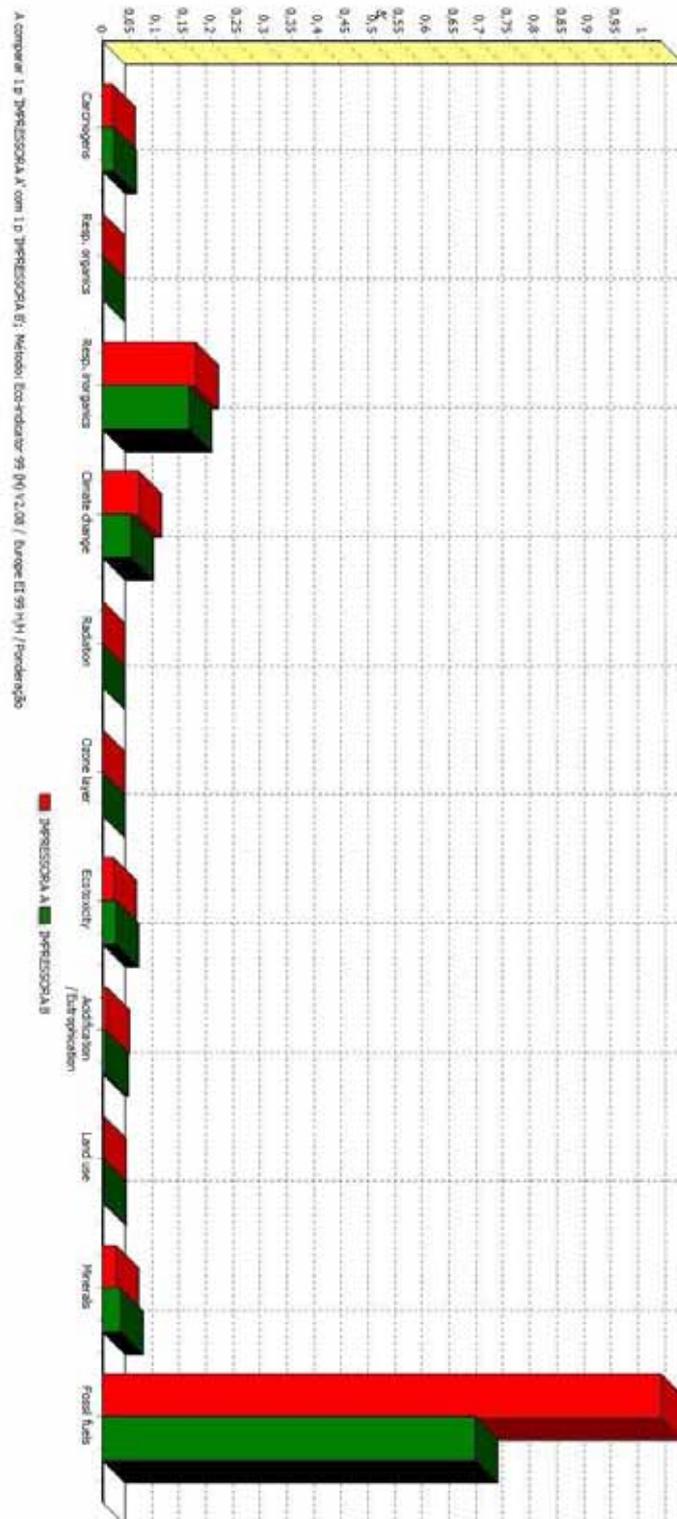
### 5.3 COMPARAÇÃO DE IMPACTOS

A Figura 31 compara os dois equipamentos em termos de impactos ambientais: a impressora A é representada pela cor vermelha e a B, pela cor verde. Para essa comparação, todos os materiais foram considerados juntos, apresentando um resultado único para cada impressora.

Os combustíveis fósseis sobressaem-se no gráfico como maior impacto, colocando a impressora A como mais impactante tanto nessa categoria como nas duas consecutivas mais relevantes: respiráveis inorgânicas e mudanças climáticas – como já pôde ser avaliado separadamente.

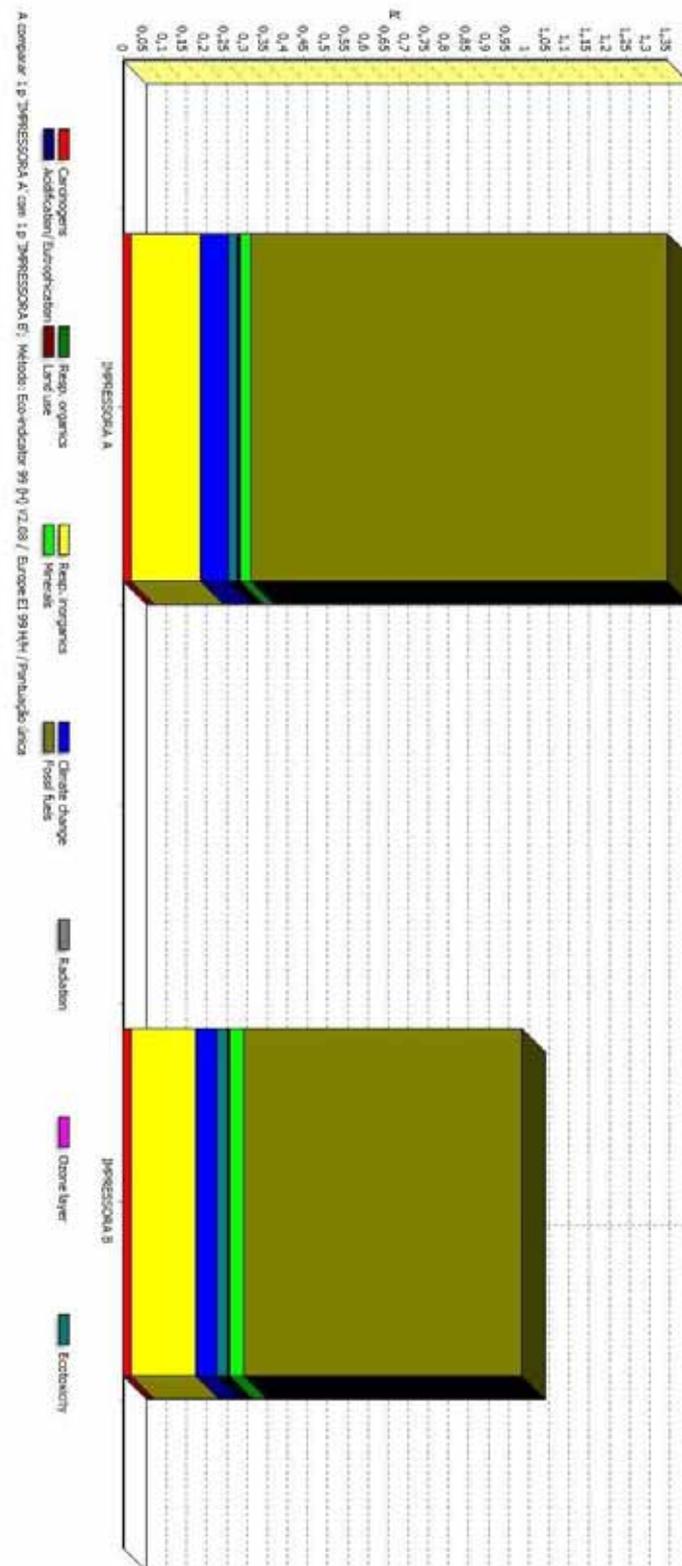
Um contraponto pode ser visto nas categorias de carcinogênicos, minerais e ecotoxicidade, nas quais a impressora B apresenta maiores impactos. Ainda assim, é importante destacar que tais impactos são bem menores que os destacados anteriormente. Essa comparação pode ser visualizada com mais clareza na Figura 32, em que são mostrados os impactos das impressoras somados e detalhados.

Figura 31 – Comparação de impactos: impressora A e impressora B (ponderação)



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 32 – Comparação: impressora A e impressora B (pontuação única)



Fonte: Elaborado pela autora

A impressora B apresentou um impacto menor se comparada à impressora A. Uma diferença de 35% pode ser vista quando comparando as duas através de uma ponderação. Esse resultado se dá, principalmente, devido à diferença entre os produtos estudados. Como mostrado nos itens anteriores, a impressora A, a qual apresenta mais funcionalidades, possui massa maior e quantidade maior de peças, além do vidro, que não é encontrado no modelo mais simples. Todos esses fatores são determinantes na definição do impacto ambiental total de cada uma das impressoras.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados obtidos no decorrer deste trabalho e do conhecimento adquirido no desenvolvimento do estudo, pode-se sugerir alguns temas para trabalhos futuros:

- Analisar outros tipos de equipamentos eletroeletrônicos, como notebooks, desktops e celulares;
- Simular cenários de descarte final para a impressora B e comparar os resultados;
- Fazer um levantamento dos gastos energéticos envolvidos na fabricação da impressora;
- Realizar um estudo de Avaliação de Ciclo de Vida completo das impressoras, contemplando transporte e etapas de uso do produto;
- Estudar os impactos gerados na etapa de logística reversa dos equipamentos eletroeletrônicos assim como a relação entre os impactos e os modelos de logística reversa, o tamanho territorial do país e o posicionamento de pontos de coleta;
- Comparar os ganhos ambientais atingidos com a reciclagem do material aos impactos gerados pelos gastos energéticos com o transporte até o ponto de tratamento do material;
- Simular alterações de projeto que alterem os impactos ambientais (*ecodesign*);
- Realizar um levantamento de vida útil dos equipamentos eletroeletrônicos.

## 7 CONCLUSÕES

Duas impressoras foram mapeadas e caracterizadas, detalhando-se os materiais e a massa de cada uma das peças e partes. A impressora A apresentou 251 peças, sendo quase 55% do material identificado como HIPS (poliestireno de alto impacto) e 3% como ABS, materiais que apresentam características mecânicas similares e podem ser reciclados conjuntamente. A impressora B apresentou uma quantidade um pouco inferior de peças, 210. Verificou-se que 54,5% da composição em massa do produto corresponde ao material HIPS e quase 5% equivalem ao ABS. Nas duas impressoras, a maioria das peças – cerca de 70% – é feita de plástico.

As peças de diferentes materiais foram agrupadas em categorias e inseridas em uma ferramenta de Avaliação de Ciclo de Vida de produtos para que os impactos ambientais pudessem ser quantificados e comparados.

Nos dois casos estudados, o HIPS apresentou o maior percentual de impactos e, entre os indicadores que apresentaram resultados mais significativos, listam-se, na ordem: combustíveis fósseis, responsáveis inorgânicas e mudanças climáticas. Considerando uma pontuação única, a impressora A apresentou total de impactos 35% maior que a impressora B. Isso se deve, provavelmente, à complexidade do produto A comparado ao produto B, pois A possui funções de *scanner* que não são oferecidas por B, havendo, portanto, consequente diferença de massa. Apenas nas categorias de minerais, ecotoxicidade e carcinogênicos a impressora B apresentou valores maiores que a impressora A.

A implementação de destinação final correta de resíduos no país, mais especificamente resíduos eletroeletrônicos, está sendo incentivada e, de certo modo, obrigada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos. Estudando uma das impressoras e simulando alguns cenários de destinação final que podem ocorrer devido a diferenças socioeconômicas e culturais de uma região para outra, foi possível identificar alterações nos impactos ambientais causados por esse produto no final do ciclo de vida.

O cenário de simulação de destinação final da impressora que apresentou menor impacto foi o CC2, no qual 10% eram destinados ao aterro sanitário, 75% eram reciclados e 15% eram reutilizados.

Investir em linhas de reciclagem de materiais específicos (HIPS e ABS) mostrou ser uma boa abordagem para a reciclagem de equipamentos eletroeletrônicos ao considerar países com recursos limitados para desenvolvimento nessa área, como o Brasil.

A Avaliação do Ciclo de Vida de produtos pode ser usada como instrumento para tomada de decisão, oferecendo tanto ao consumidor como ao fabricante informações quantitativas sobre impactos ambientais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos**. Brasília, 2012. Disponível em: <[http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl\\_1367253180.pdf](http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1367253180.pdf)>. Acesso em: 07 jul. 2014.
- ANAND, S; HANSON, K. Disability-adjusted life years: a critical review. **Journal of Health Economics**, v. 16, p. 685-702, dez. 1997.
- ARNOLD, J. C.; ALSTON, S. M. Life cycle assessment of the production and use of polypropylene tree shelters, **Journal of Environmental Management**, v. 94, p.1(12), fev. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. **Panorama econômico e desempenho setorial**. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/programas/50anos/public/panorama/index.htm>>. Acesso em: 09 mai. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040: Gestão Ambiental - Avaliação de Ciclo de Vida - Princípios e Estrutura**. Rio de Janeiro, 2009.
- BENETTI, A. D. Preventing disease through healthy environments, **World health report 2002: reducing risks, promoting healthy life**, v. 12, n. 2, p. 115-116, abr./jun. 2007.
- BRASIL. Presidência da República. Lei nº 12.305, de 2010. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Poder Executivo, Brasília, DF, 02 ago. 2010. Seção 1, n. 147, p. 3-7. Disponível em: <<http://www.in.gov.br/visualiza/index.jsp?data=03/08/2010&jornal=1&pagina=3&totalArquivos=84>>. Acesso em: 28 ago. 2011.
- CALDERONI, S. **Os bilhões perdidos no lixo**. São Paulo: Humanitas, 2003.
- CHEHEBE, J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.
- CINQUETTI, H. C. S.; LOGAREZZI, A. (Orgs.). **Consumo e resíduos: fundamentos para o trabalho educativo**. São Carlos: EdUFSCar, 2006.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares**. São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/publicacoes-e-relatorios/1-publicacoes/-relatorios>>. Acesso em: 07 jul. 2014.
- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Ciclosoft e Fichas Técnicas**. Disponível em: <[http://www.cempre.org.br/ft\\_latas.php](http://www.cempre.org.br/ft_latas.php)>. Acesso em: 25 jul. 2014.
- DUDA, M.; SHAW, J. S. Life cycle assessment, **Society**, v. 35, n. 1, p. 38-43, 1997.
- EUROSTAT. **Environmental statistics and accounts in Europe**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010. p. 97-131.

FERREIRA, J. V. R. **Análise de Ciclo de Vida dos Produtos**. [S.I.]. Disponível em: <<http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/jvf/Gest%C3%A3o%20Ambiental%20-%20An%C3%A1lise%20de%20Ciclo%20de%20Vida.pdf>>. Acesso em: 07 jul. 2014.

FRANCO, R. G. F. **Protocolo de referência para gerenciamento de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos doméstico para o Município de Belo Horizonte**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

GERT VAN HOOFF, M. V. Indicator selection in life cycle assessment to enable decision making: issues and solutions. **The international Journal of Life Cycle Assessment**, v.18, p. 1568-1580, 2013.

GIANELLI, B. F. **Avaliação de ciclo de vida comparativa dos processos de anodização e oxidação eletrolítica com plasma de liga de alumínio**. Posmat. Tese (Doutorado em Materiais) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Sorocaba, 2014.

GLOBAL INFORMATION SOCIETY WATCH. **Sustainability and ICT**. v. 328. Zimbabwe: APC and Hivos, 2010.

HOFFMANN, R. **Distribuição de renda: medida de desigualdade e pobreza**. São Paulo: Edusp, 1998.

HUANG, Y. et al. Life cycle assessment of biochar cofiring with coal, **Bioresource Technology**, v. 131, p. 166-171, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Environmental management – life cycle assessment – life cycle interpretation. ISO 14043. 2000. Disponível em: <[http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=23154](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=23154)>. Acesso em: 29 jul. 2014.

JARDIM, A.; VALVERDE, J.; YOSHIDA, C. **Política nacional, gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**. São Paulo: Manole, 2012.

LIMA, L. Inventário do Ciclo de Vida: uma revisão. In: Congresso Brasileiro de Gestão de Ciclo de Vida de Produtos e Serviços. **Anais do 3º Congresso Brasileiro em gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços**. Maringá: ABCV, 2012. p.304-308.

MCDUGALL, F. R. et al. **Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory**. 2. ed. Malden: Blackwell, 2002.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Chamamento para Elaboração de Acordo Setorial para a Implantação do Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos e Seus Componentes**. Edital nº 01/2013. Brasília, 2013.

MOURA, L. A. **Economia Ambiental**. São Paulo: Juarez de Oliveira, 2006.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental**: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

SÃO PAULO (Estado). Governo do Estado de São Paulo. Lei nº 12.300, de 16 de março de 2006. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**. São Paulo, SP, 16 mar. 2006.

SÃO PAULO (Estado). Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Economia Verde**: desenvolvimento, meio ambiente e qualidade de vida no Estado de São Paulo. São Paulo, 2009.

SÃO PAULO (Estado). Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente/Coordenadoria de Planejamento Ambiental. **Projeto Ambiental Estratégico Cenários Ambientais 2020**. Coordenação Casemiro Tércio dos Reis Lima Carvalho e Renato Rosenberg. São Paulo: SMA/CPLA, 2009.

SILVA, J. R. A. Identificação de pontos críticos no ciclo de vida de eletrônicos: estudo de caso com celulares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE CICLO DE VIDA DE PRODUTOS E SERVIÇOS, **Anais do 3º Congresso Brasileiro em gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços**. Maringá: ABCV UEM, 2012. p. 250-255.

SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY. **Guidelines for Life-Cycle Assessment: a code of practice**. Brussels: SETAC, 1993.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. (2009). **Recyclig from e-waste to resource**. Disponível em: <<http://www.unep.org/pdf/Recycling From e-wasteto resources.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2013.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Life Cycle Management: A Business Guide to Sustainability**. Paris: UNEP, 2007.

YAHAYA, N. R. et al. Environmental Impact of Electricity Consumption in Crushing and Grinding Processes of Traditional and Urban Gold Mining by Using Life Cycle Assessment (LCA), **Iranica Journal of Energy and Environment (IJEE)**, v. 3, 2012, p. 66.

ZANIN, M.; MANCINI, S. D. **Resíduos plásticos e reciclagem: aspectos gerais e tecnologia**. São Carlos: EdUFSCar, 2004.